

The background of the cover is a teal color with a technical drawing of a gear mechanism. A pen nib is shown drawing a line on the gear's teeth. The drawing is in a light, sketchy style.

PROJETO INTEGRADO DE PRODUTOS

PLANEJAMENTO, CONCEPÇÃO E MODELAGEM

NELSON BACK
ANDRÉ OGLIARI
ACIRES DIAS
JONNY CARLOS DA SILVA



Manole

Projeto Integrado de Produtos

Projeto Integrado de Produtos:

planejamento, concepção e modelagem

Nelson Back

André Ogliari

Acires Dias

Jonny Carlos da Silva



Manole

Copyright© 2008 Editora Manole Ltda., por meio de contrato com os autores.
Projeto gráfico e editoração eletrônica: Anibal Alexandre Campos Bonilla
Capa: Departamento de Arte da Editora Manole
Imagens de capa e miolo: Heitor Kagueiama e Eduardo Natal Meller

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
(Câmara Brasileira do Livro, SP, Brasil)

Projeto integrado de produtos : planejamento, concepção e modelagem
Nelson Back...[et al.]. – Barueri, SP : Manole, 2008.

Outros autores: André Ogliari, Acires Dias, Jonny Carlos da Silva
Bibliografia.
ISBN: 978-85-204-2208-3

1. Administração de produto 2. Administração de projetos 3. Engenharia de produção 4. Produtos novos I. Back, Nelson. II. Ogliari, André. III. Dias, Acires. IV. Silva, Jonny Carlos da.

07-1217

CDD - 670

Índices para catálogo sistemático:

- | | |
|--|-----|
| 1. Produtos industriais : Projeto : Engenharia de produção | 670 |
| 2. Projeto integrado de produtos : Engenharia de produção | 670 |

Todos os direitos reservados.

É proibida a reprodução total ou parcial desta publicação, por quaisquer meios, sem autorização escrita da Editora Manole.

A violação dos direitos autorais é crime estabelecido na Lei n. 9.610/98 e punido pelo artigo 184 do Código Penal.



1ª edição – 2008

Direitos adquiridos pela:
Editora Manole Ltda.
Avenida Ceci, 672 – Tamboré
06460-120 – Barueri – SP – Brasil
Tel.: (11) 4196-6000
Fax: (11) 4196-6021
www.manole.com.br
info@manole.com.br

Impresso no Brasil
Printed in Brazil

Biografia dos autores

Nelson Back

Nelson Back nasceu em 1939, em Forquilha, no Estado de Santa Catarina. É engenheiro mecânico, formado em 1964 pela Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (EE/UFRGS). Realizou seu mestrado em engenharia mecânica em 1968, na coordenação dos programas de pós-graduação em engenharia da Universidade Federal do Rio de Janeiro (COPPE/UFRJ). Doutorou-se pelo departamento de engenharia mecânica do Instituto de Ciência e Tecnologia da Universidade de Manchester (UMIST), Inglaterra, em engenharia mecânica, em 1972. Tornou-se livre-docente pela Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) em 1974. É professor de graduação e pós-graduação do departamento de engenharia mecânica da UFSC desde 1965. Lecionou as disciplinas de elementos de máquinas, projeto de máquinas-ferramenta, análise experimental de tensões, componentes de mecânica de precisão, metodologia de projeto, projeto conceitual, projeto para manufatura e gerenciamento de desenvolvimento de produtos. É autor do livro *Metodologia de projeto de produtos industriais*, de 1983, membro da Associação Brasileira de Engenharia e Ciências Mecânicas e da Academia Nacional de Engenharia, e professor emérito da UFSC. Atualmente, é professor titular aposentado e professor voluntário da UFSC.

André Ogliari

André Ogliari nasceu em 1962, em Lagoa Vermelha, no Estado do Rio Grande do Sul. É engenheiro mecânico, formado em 1985 pela Universidade de Caxias do Sul (UCS/RS). Em 1990, concluiu seu mestrado em engenharia mecânica pelo programa de pós-graduação em engenharia

mecânica (PPGEM) da UFSC, onde também se doutorou em 1999. É professor do departamento de engenharia mecânica da UFSC desde 1995, onde leciona as disciplinas de metodologia de projeto e elementos de máquinas, na graduação, e projeto conceitual e gerenciamento de desenvolvimento de produtos, na pós-graduação.

Acires Dias

Acires Dias nasceu em 1952, em Rio do Sul, no Estado de Santa Catarina. Graduou-se em 1978 e obteve o grau de mestre, em 1983, em engenharia mecânica, na UFSC. Doutorou-se em 1996 na Universidade Estadual de Campinas (Unicamp) em engenharia mecânica, na área de projeto e mecânica dos sólidos. Realizou estágio de pós-doutorado em confiabilidade e análise de risco na Universidade de Maryland, nos Estados Unidos, em 2003. É professor do departamento de engenharia mecânica da UFSC desde 1984. Leciona na graduação e na pós-graduação na área de projeto de sistemas mecânicos, ministrando conteúdos de elementos de máquinas, manutenção, manutenibilidade, confiabilidade e análise de risco.

Jonny Carlos da Silva

Jonny Carlos da Silva nasceu em 1965, em João Pessoa, Paraíba. Em 1986, graduou-se em engenharia mecânica pela Universidade Federal da Paraíba (UFPB), tendo recebido o prêmio Metal Leve de sua turma. Em 1990, obteve grau de mestre em engenharia mecânica pelo PPGEM da UFSC. Atuou como pesquisador no Laboratório de Sistemas Hidráulicos e Pneumáticos (LASHIP) da UFSC entre 1990 e 1992, e especializou-se em hidráulica industrial pelo KIC (Kyushu International Center) no Japão. Em 1993, iniciou seu doutorado pelo PPGEM da UFSC, obtendo grau em 1998. Entre 1996 e 1998, atuou como pesquisador-visitante no departamento de engenharia da Universidade de Lancaster, na Inglaterra. É professor do departamento de engenharia mecânica da UFSC desde 1993, tendo lecionado na graduação as disciplinas de metodologia de projeto, elementos de máquinas, sistemas hidráulicos e, na pós-graduação, as disciplinas de modelagem e simulação e sistemas especialistas aplicados à engenharia. Na EXPO 2000, seu projeto de doutorado recebeu o prêmio *Shaping the future* pela Universidade de Hannover, Alemanha.

Dedicatória

À Maria Helena, minha esposa, aos meus filhos, Alexandre, Isabela e Leonardo, ao genro, Luiz Carlos, às noras, Jacqueline e Lia, e aos netos, Henrique, Victor, Isadora e Victória.

Prof. Nelson Back

À Edilse, minha esposa, e ao vô Longo (in memoriam).

Prof. André Ogliari

À Fátima, ao Tiago e ao Lucas.

Prof. Acires Dias

À Alexandra, minha esposa, ao meu pai, José Cândido, e à minha mãe, Terezinha.

Prof. Jonny Carlos da Silva

Sumário

Prefácio	xix
-----------------	-----

Lista de siglas	xxiii
------------------------	-------

Parte I Introdução ao projeto integrado de produtos

Capítulo 1 Desenvolvimento integrado do produto – importância para a competitividade

1.1	Introdução	3
1.2	Conceitos básicos para o desenvolvimento integrado de produtos	4
1.3	Breve histórico da área de conhecimento	8
1.4	Desenvolvimento de produtos e sua importância para a competitividade	13
1.5	O ensino para o desenvolvimento de produtos e seu valor estratégico no Brasil	17
1.6	Perspectivas no ensino e na pesquisa em desenvolvimento de produtos	22
1.7	Resumo	24
1.8	Problemas e temas de discussão	26
1.9	Referências bibliográficas	27

Capítulo 2 Desenvolvimento integrado do projeto de produtos

2.1	Introdução	31
2.2	Análise de modelos prescritivos de desenvolvimento de produtos	33
2.3	Desenvolvimento de produtos no ambiente de engenharia simultânea	43
2.3.1	Engenharia simultânea: definições e princípios	44
2.3.2	Engenharia simultânea: modelos	47
2.3.3	Engenharia simultânea: implantação	53

2.3.4	Engenharia simultânea: modos de falha na fase inicial da implementação	54
2.3.5	Engenharia simultânea: falhas na preparação e no planejamento de implantação	56
2.3.6	Engenharia simultânea: falhas na fase de execução do plano de implantação	60
2.3.7	Engenharia simultânea: barreiras da implantação . . .	61
2.3.8	Engenharia simultânea: etapas para a implantação	64
2.3.9	Engenharia simultânea: formação de equipes multidisciplinares	65
2.3.10	Engenharia simultânea: benefícios de sua aplicação	67
2.4	Modelo de desenvolvimento integrado de produtos	68
2.4.1	Fase 1 – Planejamento do projeto	73
2.4.2	Fase 2 – Projeto informacional	75
2.4.3	Fase 3 – Projeto conceitual	77
2.4.4	Fase 4 – Projeto preliminar	79
2.4.5	Fase 5 – Projeto detalhado	81
2.4.6	Fase 6 – Preparação da produção	83
2.4.7	Fase 7 – Lançamento do produto	85
2.4.8	Fase 8 – Validação do produto	87
2.5	Resumo	87
2.6	Problemas e temas de discussão	92
2.7	Referências bibliográficas	94

Capítulo 3 Gerenciamento do desenvolvimento integrado de produtos

3.1	Introdução	97
3.2	Considerações gerais sobre gerenciamento de projetos	100
3.3	Gerenciamento do desenvolvimento integrado de produtos	106
3.4	Estrutura organizacional para o projeto de desenvolvimento de produtos	108
3.5	Equipes de desenvolvimento de produtos	114
3.6	Planejamento de projetos de desenvolvimento de produtos	117

3.7	Escopo do projeto	119
3.7.1	Processos de gerenciamento do escopo do projeto	125
3.7.2	Estrutura de Desdobramento do Trabalho – EDT	127
3.7.3	Considerações gerais sobre o gerenciamento do escopo	130
3.8	Tempo e custo do projeto	131
3.8.1	Gerenciamento do tempo do projeto	132
3.8.2	Gerenciamento de custos do projeto	145
3.9	Execução, controle e encerramento do processo de desenvolvimento de produtos	150
3.10	Resumo	151
3.11	Problemas e temas de discussão	153
3.12	Referências bibliográficas	154

Parte II Projeto informacional do produto

Capítulo 4 Planejamento de produtos

4.1	Introdução	159
4.2	Idéia do produto	163
4.3	Processo de planejamento de produtos	166
4.4	Metodologias gerais de apoio ao planejamento de produtos	173
4.4.1	Gestão do conhecimento	174
4.4.2	Inteligência competitiva	176
4.4.3	Gestão da inovação de produtos	177
4.5	Métodos e ferramentas de apoio ao planejamento de produtos	178
4.5.1	Métodos e ferramentas para a geração de idéias de produtos	179
4.5.2	Métodos e ferramentas de apoio à gestão da tecnologia de produtos	183
4.6	Organização e infra-estrutura para a inovação	190
4.7	Avaliação do impacto da tecnologia	194
4.8	Resumo	196
4.9	Problemas e temas de discussão	197
4.10	Referências bibliográficas	197

Capítulo 5 Especificações de projeto do produto

5.1	Introdução	201
5.2	Conceitos fundamentais relacionados à elaboração das especificações de projeto	203
5.3	Metodologia de desenvolvimento das especificações de projeto do produto	204
5.3.1	Apresentação do problema de projeto	205
5.3.2	Definição do ciclo de vida do produto	207
5.3.3	Identificação dos usuários do projeto e do produto	208
5.3.4	Elicitação das necessidades dos usuários	209
5.3.5	Transformação das necessidades em requisitos de usuários	214
5.3.6	Planejamento da qualidade desejada	215
5.3.7	Conversão dos requisitos de usuários em requisitos de projeto	219
5.3.8	Priorização dos requisitos de projeto	223
5.3.9	Análise do relacionamento entre requisitos de projeto	228
5.3.10	Conversão dos requisitos de projeto em especificações de projeto	231
5.3.11	Redação das especificações de projeto	232
5.4	Qualidades das especificações de projeto	234
5.5	Considerações gerais sobre o processo de obtenção das especificações de projeto	237
5.6	Resumo	240
5.7	Problemas e temas de discussão	242
5.8	Referências bibliográficas	243

Parte III Projeto conceitual – geração de soluções

Capítulo 6 Síntese de soluções alternativas – inovação do produto

6.1	Introdução ao processo de inovação do produto	247
6.2	Métodos intuitivos de geração de concepções do produto	252
6.2.1	<i>Brainstorming</i>	252
6.2.2	Método de Delphi	255

6.2.3	Analogias direta, simbólica e pessoal	257
6.2.4	Método sinético	259
6.2.5	Método da listagem de atributos	262
6.2.6	Método da instigação de questões	262
6.3	Métodos sistemáticos de geração de concepções	264
6.3.1	Método da matriz morfológica	264
6.3.2	Análise do valor	271
6.3.3	Teoria de solução inventiva de problemas – TRIZ	282
6.4	Resumo	293
6.5	Problemas e temas de discussão	294
6.6	Referências bibliográficas	295

Capítulo 7 Método da síntese funcional e engenharia reversa

7.1	Introdução	297
7.2	Fundamentos de sistemas técnicos	298
7.3	Método da síntese funcional	299
7.3.1	Formulação da função global do sistema técnico	299
7.3.2	Desenvolvimento da estrutura funcional do sistema técnico	301
7.3.3	Padronização e representação da estrutura funcional	313
7.3.4	Análise e seleção de estruturas funcionais alternativas	322
7.3.5	Estruturas de princípios de solução do sistema técnico	323
7.4	Engenharia reversa	324
7.5	Resumo	326
7.6	Problemas e temas de discussão	327
7.7	Referências bibliográficas	329

Parte IV Projeto conceitual – seleção da concepção

Capítulo 8 Projeto para viabilidade econômica do produto

8.1	Introdução	333
8.2	Conceitos fundamentais de custos do produto	336
8.3	Análise de custo do ciclo de vida de produtos	338
8.3.1	Definição do problema de análise	339

8.3.2	Identificação das alternativas viáveis	340
8.3.3	Estrutura de desdobramento do custo do produto . . .	341
8.3.4	Seleção de modelos de custo para análise	342
8.3.5	Elaboração de estimativas de custo	344
8.3.6	Desenvolvimento de perfis de custo	348
8.3.7	Elaboração da análise do ponto de equilíbrio	349
8.3.8	Identificação de elementos ou funções de alto custo	350
8.3.9	Realização da análise de sensibilidade	352
8.3.10	Realização da análise de riscos	353
8.3.11	Recomendação da solução preferida	354
8.4	Aplicações da análise de custo nas tomadas de decisão no processo de projeto	354
8.5	Controle de custos de desenvolvimento do produto	356
8.6	Resumo	359
8.7	Problemas e temas de discussão	361
8.8	Referências bibliográficas	363

Capítulo 9 Processo de avaliação e seleção de concepções do produto

9.1	Introdução	365
9.2	Metodologia de avaliação e seleção da concepção	367
9.2.1	Descrição e apresentação das concepções alternativas	367
9.2.2	Apresentação e seleção dos critérios generalizados . . .	369
9.2.3	Escolha do método de triagem	371
9.2.4	Elaboração da triagem das concepções	372
9.2.5	Detalhar e rerepresentar as concepções viáveis	372
9.2.6	Definição dos critérios específicos	373
9.2.7	Escolha do método de valoração das concepções . . .	374
9.2.8	Determinação dos pesos dos critérios	375
9.2.9	Valoração dos critérios	377
9.2.10	Determinação do valor da função utilidade e ordenação das concepções	378
9.2.11	Análise das melhores concepções	379
9.3	Resumo	382

9.4	Problemas e temas de discussão	384
9.5	Referências bibliográficas	385

Capítulo 10 Aspectos legais e éticos na inovação de produtos

10.1	Introdução	387
10.2	Busca de informações em bancos de patentes	388
10.3	Avaliação da inovação e da patenteabilidade	392
10.4	Processo de patenteamento ou registro de inovações	395
10.4.1	Elaboração dos pedidos de patente	399
10.4.2	Elaboração do pedido de registro de desenho industrial	403
10.4.3	Pedido de patente internacional	405
10.5	Registro de marcas	407
10.6	Responsabilidade civil sobre os produtos e serviços	411
10.7	Perícias em litígios de proteção da inovação e de responsabilidade civil	416
10.8	Ética profissional	422
10.9	Resumo	425
10.10	Problemas e temas de discussão	429
10.11	Referências bibliográficas	431

Parte V Projeto conceitual – modelagem e análise da concepção

Capítulo 11 Modelagem e simulação de soluções de projeto

11.1	A modelagem e a importância de modelos – contexto histórico da modelagem	435
11.2	Modelos: definições, propósitos, classificações e riscos	436
11.2.1	Classificação dos modelos	438
11.2.2	Vantagens e riscos da modelagem	440
11.2.3	Processo de modelagem	441
11.3	Exemplos de aplicações de modelos	442
11.3.1	Modelos e simuladores veiculares	443
11.3.2	Análise dimensional e modelos analógicos	446
11.3.3	Simulação de escoamento	454
11.3.4	Simuladores integrados a sistemas especialistas	457
11.4	Modelagem no projeto de produtos	461

11.5	A simulação dinâmica no contexto do projeto e introdução ao sistema AMESim	468
11.6	Análise de sensibilidade	477
11.7	Resumo	480
11.8	Problemas e temas de discussão	482
11.9	Referências bibliográficas	484

Capítulo 12 Análise de parâmetros no processo de projeto

12.1	Introdução	487
12.2	Contextualização da análise de parâmetros no processo de projeto	489
12.3	Definições e medidas para análise de parâmetro	491
12.3.1	Relação entre sinal e ruído	492
12.3.2	Função perda	493
12.3.3	Projeto de parâmetros	495
12.3.4	Projeto de tolerâncias	497
12.3.5	Análises de sensibilidade, compatibilidade e estabilidade	498
12.4	O método de Taguchi para o projeto robusto	504
12.5	Metodologia para projeto de experimento	507
12.6	Resumo	518
12.7	Problemas e temas de discussão	519
12.8	Referências bibliográficas	519

Capítulo 13 Otimização integrada no processo de projeto do produto

13.1	Introdução ao conceito de otimização integrada	521
13.2	Sistemática de dimensionamento da concepção de projeto	523
13.3	Otimização matemática do projeto	524
13.4	Otimização integrada do produto	531
13.4.1	Projeto para configuração	533
13.4.2	Projeto para precisão	534
13.4.3	Projeto para estética	536
13.4.4	Projeto para modularidade	538
13.4.5	Projeto para segurança e responsabilidade civil	541
13.4.6	Projeto para a normalização	543

13.4.7	Projeto para teste	544
13.4.8	Projeto para manufatura	546
13.4.9	Projeto para montagem	548
13.4.10	Projeto para embalagem	550
13.4.11	Projeto para uso amigável	553
13.4.12	Projeto para confiabilidade	555
13.4.13	Projeto para inspeção	557
13.4.14	Projeto para manutenibilidade	559
13.4.15	Projeto para apoio logístico	561
13.4.16	Projeto para meio ambiente, reciclagem e descarte	562
13.5	Resumo	564
13.6	Problemas e temas de discussão	565
13.7	Referências bibliográficas	566
	Apêndice Modelo PRODIP – processo de projeto	569
	Índice Remissivo	595

Prefácio

Projeto integrado de produtos: planejamento, concepção e modelagem apresenta, de forma estruturada, os processos e métodos adotados no projeto de produtos industriais, baseado na experiência de pesquisa, estudo e ensino nesse domínio de conhecimento, desde a década de 1970, no Núcleo de Desenvolvimento Integrado de Produtos – NeDIP, do Departamento de Engenharia Mecânica da UFSC. Em 1983, foi publicada a obra *Metodologia de projeto de produtos industriais*, que repercutiu muito bem no meio acadêmico e no setor industrial, cujo autor é o Prof. Nelson Back. Desde a década de 1980, começou-se a reconhecer em diversas universidades brasileiras a importância de um processo sistematizado e estruturado de desenvolvimento de produtos. Ocorreram, então, iniciativas para introduzir disciplinas de metodologia de projeto de produto nos currículos de graduação e pós-graduação. Os egressos dessas universidades, ao aplicar essa metodologia na indústria, mostraram os benefícios resultantes de uma metodologia estruturada, provocando uma demanda por literatura nesse campo de conhecimento. Procura-se, nesta obra, por meio de conceitos modernos e linguagem apropriada, cobrir os aspectos de todo o processo de desenvolvimento de produtos, desde a identificação das necessidades dos consumidores até o descarte do produto. Por ser um campo de conhecimento muito amplo, são apresentados, de forma estruturada, o processo e os métodos de desenvolvimento de produtos desde a fase inicial de planejamento até a fase de projeto conceitual, contendo cinco partes, desdobradas em treze capítulos. A obra foi dimensionada dessa forma por apresentar um conteúdo apropriado para estudos iniciais no domínio do processo de desenvolvimento de produto, já que essas fases promovem maior impacto na inovação e na qualidade do produto.

Na primeira parte, com três capítulos, encontram-se os conceitos gerais do campo de conhecimento, assim como a estrutura e os aspectos de

gestão do processo de projeto. No Capítulo 1, são apresentados conceitos fundamentais de desenvolvimento integrado de produtos, a evolução da área de conhecimento e a importância do projeto para a qualidade e competitividade do produto. São discutidos os principais aspectos da capacitação de profissionais e das perspectivas de evolução na pesquisa. No Capítulo 2, há uma visão geral de diversos modelos prescritivos de desenvolvimento do projeto encontrados na literatura, os fundamentos da engenharia simultânea e a estrutura do modelo de desenvolvimento integrado de produtos PRODIP, desenvolvido no NeDIP. Neste modelo, o processo é desdobrado em oito fases: planejamento do projeto, projeto informacional, projeto conceitual, projeto preliminar, projeto detalhado, preparação da produção, lançamento do produto e validação do produto. No Capítulo 3, apresentam-se argumentos e fundamentos de gerenciamento, demonstrando que o desenvolvimento de um produto é mais eficiente quando ele é elaborado sob os conceitos e princípios da gestão de projetos.

A segunda parte trata da fase de projeto informacional, que se constitui de dois capítulos. O Capítulo 4 discute o planejamento do produto, que compreende a identificação das oportunidades do mercado ou a definição do produto a ser desenvolvido, e a gestão da tecnologia necessária na sua produção. Definido o produto, o passo seguinte é a transformação das necessidades dos usuários em especificações de projeto, adotando como principal ferramenta o método de desdobramento da função qualidade, tratado no Capítulo 5.

Na terceira parte, definidas as especificações de projeto, inicia-se a geração de soluções alternativas de concepção do produto, adotando-se, para isso, métodos de criatividade muito encontrados na literatura, dos quais o Capítulo 6 descreve os mais representativos, entre intuitivos e sistemáticos. No Capítulo 7, é apresentado o método da síntese funcional, considerado o mais apropriado para a geração de concepções alternativas de novos sistemas técnicos. No mesmo capítulo, é descrita uma sistemática recomendada para, a partir de um produto existente, desenvolver a formalização do projeto, procedimento normalmente denominado engenharia reversa.

Obtidas as soluções alternativas, a próxima etapa do processo é a seleção e a modelagem da melhor ou das melhores soluções, pois, nesse estágio de desenvolvimento, há muitas incertezas na avaliação da concepção mais promissora. Na quarta parte, no Capítulo 8, inicia-se a seleção da

concepção pela avaliação da viabilidade econômica das concepções alternativas. São apresentados os conceitos de custo do ciclo de vida do produto, o desdobramento da estrutura de custos, os métodos de estimativa de custo e os métodos de análise comparativa da viabilidade econômica das concepções. Definidas as concepções economicamente viáveis, elas são submetidas a um procedimento mais abrangente de seleção, tratado no Capítulo 9, no qual se descreve uma metodologia de seleção em dois estágios: no primeiro, considera-se um processo de triagem das melhores soluções, levando-se em conta múltiplos critérios generalizados; no segundo, adota-se um método de valoração das concepções pela avaliação de múltiplos critérios específicos. A solução escolhida deve atender a diversos aspectos legais e éticos, os quais poderiam ser incorporados como critérios de seleção do Capítulo 9, mas se decidiu tratá-los em capítulo à parte. Uma concepção pode ser desenvolvida adotando informações de produtos existentes, se não houver patentes vigentes dessas soluções, mas, por outro lado, uma solução inovadora e patenteável sempre deve ser almejada. Os fundamentos para essa avaliação são tratados no Capítulo 10, que aborda a busca de informações em bancos de patentes, a patenteabilidade ou registro da invenção, a defesa da propriedade industrial, o registro de marcas, os aspectos relacionados à responsabilidade civil e os relativos à ética dos profissionais envolvidos no processo de desenvolvimento do produto. Realizada a análise de viabilidade econômica, efetuada a ordenação das soluções viáveis, e, ainda, verificada a patenteabilidade e a conformidade com as normas e a legislação pertinentes, é bem provável que se tenha identificado a melhor solução, que deve então ser submetida à modelagem para, posteriormente, efetuar-se seu dimensionamento e otimização. No Capítulo 11, são introduzidos conhecimentos necessários para identificar e formular o modelo ou os modelos mais apropriados para efetuar a análise e simulação do desempenho da concepção desenvolvida para o produto. Identificados os modelos e as correspondentes variáveis para efetuar os dimensionamentos, as diferentes análises e simulações, no Capítulo 12, são apresentados os aspectos e conceitos para a definição do espaço viável de projeto, a determinação da sensibilidade do desempenho às variações dos parâmetros de projeto e aos fatores de meio ambiente, bem como as tolerâncias admissíveis das variáveis de projeto. Com os conceitos apresentados até o Capítulo 12, conclui-se a fase do projeto conceitual do produto.

O Capítulo 13 tem dois objetivos principais: o primeiro é proporcionar ao leitor uma idéia mais ampla sobre as preocupações que o projetista deve ter durante o processo de planejamento, definição, geração e seleção da solução para o produto, ou seja, nas três fases tratadas nesta obra; o segundo objetivo é estabelecer uma interface e dar uma visão do que se entende por otimização integrada do produto.

Por esta obra ter sido elaborada no Núcleo de Desenvolvimento Integrado de Produtos – NeDIP, do Departamento de Engenharia Mecânica do Centro Tecnológico da UFSC, foram inúmeros os profissionais que colaboraram com o conteúdo e a preparação deste texto, a quem os autores agradecem. Muito do que é apresentado são experiências de ensino e de pesquisa na graduação e pós-graduação. Questões, partes do texto e exemplos apresentados foram contribuições dos oitenta alunos de mestrado e quinze de doutorado formados no NeDIP desde 1973. Os autores também receberam contribuições de diversos professores do departamento.

Nominalmente, queremos agradecer a participação dos acadêmicos Heitor Kagueiama e Eduardo Natal Meller, pela preparação dos desenhos, do Dr. Anibal Alexandre Campos Bonilla, pela diagramação do texto, do Roberto Dias de Andrade, pela construção e pelos testes de protótipos e, especialmente, da Maria Helena de Carlos Back, pela leitura e pelas sugestões de correções de português de todo o texto.

Quanto às instituições, queremos, em primeiro lugar, agradecer ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq, que, desde 1992, apóia o NeDIP nos projetos de pesquisa em sistematização do processo de desenvolvimento de produtos, concedendo bolsas de iniciação científica, mestrado, doutorado e de produtividade, bem como recursos financeiros para custear as pesquisas. Agradecemos também ao Departamento de Engenharia Mecânica e ao Centro Tecnológico da UFSC, pelo contínuo incentivo.

Os autores são gratos à Fundação do Ensino da Engenharia em Santa Catarina (FEESC), com sede no Centro Tecnológico da UFSC, pelo apoio financeiro recebido para a preparação final do texto desta obra.

*Nelson Back
André Ogliari
Acires Dias
Jonny Carlos da Silva*

Lista de siglas

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ACWP	Custo atual do trabalho executado na data de controle (<i>Actual Costs of Work Performed</i>)
AMESim	<i>Advanced Modeling Environment for Simulations</i>
ANOVA	Análise da variância (<i>Analysis of Variance</i>)
ASME	Sociedade Norte-americana de engenheiros mecânicos (<i>American Society of Mechanical Engineers</i>)
BCC	Custo meta ou planejado do projeto na conclusão (<i>Budgeted Cost at Completion</i>)
BCWP	Valor do trabalho executado (<i>Budgeted Cost for Work Performed</i>)
BCWS	Custo planejado do trabalho programado (<i>Budgeted Cost for Work Scheduled</i>)
CAD	Projeto assistido por computador (<i>Computer Aided Design</i>)
CAM	Manufatura assistida por computador (<i>Computer Aided Manufacturing</i>)
CDC	Código de Defesa do Consumidor
CEDIN	Centro de Documentação e Informação Tecnológica
COPPE/UFRJ	Coordenação dos Programas de Pós-graduação de Engenharia da Universidade Federal do Rio de Janeiro
CPM	Método do caminho crítico (<i>Critical Path Method</i>)
CV	Variância de custo (<i>Cost Variance</i>)
DFA	Projeto para montagem (<i>Design for Assembly</i>)
DFC	Projeto para custo (<i>Design for Cost</i>)

DFE	Projeto para meio ambiente (<i>Design for Environment</i>)
DFM	Projeto para manufatura (<i>Design for Manufacturing</i>)
DFS	Projeto para segurança (<i>Design for Safety</i>)
DI	Desenho Industrial
DoE	Projeto do experimento (<i>Design of Experiments</i>)
EAP	Estrutura Analítica do Projeto
ECC	Projeção do custo na conclusão do projeto (<i>Estimated Cost at Completion</i>)
ECOMP	Estações de Compressão de Gás Natural
EDP	Estrutura de Desdobramento do Produto
EDT	Estrutura de Desdobramento do Trabalho
EE	Estação de Entrega
EFt	Tempo mais cedo de término (<i>Earliest Finish time</i>)
EPO	Escritório Europeu de Patentes (<i>European Patent Office</i>)
ES	Engenharia Simultânea
Est	Tempo mais cedo de início (<i>Earliest Start time</i>)
EV	Valor agregado (<i>Earned Value</i>)
FAST	Técnica de análise funcional de sistemas (<i>Functional Analysis System Technique</i>)
FE	Função Elementar
FG	Função Global
IDEF0	Definição de integração para a modelagem de função (<i>Integration Definition for Function Modeling</i>)
INPI	Instituto Nacional de Propriedade Industrial
FINEP	Financiadora de Estudos e Projetos
FMEA	Análise do modo de falha e efeito (<i>Failure Mode and Effect Analysis</i>)
FMECA	Análise do modo de falha, efeito e criticidade (<i>Failure Mode, Effect and Criticality Analysis</i>)
FP	Função Parcial
IPT	Instituto de Pesquisas Tecnológicas
ISO	Organização Internacional para Padronização (<i>International Organization for Standardization</i>)
LFt	Tempo mais tarde de término (<i>Latest Finish time</i>)
LIT	Limite Inferior de Tolerância

LPI	Lei de Propriedade Industrial
LSt	Tempo mais tarde de início (<i>Latest Start time</i>)
LST	Limite Superior de Tolerância
MEP	Matriz de Estruturação do Projeto (<i>DSM – Design Structure Matrix</i>)
NASA	Agência Espacial Norte-americana (<i>National Aeronautics and Space Administration</i>)
MU	Modelo de Utilidade
NBR	Norma Brasileira
NeDIP	Núcleo de Desenvolvimento Integrado de Produtos
OMPI	Organização Mundial da Propriedade Intelectual (<i>WIPO – World Intellectual Property Organization</i>)
PCA	Aeronave de propulsão controlada (<i>Propulsion Controlled Aircraft</i>)
PCEE	Problema Como É Entendido
PCED	Problema Como É Definido
PCT	Tratado de Cooperação em Matéria de Patentes
PDM	Método do Diagrama de Precedência
PERT	Técnica de revisão e avaliação de programas (<i>Program Evaluation and Review Technique</i>)
PI	Patente de Invenção
P&D	Pesquisa e Desenvolvimento
PMI	Instituto de gerenciamento de projeto (<i>Project Management Institute</i>)
PO	Projeção do acréscimo de custo na conclusão do projeto (<i>Projected Overrun</i>)
PRODIP	Processo de Desenvolvimento Integrado de Produtos
PROFINT	Programa de Fornecimento Automático de Informação Tecnológica
QE	Questão Evocativa
QFD	Desdobramento da função qualidade (<i>Quality Function Deployment</i>)
QLF	Função perda de qualidade (<i>Quality Loss Function</i>)
RPI	Revista da Propriedade Industrial
S/CS	Sensor de Condicionamento de Sinal

SEGRED	Sistemas Especialistas para Gerenciamento de Redes de Gás Natural
ST	Sistema Técnico
SWOT	Forças, fraquezas, oportunidades e ameaças (<i>Strengths, Weaknesses, Opportunities and Threats</i>)
SV	Variação do cronograma (<i>Schedule Variance</i>)
TRIZ	Teoria de solução inventiva de problemas (<i>Teoriya Rezheniya Izobretatel'skisch Zadach</i>)
TV	Variação entre tempo programado e de execução (<i>Time Variance</i>)
USPTO	Escritório de patentes e marcas registradas dos EUA (<i>United States Patent and Trademark Office</i>)
VDI	Associação alemã de engenheiros (<i>Verein Deutscher Ingenieure</i>)
VF	Valor Futuro
VP	Valor Presente

Parte I

Introdução ao projeto integrado de produtos

Capítulo 1

Desenvolvimento integrado do produto – importância para a competitividade

1.1 Introdução

Este capítulo apresenta uma introdução à área de desenvolvimento de produtos industriais. Em primeiro lugar, devido à amplitude e à multidisciplinaridade da área de conhecimento, serão relacionados alguns conceitos básicos e discutidas as principais terminologias adotadas nesta obra, visando uma uniformidade de entendimento.

Utensílios ou produtos já são produzidos desde os primórdios da civilização humana, mas o estudo do processo de projeto de produtos, como uma disciplina ou de uma forma mais sistemática, só ocorreu a partir da década de 1960, como será descrito em um breve histórico no item 1.3. A partir de 1980, com a globalização, a atividade de desenvolvimento de produtos foi considerada de importância extraordinária; os métodos e ferramentas desenvolvidos foram resultados de grandes esforços de pesquisa. Atualmente a competitividade dos produtos depende de fatores tais como escopo, custo, tempo de lançamento e qualidade do produto, conforme as considerações apresentadas no item 1.4 deste capítulo.

Na seqüência, o capítulo traz aspectos e perspectivas sobre ensino, capacitação e pesquisa no campo de conhecimento de desenvolvimento de produtos. Ao final do capítulo, com o objetivo de fixar e ampliar o conhecimento sobre os assuntos abordados, são apresentados problemas, temas de discussão e as referências bibliográficas.

1.2 Conceitos básicos para o desenvolvimento integrado de produtos

Desenvolvimento de produto é um conceito amplo e, nesta obra, compreenderá os aspectos de planejamento e projeto, ao longo de todas as atividades da seqüência do processo, desde a pesquisa de mercado, o projeto do produto, projeto do processo de fabricação, plano de distribuição e de manutenção até o descarte ou desativação do mesmo. Por esse conceito, entende-se desenvolvimento de produto como todo o processo de transformação de informações necessárias para a identificação da demanda, a produção e o uso do produto. O desenvolvimento integrado de produto considera que esse processo de transformação e geração de informações deva ser efetuado por uma equipe multidisciplinar, ou melhor, que os requisitos, restrições do produto e soluções, ao longo de todas as fases do processo, devam ser considerados ou pensados simultaneamente. O termo engenharia simultânea também será usado para expressar o desenvolvimento integrado do produto. Engenharia simultânea é a tradução adotada para *concurrent engineering*, do inglês.

O termo produto refere-se a um objeto concebido, produzido industrialmente com características e funções, comercializado e usado pelas pessoas ou organizações, de modo a atender a seus desejos ou necessidades. Os produtos são constituídos de elementos que formam um conjunto de atributos básicos, tais como: aparência, forma, cor, função, imagem, material, embalagem, marca, serviços pós-venda e garantias. Novos produtos não significam, necessariamente, produtos originais; novos produtos podem ser obtidos com melhorias e modificações de produtos existentes. Novos tamanho e forma de um produto já existente podem representar um novo produto. Da mesma forma, um produto já existente introduzido em um novo nicho de mercado ou em um novo mercado geográfico pode ser considerado um novo produto. Os novos produtos podem ser classificados em:

- **variantes de produtos existentes:** incluem extensões de linha, reposicionamento de produtos em termos de seu uso e mercado, formas novas, versões modificadas e, em alguns casos, a nova embalagem de produtos existentes;
- **inovativos:** são o resultado de modificações feitas em produtos existentes, gerando produtos de elevado valor agregado. Geralmente

um maior grau de inovação requer um tempo mais longo ou esforço de desenvolvimento e maior custo de pesquisa;

- **criativos:** são produtos normalmente com existência nova. Seu tempo de desenvolvimento é longo e os custos de pesquisa e desenvolvimento são elevados. A introdução de produtos criativos no mercado pode ser de risco elevado, mas também pode gerar novos paradigmas e potencializar novos campos industriais.

Outro termo freqüentemente usado nesta obra é o de ciclo de vida do produto, que é empregado na literatura em geral para dois significados. No primeiro caso, é usado para expressar o período entre o lançamento e a retirada do produto do mercado, ou o tempo de comercialização do mesmo. No segundo caso, e quando usado no presente livro, ciclo de vida do produto significa a seqüência de fases pelas quais se desenvolve o produto, desde a busca de oportunidades no mercado, o projeto, a fabricação até o uso e o descarte. Dentro desse ciclo, tratar-se-á, em profundidade, o processo de desenvolvimento do produto, que compreende as seguintes fases: planejamento do produto; definição das especificações de projeto; projeto do produto; projeto do processo de fabricação e de montagem; construção e teste do protótipo; e planejamento do processo de transporte, manutenção e descarte ou desativação do produto. A fase de projeto do produto terá destaque especial nesta publicação e será abordada na maior parte dos próximos capítulos.

Projeto, neste contexto, corresponde ao termo *design*, em inglês, e *Konstruktion*, em alemão. No Brasil vem-se adotando o termo *design* para expressar a área de conhecimento do domínio do desenho industrial ou, em inglês, o termo *industrial design*. Os desenhistas industriais brasileiros costumam chamar-se de *designers*, para expressar os profissionais que atuam no domínio de ergonomia, expressão e estética do produto. No Brasil, de forma geral e neste livro, adotam-se os termos projetar e projetista para expressar a atividade e o profissional que desenvolve produtos industriais. Projeto é o resultado da atividade de projetar, e para a ação de projetar vem-se usando o termo projeção (Ferreira, 1986).

Conforme Ferreira (1986), a palavra projeto é a **“idéia que se forma de executar ou realizar algo no futuro, é um plano, um intento ou desígnio”**. Assim, projeto do produto é um plano de um empreendimento a ser realizado – um produto, com o fim de atender a uma necessidade. Traduzido do dicionário Oxford (Fowler e Fowler, 1964), projeto ainda pode ser

definido como “**um plano mental, um esquema de ataque, visão de um fim, adaptação de meios para fins (...), esquemas preliminares de um objeto (...), invenção**”. Alguns elementos importantes dessas definições são os seguintes:

- **meios para fins:** implica que se projete não para um exercício mental abstrato, mas para uma meta definida em vista;
- **plano mental:** sugere que o projeto é um processo de pensamento. Quando se projeta, trata-se primeiramente com idéias, com abstrações, em vez de números. É vital que se desenvolva e aplique a imaginação para visualizar, realisticamente, a futura concepção do produto;
- **plano, esquema:** sugere que o projeto é distinto do ponto de vista da implementação. Diferentes planos podem ser preparados;
- **invenção:** significa que se está procurando alguma coisa nova, ao menos parcialmente. A criatividade é crucial para esse propósito.

As definições anteriores são gerais e se aplicam para diferentes tipos de projetos, desde aqueles pessoais, bem como os governamentais, até aqueles desenvolvidos pelas empresas de um modo geral. Do ponto de vista do projeto de produtos de engenharia, outras definições são encontradas na literatura técnica, conforme exemplos mostrados a seguir.

Projeto de engenharia é o “**uso de princípios científicos, informações técnicas e imaginação na definição de estruturas, máquinas ou sistemas para desempenhar funções pré-especificadas com máxima economia e eficiência**”. A responsabilidade do projetista ou da equipe de projeto se estende por todo o processo, desde o estabelecimento das especificações do mesmo até as instruções detalhadas para a fabricação, uso e descarte ou desativação, além de atenção especial com segurança e meio ambiente.

Projeto é uma atividade predominantemente cognitiva, fundamentada em conhecimento e experiência, dirigida à busca de soluções ótimas para produtos técnicos, a fim de determinar a construção funcional e estrutural e criar documentos com informações precisas e claras para a fabricação. Como parte do processo de desenvolvimento do projeto, incluem-se a configuração intelectual e representacional de determinada forma, a escolha da matéria-prima e o processo de fabricação, assim como tornar possível e justificável, técnica e economicamente, a realização material ou física do produto.

O projeto do produto pode ser formulado como o ato, sujeito às restrições de resolução, de planejar uma peça ou um sistema para atender de forma ótima às necessidades estabelecidas, sujeito, ainda, às restrições de solução. Por restrições de resolução, entende-se aquelas que se relacionam com o conhecimento disponível, o tempo e as facilidades de laboratório e de computação para resolver o problema; por restrições de solução, entende-se aquelas que englobam aspectos de custos, disponibilidade de materiais, equipamentos de fabricação e de uso, manutenção e descarte.

Como se pode observar, projeto do produto é um plano amplo para realizar algo, compreendendo aspectos desde a identificação de uma necessidade até o descarte ou o seu efeito sobre o meio ambiente. O objetivo, neste livro, é orientar o leitor para a necessidade de uma visão abrangente do termo projeto do produto, mostrando as preocupações que os projetistas ou equipes de projeto devem ter e quais são os métodos e ferramentas apropriadas para o desenvolvimento de um produto de alta qualidade. Quando se fala em qualidade do produto, esse termo tem um significado bem amplo, isto é, um produto de escopo apropriado, fornecido em tempo e custo adequados, com especificações de função, de fabricação, uso e manutenção fáceis e econômicos, seguro, confiável, inofensivo ao meio ambiente etc. Para conceitos tais como fabricação, montagem e manutenção fáceis e econômicas, e tantos outros, serão usados os termos fabricabilidade, montabilidade e manutenibilidade. Estas são qualidades que o produto deverá apresentar.

Para desenvolver um produto com eficiência e eficácia, é necessário saber *o que fazer, para quem fazer, quando fazer, com que fazer e como fazer*. A esta organização (conhecimentos, métodos e ferramentas utilizados para o desenvolvimento) chamar-se-á metodologia de projeto, ou metodologia de desenvolvimento de produtos. Outros termos encontrados na literatura são engenharia do produto, projeto de engenharia e teoria de projeto. Na literatura de língua inglesa encontram-se termos tais como *engineering design, product design* e *theory of design*, e na língua alemã, encontram-se os termos de *Methodisches Konstruieren* e *Theorie der Konstruktionsprozesse*.

Com a globalização da economia, os produtos devem apresentar alta qualidade, no mais amplo sentido do termo, ou seja, o produto deve ser competitivo. Para alcançar essa competitividade o produto deverá ser desenvolvido de uma forma integrada, com competências em múltiplas dis-

ciplinas. Assim, não se pode mais falar em projetista, no singular, mas em equipe integrada de profissionais de diversas funções dentro de um ambiente de desenvolvimento de produto de uma empresa, universidade ou instituto de pesquisa, e que atue, simultaneamente, ao longo do processo de desenvolvimento do produto.

A gerência é importante para que uma equipe de profissionais das mais diversas competências – desenhistas industriais ou *designers*; de marketing; de custos; engenheiros mecânicos, eletricitistas, eletrônicos, de informática, de materiais, de confiabilidade, de embalagens; assistência técnica; consumidores; fornecedores etc. – alcance bons resultados. Essa ação de gerência é, genericamente, denominada e encontrada na literatura técnica sob os termos de gestão ou gerenciamento de projetos. Nesta obra prefere-se usar o termo gerenciamento, ou então, mais especificamente, gerenciamento do desenvolvimento do produto.

1.3 Breve histórico da área de conhecimento

A atividade de produção é inerente à atividade humana e tem papel fundamental nas diversas fases de desenvolvimento econômico. Até a Revolução Industrial, no século XVIII, os produtos eram elaborados diretamente por artesãos. Com o surgimento das fábricas e com o aumento do volume de produção houve uma divisão do processo de produção em atividades de projeto, fabricação e comercialização. No século XX, após a Segunda Guerra Mundial, iniciaram-se estudos da atividade de projeto como uma disciplina independente. A partir de 1960 encontram-se obras de autores que tratam da atividade de desenvolvimento de produtos de uma forma mais sistemática: Asimov (1962), Cain (1969), Krick (1965), Vidosic (1969) e Woodson (1966).

Mais recentemente, na década de 1980, países como os Estados Unidos e a Inglaterra realizaram estudos para identificar razões da perda de competitividade de seus produtos. Nos estudos da ASME (1985, 1986) e de Wallace e Hales (1987), ficou evidenciado que essas perdas estavam associadas a deficiências na qualidade de projeto de seus produtos. Apontou-se o planejamento inadequado em ensino e pesquisa de princípios, teorias, metodologias e ferramentas de apoio ao projeto como um dos principais fatores. Na Alemanha, contudo, desde a década de 1970, desenvolveu-se um grande esforço de pesquisa nesta área do conheci-

mento, como mostram várias obras: Koller (1976), Pahl e Beitz (1977), Rodenacker (1976) e Roth (1982). Estas são obras publicadas e traduzidas em várias edições, até os dias atuais.

Após o estudo da ASME (1985), financiado pela *National Science Foundation* dos Estados Unidos, houve um grande impulso em pesquisas e publicações de resultados, introduzindo novos conceitos, dentre os quais se podem citar os seguintes: projeto para o ciclo de vida do produto; projeto para manufatura; projeto para montagem; projeto para qualidade total; projeto para competitividade; desdobramento da função qualidade, QFD; engenharia simultânea; desenvolvimento integrado do produto; sistemas especialistas em projeto etc. Algumas obras abordando esses aspectos estão listadas a seguir: Andreasen (1983), Blanchard e Fabrycky (1981), Boothroyd (1980), Clausing (1994), Nevins e Whitney (1989), Pugh (1991) e Ullman (1992).

No Brasil foram poucas as iniciativas de ensino e pesquisa nesta área de conhecimento. No Departamento de Engenharia Mecânica da UFSC, foram dados os primeiros passos, em 1976, introduzindo disciplinas de metodologia de projeto de produtos industriais, na graduação e na pós-graduação. No início da década de 1980, Back (1983) publicou a primeira obra em português sobre metodologia de projeto de produtos industriais. A partir dessa data vários centros brasileiros introduziram esta área de conhecimento em cursos de graduação e pós-graduação, geralmente nos cursos de engenharia mecânica, engenharia de produção e desenho industrial. Somente na década de 1990, com a abertura da economia brasileira, é que houve, por parte da indústria brasileira, uma grande procura de profissionais com competência em desenvolvimento de produto. Antes, a indústria brasileira pouco inovava em seus produtos, e o que mais funcionava era a adaptação de produtos do exterior, tanto por empresas nacionais quanto por internacionais, usando para essa prática um nome mais sofisticado, o de engenharia reversa.

A Tabela 1.1 dá uma breve idéia da evolução do conhecimento no domínio de desenvolvimento de produtos, sob a ótica da equipe de pesquisadores do NeDIP, do Departamento de Engenharia Mecânica da UFSC.

Como se pode observar, foram dados novos enfoque e importância à área de conhecimento, entendendo que a qualidade, a competitividade, o custo e a redução do tempo de lançamento são, principalmente, alcançados no projeto do produto.

Tabela 1.1 Evolução no campo de conhecimento em projeto de produtos

Item	Cronologia das principais referências bibliográficas	Comentários sobre a obra
1	Asimov (1962)	Este foi o primeiro livro que apresentou, de forma mais orientada, as atividades desenvolvidas ao longo do processo de projeto de engenharia
2	Woodson (1966)	A obra, até esta data, apresentou a melhor visão sobre o abrangente processo de projeto de engenharia. Praticamente não usou o termo projeto ou desenvolvimento de produto, mas é uma boa obra e descreve, de forma sistemática, o desenvolvimento de projetos de engenharia
3	Cain (1969)	Esta talvez seja a primeira obra que adota o termo projeto de produtos e, pioneiramente, apresenta os capítulos: projeto para função; projeto para uso; projeto para aparência e projeto para manufatura. Foi muito oportuna na época
4	Pahl e Beitz (1972 - 74)	Foram publicados, neste período, 36 artigos na revista <i>Konstruktion</i> , descrevendo a prática de projeto como resultados de pesquisas de diversos centros na Alemanha. Este pode ser considerado um marco inicial e importante para a sistematização do processo de desenvolvimento de produtos
5	Koller (1976)	O autor apresentou uma metodologia de projeto de sistemas técnicos baseada em resultados de pesquisas desenvolvidas na Alemanha, semelhantes ao material citado no item 4
6	Rodenacker (1976)	Esta obra é semelhante ao livro de Koller. Também apresenta uma metodologia de desenvolvimento de sistemas técnicos. Os livros dos itens 5 e 6, para o seu tempo, eram de muito bom conteúdo
7	Pahl e Beitz (1977)	Os autores, no item 4, eram os editores dos artigos, cuja obra é a transformação deles em livro. A obra foi republicada, até o presente momento, em várias edições, inclusive em inglês. Provavelmente, estes dois autores são, mundialmente, os mais referenciados nessa área. Foi, e ainda é, uma excelente obra

continua

Tabela 1.1 Evolução no campo de conhecimento em projeto de produtos
(continuação)

Item	Cronologia das principais referências bibliográficas	Comentários sobre a obra
8	VDI 2222 (1977)	As pesquisas realizadas na Alemanha e descritas nas obras dos itens 4 a 7 resultaram nesta norma que apresenta uma sistemática de projeto de sistemas técnicos. Em 1985, foi publicada a VDI 2221
9	Blanchard e Fabrycky (1981)	Esta obra é típica de engenharia de sistemas e foi o livro que, até aquela data, melhor apresentou uma visão global do processo de desenvolvimento de produtos. Tinha a visão de projeto do produto para o consumidor e para o ciclo de vida do produto, próxima da atual visão da engenharia simultânea
10	Back (1983)	Esta foi a primeira obra sobre metodologia de projeto de produtos industriais publicada em português. O conteúdo fez parte de duas disciplinas ministradas na pós-graduação em engenharia mecânica da UFSC e cobria aspectos de projeto do produto. Fundamentou as bases para pesquisa e ensino em metodologia de projeto e para o reconhecimento dessa área no Brasil
11	ASME (1985)	A pesquisa foi realizada pela ASME, procurando identificar as razões pelas quais os produtos dos Estados Unidos perdiam competitividade perante os produtos do Japão e da Alemanha. Constatou-se a baixa qualidade do projeto de seus produtos e, como principal causa, os descuidos no ensino e pesquisa na área de desenvolvimento de produtos
12	ASME (1986)	Este artigo apresenta recomendações e diretrizes para o ensino e a pesquisa na área. Os trabalhos dos itens 11 e 12 podem ser considerados um marco para o desenvolvimento dessa área, especialmente nos Estados Unidos e na Inglaterra
13	Wallace e Hales (1987)	De forma análoga ao item 11, este artigo aborda o correspondente estudo efetuado na Inglaterra

continua

Tabela 1.1 Evolução no campo de conhecimento em projeto de produtos
(continuação)

Item	Cronologia das principais referências bibliográficas	Comentários sobre a obra
14	Clausing (1994), Kusiak (1993) e Ullman (1992)	Estas três obras representam muito bem um número elevado de publicações, que surgiram a partir do fim da década de 1980, nas quais são descritas metodologias de desenvolvimento de produtos com as visões de engenharia simultânea, qualidade total, desenvolvimento integrado ou projeto para competitividade

Como se pode verificar por meio das obras mostradas na Tabela 1.1, a partir dos meados da década de 1980, a área de desenvolvimento de produtos recebeu grande atenção, resultando numa avalanche de publicações, novos termos, conceitos e siglas. Para citar exemplos, tem-se a seguir, traduzidos para o português, vários termos encontrados na literatura inglesa:

- projeto para o ciclo de vida do produto (*Design for Life Cycle – DFCL*);
- projeto para o consumidor (*Design for Consumer*);
- projeto para custo (*Design for Cost – DFC*);
- projeto para manufatura (*Design for Manufacturing – DFM*);
- projeto para montagem (*Design for Assembly – DFA*);
- projeto para meio ambiente (*Design for Environment – DFE*);
- projeto para confiabilidade (*Design for Reliability*);
- projeto para manutenibilidade (*Design for Maintainability*);
- engenharia simultânea (*Concurrent Engineering – CE*);
- projeto para qualidade (*Design for Quality – DFQ*);
- projeto para competitividade (*Design for Competitiveness*);
- desenvolvimento integrado do produto (*Integrated Product Development – IPD*).

Assim se poderia estender por muitos outros conceitos, termos e siglas. Dentro desses conceitos, o importante é destacar que surgiram duas linhas principais de pensamento. A primeira é que o projeto deve ser elaborado tendo em vista certas características ou qualidades do produto. Como

exemplos nesta linha tem-se projetos para: custo; manufatura; montagem; confiabilidade; manutenibilidade; meio ambiente; entre outros. A segunda linha refere-se ao processo de desenvolvimento do produto, quanto à multidisciplinaridade, ao ciclo de vida do produto, à integração de equipes e à simultaneidade de atividades de desenvolvimento. Nesta linha podem ser enquadrados: projeto para o ciclo de vida do produto; engenharia simultânea; projeto para a qualidade; projeto para competitividade e desenvolvimento integrado do produto.

Esses princípios, procedimentos, técnicas ou ferramentas serão objeto de estudo em capítulos posteriores.

1.4 Desenvolvimento de produtos e sua importância para a competitividade

De acordo com Coutinho e Ferraz (1994), o desempenho competitivo é condicionado por um vasto conjunto de fatores, que podem ser subdivididos em: internos à empresa, de natureza estrutural, pertinentes aos setores e complexos industriais; e de natureza sistêmica, como mostra a Figura 1.1.

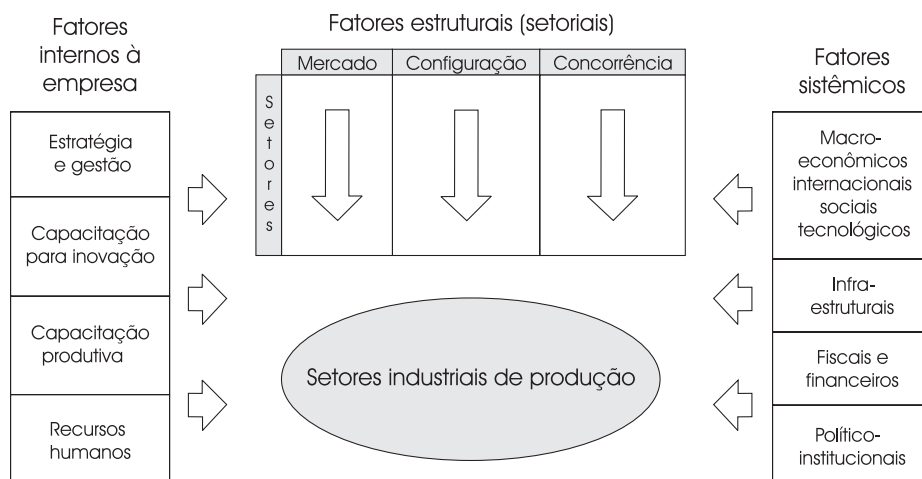


Figura 1.1 Fatores determinantes da competitividade da indústria (adaptado de Coutinho e Ferraz, 1994).

Os fatores internos à empresa são os que estão sob a sua esfera de decisão e por meio dos quais ela procura se distinguir de seus competidores.

Incluem os estoques de recursos acumulados pela empresa, as vantagens competitivas que possui e sua capacidade de ampliá-las. Podem-se citar, entre outros: a capacidade tecnológica e produtiva; a qualidade e a produtividade de seus recursos humanos; o conhecimento do mercado e a capacidade de se adequar às suas especificidades; a qualidade e a amplitude de serviços pós-vendas; e as relações privilegiadas com usuários e fornecedores.

Os fatores estruturais são aqueles que, mesmo não sendo inteiramente controlados pela organização, estão parcialmente sob sua área de influência e caracterizam o ambiente competitivo que ela enfrenta diretamente. Esses fatores se relacionam às características dos mercados consumidores, à configuração da indústria em que a empresa atua e à concorrência.

Os fatores sistêmicos podem ser macroeconômicos, político-institucionais, regulatórios, infra-estruturais e sociais.

Quanto aos fatores internos, em uma empresa produtora de bens ou produtos, o fundamental é a qualidade dos mesmos, que tem, atualmente, um conceito bem amplo, isto é, a qualidade deve estar integrada ao produto em todo o ciclo de vida. O ponto de partida é o projeto do produto, no qual devem ser considerados os aspectos de qualidade, desde a atividade de identificação das necessidades até o descarte.

Hoje em dia estão superadas as visões econômicas tradicionais que definiam a competitividade como uma questão de preços, custos e taxas de câmbio. A Figura 1.2 destaca as primeiras fases do projeto do produto e ainda pode ser útil para uma análise do processo de projeto sob um ponto de vista atual. Pode-se constatar que o custo do produto fica praticamente comprometido com as tomadas de decisão nas primeiras fases do ciclo de vida, isto é, até concluir o projeto detalhado. Como já foi apresentado por Downey (1969) e, mais tarde, por Barton, Love e Taylor (2001), isso representa cerca de 70% ou mais do custo do produto.

Ainda sob a ótica do custo, é interessante observar, na Figura 1.3, que o custo do projeto é da ordem de 5%, mas o efeito de decisões tomadas nesta fase afeta 70% do custo total do produto.

Já a Figura 1.4 destaca a importância da atividade de desenvolvimento do produto. Indica que mudanças a serem feitas, se necessárias, custam muito pouco no início do desenvolvimento, mas, à medida que o processo vai avançando nas diferentes fases, esse custo poderá alcançar um fator dez vezes superior em relação à fase anterior.

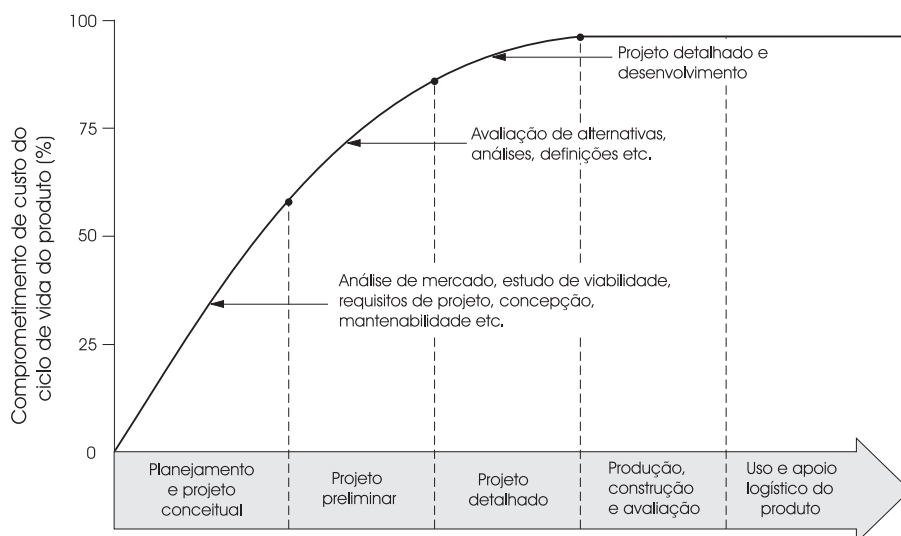


Figura 1.2 Efeitos das diferentes fases do ciclo de vida sobre o custo do produto (Downey, 1969).

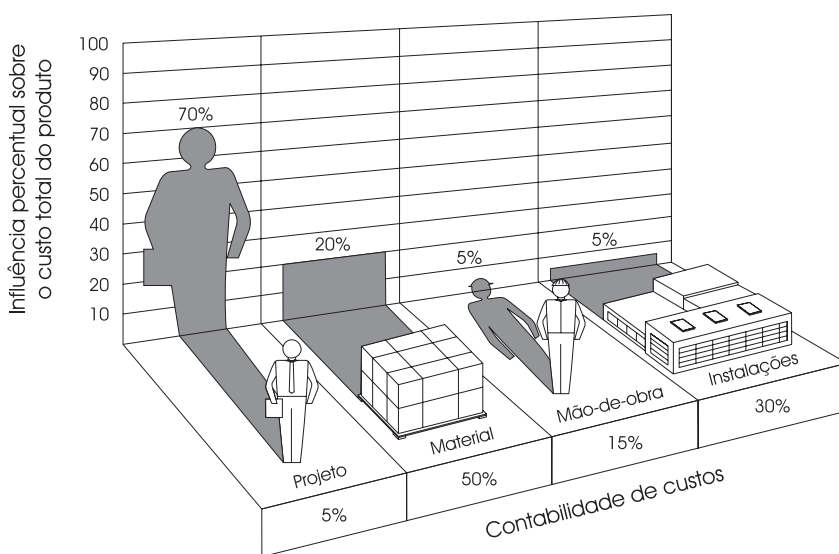


Figura 1.3 Influências sobre o custo do produto, devido às decisões tomadas, referentes ao projeto, ao material, à mão-de-obra e às instalações (Smith e Reinertsen, 1991).

Como se pode observar, as Figuras 1.2 a 1.4 mostram a influência da atividade de projeto sobre o custo do produto, em sua produção ou ao longo de todo o ciclo de vida. De forma semelhante, pode-se analisar os

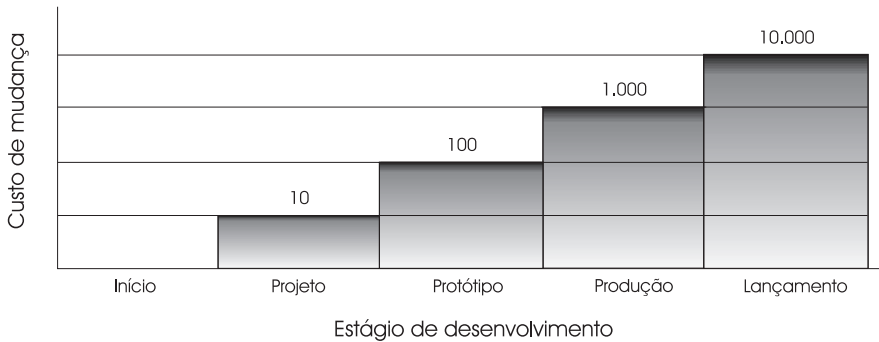


Figura 1.4 Efeito de escala de custos de mudanças do produto nas diversas fases de desenvolvimento (Huthwaite e Schneberger, 1992).

efeitos do projeto de produto sob uma ótica mais atual, considerando conceitos de valor agregado, qualidade ou competitividade do produto.

Baseado nas observações anteriores, verifica-se que, na atualidade, a competitividade dos produtos depende fundamentalmente da atividade de projeto tendo em vista os seguintes fatos:

- de 70% a 90% do custo do ciclo de vida do produto já está comprometido com as decisões tomadas até o final do projeto do produto (Barton, 2001);
- o projeto conceitual de um produto deve ser bem elaborado de início, para evitar os elevados custos de modificações em estágios avançados do desenvolvimento (Huthwaite e Schneberger, 1992);
- a aplicação de metodologias ou procedimentos de desenvolvimento integrado do produto ou de engenharia simultânea têm apresentado consideráveis vantagens nos seguintes aspectos: redução de tempo de desenvolvimento do produto, redução de modificações do projeto e aumento da qualidade sob diversos aspectos.

De acordo com Dixon (1991), as melhores práticas de desenvolvimento de produtos, retiradas de um levantamento efetuado junto a empresas mundialmente reconhecidas e competitivas, incluindo Xerox, Polaroid, Ford, Hewlett-Packard, Carrier e GE, são as relacionadas a seguir:

- mecanismos para obtenção e consideração de novas e melhoradas idéias de produtos e processos, de consumidores, de colaboradores e de mercado. Esse processo é facilitado e apoiado por um contínuo fluxo de informações de novas metodologias, materiais e tecnologias;

- mecanismos para seleção de novas idéias para estudos preliminares relativos ao projeto, potencial de mercado, fabricação, custos e estratégias empresariais;
- emprego da engenharia simultânea usando equipes multifuncionais para obtenção da integração da função do produto, dos processos de manufatura, aspectos de mercado e outras considerações do ciclo de vida durante o processo de realização do produto;
- estabelecimento de pontos e critérios de decisão bem definidos e de participantes de decisão, durante o processo de realização do produto;
- uso máximo da computação no desenvolvimento de protótipos, métodos e tecnologias de simulação;
- especial atenção ao papel de protótipos, seus propósitos, números, tempos e tecnologias;
- constante pesquisa visando à substituição de materiais;
- comprometimento total da empresa com qualidade, custo e prazos de lançamento do produto no mercado;
- especial atenção ao controle de processos visando à alta qualidade ao produto;
- especial atenção a tolerâncias;
- estabelecimento e contínuo refino das medidas de qualidade do produto, do desempenho do projeto e dos processos de manufatura;
- crescente ênfase na integração de sistemas de tecnologias mecânicas, eletrônicas, ópticas e de computação;
- uso máximo de concepções baseadas em custos;
- uso máximo de tecnologias computacionais, CAD, modelagem sólida, de montagem;
- outras metodologias e tecnologias específicas, tais como projeto para manufatura, montagem, confiabilidade, segurança, manutenibilidade, apoio logístico etc.

1.5 O ensino para o desenvolvimento de produtos e seu valor estratégico no Brasil

Durante muito tempo se pensou que a capacitação no domínio de desenvolvimento de produtos apenas poderia ser plenamente adquirida com

muitos anos de experiência e, também, por profissionais que tinham certas aptidões especiais. Dessa forma, pouco se pesquisava por princípios, métodos, ferramentas ou metodologias de projeto de produtos industriais. Até o fim da década de 1970, havia uma ampla literatura de projeto, mas de projetos específicos e mais voltados ao dimensionamento, como projeto de elementos de máquinas, de máquinas operatrizes, de veículos automotores, de vasos e tubulações sob pressão, sistemas hidráulicos, instalações hidráulicas e elétricas etc. Dentro do mesmo estilo estavam as disciplinas ministradas nos cursos tradicionais de engenharia e arquitetura.

Em meados da década de 1970, como já foi mencionado no item 1.3, iniciou-se na Alemanha um grande esforço de pesquisa por princípios, métodos e metodologias genéricas de projeto de produtos industriais, que resultou em obras de ensino de projeto (*Konstruktionslehre*) e de metodologia de projeto (*Methodisches Konstruieren*), como mostram as publicações de Koller (1976), Pahl e Beitz (1977), Rodenacker (1976) e Roth (1982). Essas obras são, em várias edições, bons textos para o ensino, dando uma visão ampla do processo de projeto de produtos, mas não sob o ponto de vista da engenharia simultânea ou de um processo integrado. Na Alemanha, surgiram vários centros de excelência no ensino e pesquisa nessa área, tais como Aachen, Berlin, Braunschweig e Ilmenau.

Nos Estados Unidos, o ensino e a pesquisa surgiram com maior intensidade a partir dos resultados publicados pela ASME (1985; 1986). Publicações de Blanchard e Fabricky (1981), Clausing (1994), Pugh (1991), Otto e Wood (2001) e Ullman (1992) são alguns dos exemplos de bons textos para o ensino de desenvolvimento de produtos, com uma visão de desenvolvimento integrado de produtos ou de engenharia simultânea. O ensino, nessa área, foi desenvolvido majoritariamente em cursos de engenharia de produção de instituições como Instituto Politécnico da Virgínia, Instituto de Tecnologia de Massachusetts, Universidade do Texas, Universidade de Iowa etc.

A Tabela 1.2 mostra uma proposta de conteúdo de conhecimento para capacitação de projetistas, que é uma adaptação da proposta de Dixon (1991). Essas recomendações, de capacidades de projetistas de produtos industriais, estão baseadas em levantamentos das melhores práticas de empresas competitivas, efetuados no trabalho da ASME (1985).

No Departamento de Engenharia Mecânica da UFSC, o ensino nessa área teve início em 1976, introduzindo no curso de pós-graduação em

engenharia mecânica duas disciplinas de projeto de produtos industriais, adotando como material didático textos típicos dos autores Back (1983), Blanchard e Fabrycky (1981), Koller (1976), Pahl e Beitz (1977) e Rodeacker (1976). Para ampliar o conhecimento e a prática nessa área, eram propostas e desenvolvidas dissertações de mestrado e teses de doutorado tendo como temas o desenvolvimento de protótipos de máquinas e equipamentos. Esses trabalhos tinham como conteúdos os seguintes aspectos: levantamento e estabelecimento das especificações de projeto; desenvolvimento de concepções alternativas; seleção da melhor concepção; projeto preliminar e detalhado; construção e testes do protótipo; e, se necessárias, sugestões para melhoramentos do protótipo. Essa prática tem motivado muitos alunos que desenvolveram um número considerável de protótipos, principalmente de máquinas e implementos agrícolas para agricultura de pequeno porte ou agricultura familiar.

Tabela 1.2 Recomendações para capacitação de projetistas de produtos industriais (Dixon, 1991)

Item	Capacidades dos projetistas	Desdobramento das capacidades típicas necessárias ao projetista
1	Projeto de engenharia no contexto do negócio	Conhecer os passos essenciais do processo de realização de produtos e os processos de <i>benchmarking</i> competitivo. Compreender o impacto do projeto sobre marketing, finanças, manufatura e estratégia da empresa na realização de produtos; dos tipos e propósitos dos protótipos; da qualidade, custo e tempo de lançamento no processo de desenvolvimento de produtos
2	Engenharia simultânea e princípios de trabalho em equipe	Conhecer os conceitos e práticas dos processos de projeto num ambiente de engenharia simultânea, bem como a prática de trabalho e de tomada de decisão em equipes multidisciplinares e multiculturais. Saber elaborar e apresentar relatórios efetivos
3	Manufatura	Conhecer os processos de manufatura, suas características físicas, economias, práticas e tolerâncias; conhecer e praticar os métodos de projeto para manufatura, montagem e ciclo de vida e os métodos estatísticos de controle de processos

continua

Tabela 1.2 Recomendações para capacitação de projetistas de produtos industriais (Dixon, 1991) (*continuação*)

Item	Capacidades dos projetistas	Desdobramento das capacidades típicas necessárias ao projetista
4	Análise e prototipagem	Conhecer e praticar selecionados métodos de modelagem computacional e de processos analíticos; desenvolver modelos para análise e simulação de projetos; conhecer métodos de prototipagem rápida
5	Estatísticas	Conhecer e saber usar estatística, probabilidade, teoria da decisão e princípios de projeto de experimentos
6	Projeto de sistemas	Conhecer e saber usar princípios de projeto e integração de sistemas que deverão conter elementos mecânicos, eletrônicos, ópticos e de computação
7	Projeto assistido por computador – CAD	Conhecer e saber aplicar sistemas CAD, CAE, CIM e equivalentes
8	Teoria e metodologia de projeto	Conhecer os principais modelos descritivos, prescritivos e computacionais de processos de projeto de produtos industriais. Por exemplo, a metodologia de Pahl e Beitz
9	Projeto e otimização de componentes e sistemas	Saber projetar, reprojetar, avaliar, dimensionar e otimizar componentes e sistemas, considerando o seu desempenho técnico, de manufatura, custo e outros aspectos do ciclo de vida do produto. Saber formular problemas para otimização e desempenhar selecionados métodos de otimização
10	Projeto de montagens e de tolerâncias	Saber projetar, reprojetar e avaliar montagens mecânicas considerando o desempenho técnico, de manufatura, custo, tolerância e outros aspectos do ciclo de vida
11	Novas informações e aprendizagem	Manter-se informado e aprender sobre novos materiais, tecnologias e processos, quando necessários, por meio de leituras, discussões, conferências técnicas e de negócios

Em 1997, o Laboratório de Projeto foi convertido no atual Núcleo de Desenvolvimento Integrado de Produtos – NeDIP – e foram introduzidas novas disciplinas na pós-graduação: projeto conceitual; modelagem e simulação de sistemas mecânicos; projeto para manufatura; projeto para

confiabilidade e manutenibilidade; gerenciamento de desenvolvimento de produtos; sistemas CAE/CAD/CAM; e técnicas de sistemas especialistas aplicados ao projeto. Na graduação do curso de engenharia mecânica da UFSC, onde se teve menos flexibilidade para inovações, foram introduzidas poucas disciplinas optativas, entre as quais: metodologia de projeto e manutenibilidade de sistemas mecânicos. Na reforma curricular implementada, maior ênfase está sendo dada a essa área pela definição desses conteúdos como obrigatórios.

Desde as atividades de ensino iniciadas em 1974 até os anos 1990, a demanda na indústria brasileira por profissionais dessa área era pequena. Foi a época das restrições às importações em que muito se copiava. Sobreviviam produtos de baixa qualidade, devido à falta de interesse e de investimento em projeto.

A partir do início dos anos 1990, com a abertura da economia brasileira, houve, por parte de instituições de ensino superior e da indústria, uma procura muito grande por profissionais nessa área.

Atualmente, a indústria nacional precisa inovar concepções e desenvolver produtos, de alta e integrada qualidade, para alcançar a necessária competitividade. Para conseguir essa competitividade, um dos fatores importantes é a capacitação de profissionais com conhecimento e formação para trabalho em equipes, dentro de ambientes de engenharia simultânea, como descrito anteriormente. Essa consciência, tanto na formação de profissionais em diversas instituições brasileiras de ensino superior e na organização de congressos como nas indústrias pela adoção de metodologias avançadas de desenvolvimento de produtos, tem evoluído muito a partir de 1990. No Brasil, várias empresas já adotam processos de desenvolvimento integrado de produtos ou de engenharia simultânea, conceitos que há dez anos eram somente temas acadêmicos. Cabe aqui mencionar alguns exemplos de empresas pioneiras no Brasil, como Embraco, Embracer, Multibrás, AGCO do Brasil e John Deere do Brasil, que vêm igualmente cooperando com a academia para o desenvolvimento de pesquisas e capacitação de profissionais nessa área.

Cabe advertir às instituições e empresas nacionais, mesmo que sejam de médio a pequeno porte, que, para o Brasil se tornar uma nação avançada, competitiva, com poder e real equilíbrio nos diversos acordos de comércio exterior, é necessário conscientizar-se do caráter estratégico da capacitação de profissionais para o desenvolvimento de produtos de

alta tecnologia e de valor agregado, dentro de conceitos modernos abordados nesta obra.

O Brasil é competitivo em uma série de produtos, mas, em sua maioria, possuem pouco valor agregado, como café, soja, suco de laranja, celulose e minério de ferro. O preço desses produtos, quando comparado ao de produtos de alta tecnologia, é muito baixo. Consideram-se alguns exemplos do comércio mundial de mercadorias: 1 kg de soja custa US\$ 0,10, 1 kg de automóvel custa US\$ 10, isto é, 100 vezes mais; 1 kg de aparelho eletrônico custa US\$ 100; 1 kg de avião custa US\$ 1.000 (10 mil quilos de soja); e 1 kg de satélite custa US\$ 50.000. Uma placa de computador que pesa 100 g é comprada por US\$ 250. Para pagá-la, o Brasil precisa exportar 20 toneladas de minério de ferro. Quanto mais tecnologia agregada tem um produto, maior é o seu preço e mais empregos foram gerados na sua fabricação. Os países desenvolvidos sabem muito bem disso. Eles investem na pesquisa científica e tecnológica e na capacitação de profissionais capazes de desenvolver esses produtos, o que cria muitos empregos, enquanto a extração de minério de ferro possibilita a geração de poucos e mal remunerados empregos no Brasil.

1.6 Perspectivas no ensino e na pesquisa em desenvolvimento de produtos

Nos últimos anos tem-se publicado muitas pesquisas sobre metodologias mais eficazes de desenvolvimento de produtos industriais e sobre experiências e métodos de ensino, visando à capacitação em cursos convencionais de graduação e de pós-graduação, bem como à capacitação continuada de profissionais, procurando encurtar o tempo de formação e aumentar a produtividade e a eficácia de equipes que atuam em problemas de desenvolvimento de produto.

Segundo experiências do NeDIP e de vários outros relatos, como de Dixon (1991) e de Lovejoy e Srinivasan (2002), o curso de desenvolvimento de produto deve apresentar um conjunto de disciplinas genéricas básicas, conforme já discutido no item anterior, e uma atividade prática de desenvolvimento de produto na forma mais próxima possível do que ocorre em um ambiente industrial.

Na graduação, além das disciplinas dos cursos de formação, recomenda-se a introdução de, pelo menos, quatro disciplinas: metodologia de pro-

jeto; gerenciamento de projetos, noções de desenvolvimento integrado ou de engenharia simultânea e princípios básicos de custos e organização de negócios.

Na pós-graduação, como mestrado profissionalizante ou curso de especialização, recomenda-se um elenco de disciplinas básicas cobrindo os seguintes aspectos: processo de desenvolvimento de produtos; engenharia simultânea; gerenciamento do desenvolvimento de produtos; modelagem e análise computacional de soluções; metodologia de seleção de materiais e de processos de fabricação; métodos de estimativas e avaliação de custos; otimização integrada de produtos; dependabilidade de produtos, também denominada de garantia de funcionamento; prototipagem rápida; e métodos de ensaios e validação de produtos.

Para tornar mais eficaz a capacitação de profissionais nessa área, é fundamental a realização de uma atividade prática de desenvolvimento de um produto industrial, de complexidade e intensidade de trabalho, compatíveis com o tempo e os recursos disponíveis, com as seguintes recomendações:

- as informações a serem apresentadas devem ser na forma de necessidades detectadas ou especificações de um produto que deve ser projetado e não uma descrição de algo já projetado ou existente que precisa ser analisado;
- permitir a formação de equipes de três a cinco membros com as capacidades principais necessárias, por exemplo, para desenvolver um protótipo de máquina agrícola: engenharia mecânica, engenharia agrícola, desenho industrial, previsão e análise de custos e instrumentação;
- os problemas de projeto devem ser tais que possibilitem à equipe tomar decisões com o objetivo de gerar alternativas de soluções, que atendam a um determinado segmento de mercado, um preço de venda e que se possa fabricar um protótipo com os recursos disponíveis;
- a equipe de desenvolvimento deve tomar decisões quanto à escolha da melhor solução, não somente em termos de desempenho técnico, mas de custos, manufaturabilidade e otimização dos vários aspectos do ciclo de vida do produto;
- o projeto deve ser viável quanto à fabricação de um protótipo, que seja testado e submetido à avaliação de possíveis usuários, para que a equipe tenha retorno de avaliações do projeto realizado.

Para facilitar e tornar mais eficiente a capacitação de profissionais e o processo de desenvolvimento de produtos vem-se, ainda atualmente, investindo consideráveis recursos em pesquisas, tendo como principais enfoques:

- organização e gerenciamento de equipe de desenvolvimento de produtos, visando a melhorar desempenho, eficiência e eficácia;
- desenvolvimento de sistemas de avaliação do desempenho de equipes de projeto e da qualidade do projeto;
- sistematização do conhecimento para o projeto de produtos industriais. Essa sistematização tem como objetivos principais o ensino e o desenvolvimento de sistemas computacionais de suporte ao projeto. Dentro dessa linha de pesquisa, tem-se os seguintes exemplos de trabalhos: Ogliari (1999), com a sistematização da concepção, auxiliada por computador, de componentes de plástico injetado; e Maribondo (2000), com a sistematização do processo de projeto de sistemas modulares;
- desenvolvimento de sistemas especialistas de projeto de determinados domínios de produtos. Como exemplo é possível citar Silva (1998), que desenvolveu um sistema especialista para projeto de sistemas hidráulicos focando em aspectos de engenharia simultânea;
- sistemas computacionais para o desenvolvimento virtual de produtos ou prototipagem virtual que consiste na aplicação de avançados sistemas de tecnologia de informações nas atividades do ciclo de vida do produto (marketing, concepção, modelagem, análise, manufatura, testes, apoio logístico e descarte) em ambientes eletrônicos.

1.7 Resumo

A sistemática adotada neste livro levou os autores a apresentar no final de cada capítulo um resumo recuperando os pontos-chave para os leitores. Neste sentido, apresentam-se os principais aspectos deste capítulo:

1. *O desenvolvimento do produto compreende aspectos de planejamento e projeto, ao longo das fases pelas quais passa o produto, desde planejamento, pesquisa de mercado, projeto do produto, projeto do processo de fabricação, distribuição, uso, manutenção e descarte.*

2. *Produto refere-se a um objeto concebido, produzido industrialmente com determinadas características e funções, comercializado e usado de modo a satisfazer as necessidades ou desejos de pessoas ou organizações.*
3. *Para desenvolver um projeto de produto com eficiência e eficácia é necessário saber o que fazer, para quem fazer, quando fazer, com que fazer e como fazer. Esta sistemática de desenvolver o projeto de produtos denomina-se metodologia de projeto de produtos.*
4. *Desenvolvimento integrado do projeto do produto é uma metodologia por meio da qual uma equipe multidisciplinar desenvolve um projeto, considerando simultaneamente, ao longo do seu desenvolvimento, as necessidades e restrições do ciclo de vida do produto.*
5. *O desenvolvimento de metodologias de projeto de produtos apresenta três marcos importantes na sua evolução: na Alemanha, com a publicação dos trabalhos de Pahl e Beitz (1972-1974); nos Estados Unidos, com os trabalhos da ASME (1985, 1986); e no Brasil, com a primeira obra em português por Back (1983).*
6. *A partir do início dos anos 1990, surgiram duas novas linhas de metodologias de desenvolvimento do projeto de produtos. Dentro da primeira, a de qualidades específicas, tem-se os conceitos de projeto para manufatura, para montagem, para custo e tantos outros que podem ser englobados dentro do termo geral de projeto para x (Design for X). Na segunda linha do processo de desenvolvimento do projeto, tem-se projeto para o ciclo de vida do produto, engenharia simultânea, projeto para competitividade e projeto da qualidade total, que representam a linha de desenvolvimento integrado do projeto do produto.*
7. *Com a globalização da economia, as empresas tiveram de tornar seus produtos competitivos para fazer frente à concorrência internacional. Isso levou à necessidade de produtos diferenciados, de alto valor agregado e de elevada qualidade, que são conseguidos, fundamentalmente, com a alta qualidade do projeto do produto.*
8. *Alta qualidade de projeto só se consegue com equipes altamente competentes e capacitadas para o trabalho integrado no desenvolvimento do projeto.*
9. *O Brasil, para transformar-se numa economia avançada e competitiva, precisa investir pesadamente na pesquisa e na capacitação de profissionais no domínio de conhecimento de desenvolvimento de produtos de alta tecnologia, pois dificilmente se consegue um saldo positivo estável com a predominância de produtos primários, como é o caso atual.*

10. *Além da formação básica dos diversos profissionais que atuam em equipes de desenvolvimento, é recomendável uma capacitação através de disciplinas básicas genéricas (planejamento estratégico, gerenciamento de projetos, processo de desenvolvimento de produtos, engenharia simultânea, modelagem e análise computacional de soluções, seleção de materiais e de processos de fabricação, métodos de estimativas e avaliação de custos, otimização integrada de produtos, prototipagem rápida, dependabilidade de produtos, ensaios e validação de protótipos) e trabalho prático (em equipe multidisciplinar) de desenvolvimento de produto, desde a atividade de identificação das especificações de projeto até a construção e avaliação do protótipo.*

1.8 Problemas e temas de discussão

1. Quais são as principais razões que levaram à necessidade atual de desenvolvimento de um produto através de uma equipe multidisciplinar?
2. Quais são as capacidades típicas dos profissionais que integram uma equipe de desenvolvimento integrado de produtos?
3. Apresente um exemplo de problema de desenvolvimento de produto que requer uma equipe multidisciplinar e identifique as disciplinas necessárias.
4. Discuta as possíveis razões que levaram a considerar, somente em anos recentes, a área de projeto de produtos como uma ciência que pode ser pesquisada por princípios, ferramentas, metodologias, sistematizando o processo de desenvolvimento e, assim, capacitando os profissionais com cursos formais, não somente por uma longa experiência prática.
5. Quais são as razões que levaram, com a globalização, a considerar estratégico o domínio de conhecimento de desenvolvimento de projeto de produtos?
6. Na literatura, tem-se o termo ciclo de vida para expressar dois conceitos do produto. Quais são esses dois conceitos e quais são suas principais diferenças?
7. Quais são as fases típicas pelas quais passa um produto em seu ciclo de vida? Escolha um produto e defina as fases de seu ciclo de vida.
8. Na literatura, tem-se relatado e discutido várias experiências e formas de capacitação de profissionais para integrar equipes de desen-

- volvimento de produtos. Discuta essas experiências e formas e apresente, com justificativas, o modo mais eficaz, segundo sua opinião.
9. Discuta as formas e os conteúdos de cursos para capacitação de profissionais aptos a trabalhar em equipe de desenvolvimento de projetos de produtos.
 10. Quais argumentos usaria para justificar a afirmação “o principal fator para a competitividade de produtos industriais é a qualidade de seus projetos”?
 11. Faça comentários sobre a validade da seguinte afirmação: “o custo de modificações, se necessárias de uma fase para outra do desenvolvimento, é acrescido de um fator de dez”.
 12. Por que é importante para as empresas dominarem o processo de desenvolvimento de produtos?
 13. Pesquise na internet, usando as palavras significativas deste texto e das referências, e identifique congressos, revistas e países onde os mesmos são publicados.
 14. Discuta o uso de metodologias de desenvolvimento integrado de produtos nas empresas brasileiras, quem usa, como usam e o que fazer para que todos usem.

1.9 Referências bibliográficas

- ANDREASEN, M. *Design for assembly*. United Kingdom, Springer Verlag, 1983.
- ASIMOV, M. *Introduction to design: fundamentals of engineering design*. New Jersey, Prentice Hall, 1962.
- ASME – National Science Foundation. “Goals and priorities for research on design theory and methodology”. *Technical report*, 1985.
- ASME RESEARCH. “Design theory and methodology: a new discipline”. *Mechanical Engineering*. 1986, p.23-27.
- BACK, N. *Metodologia de projeto de produtos industriais*. Rio de Janeiro, Guanabara Dois, 1983.
- BARTON, J. A.; LOVE, D. M.; TAYLOR, G. D. “Design determines 70% of cost? A review of implications for design evaluation”. *Journal of Engineering Design*. v.12, n.1, 2001, p.47-58.
- BLANCHARD, B. S.; FABRYCKY, W. J. *Systems engineering and analysis*. New Jersey, Prentice Hall, 1981.

- BOOTHROYD, G. *Design for assembly: a designer's handbook*. Massachusetts, University of Massachusetts, 1980.
- CAIN, W. D. *Engineering product design*. London, Business Books Ltd., 1969.
- CLAUSING, D. *Total quality development – a step-by-step guide to world-class concurrent engineering*. New York, ASME Press, 1994.
- COUTINHO, L.; FERRAZ, J. C. *Estudo da competitividade da indústria brasileira*. Campinas, Papirus, 1994.
- DIXON, J. R. "Engineering Design Science: new goals for engineering education". *Mechanical Engineering*. v.113, n.3, 1991, p.56-62.
- DOWNEY, W. G. *Development of cost estimating. Report of the Steering Group for de Ministry of Aviation*. England, HMSO, 1969.
- FERREIRA, A. B. H. *Novo Dicionário Aurélio da Língua Portuguesa*. 2.ed. Rio de Janeiro, Nova Fronteira, 1986.
- FOWLER, H. W.; FOWLER, F. G. *The Concise Oxford Dictionary of Current English*. 5.ed., Oxford, Oxford University Press, 1964.
- HUTHWAITE, B.; SCHNEBERGER, D. *Design for competitiveness: the teamwork approach to product development*. EUA: Institute for Competitive Design, 1992.
- KOLLER, R. *Konstruktionslehre für den Maschinen, Geräte und Apparatebau*. Berlin, Springer Verlag, 1976.
- KRICK, E. V. *An introduction to engineering and engineering design*. New York, John Wiley & Sons, 1965.
- KUSIAK, A. *Concurrent engineering: automation, tools and techniques*. New York, John Wiley & Sons, 1993.
- LOVEJOY, W. S.; SRINIVASAN, V. "Perspective: ten years of experience teaching a multi-disciplinary product development course". *The Journal of Product Innovation Management*. v.19, n.1, 2002, p.32-45.
- MARIBONDO, J. de F. "Desenvolvimento de uma metodologia de projeto de sistemas modulares, aplicada a unidades de processamento de resíduos sólidos domiciliares". Florianópolis, 2000. 277p. Tese (doutorado). PPGEM – UFSC.
- NEVINS, J. L.; WHITHEY, D. L. *Concurrent design of products and processes*. New York, McGraw-Hill, 1989.
- OGLIARI, A. "Sistematização da concepção de produtos auxiliada por computador com aplicações no domínio de componentes de plás-

- tico injetado”. Florianópolis, 1999. 349p. Tese (doutorado). PPGEM – UFSC.
- OTTO, K.; WOOD, K. *Product design: techniques in reverse engineering and new product development*. New York, Prentice Hall, 2001.
- PAHL, G.; BEITZ, W. “Für der Konstruktions Praxis”. *Konstruktion*. 1972 a 1974.
- PAHL, G.; BEITZ, W. *Konstruktionslehre*. Berlim, Springer Verlag, 1977.
- PUGH, S. *Total design*. Wokingham, Addison Wesley, 1991.
- RODENACKER, W. G. *Methodisches Konstruieren*. Berlim, Springer Verlag, 1976.
- ROTH, K. *Konstruieren mit Konstruktions Katalogen*. Berlim, Springer Verlag, 1982.
- SILVA, J. C. “Expert system prototype for hydraulic system design focusing on concurrent engineering aspects”. Florianópolis, 1998. 185p. Tese (doutorado). PPGEM – UFSC.
- SMITH, P. G.; REINERTSEN, D. G. *Developing products in half the time*. New York, Van Nostrand Reinhold, 1991.
- ULLMAN, D. G. *The mechanical design process*. New York, McGraw-Hill, 1992.
- VIDOSIC, J. P. *Elements of design engineering*. EUA, John Wiley & Sons, 1969.
- VDI 2222. *Konstruktionsmethodik, konzipieren technischer Produkte*. Düsseldorf, VDI – Verlag, 1977.
- VDI 2221. *Methodik zum entwickeln und konstruieren technischer Systeme und Produkte*. Düsseldorf, VDI – Verlag, 1985.
- WALLACE, K. M.; HALES, C. “Some applications of a systematic design approach in Britain”. *Konstruktion*. n.7, 1987, p.275-279.
- WOODSON, T. T. *Introduction to engineering design*. New York, Mc-Graw-Hill, 1966.

Capítulo 2

Desenvolvimento integrado do projeto de produtos

2.1 Introdução

No Capítulo 1, foi mostrado que a qualidade e a competitividade são conseguidas, principalmente, na fase de projeto do produto. Foi visto também que para alcançar competitividade é necessário o desenvolvimento do produto por uma equipe multidisciplinar em um ambiente cooperativo. Para que essa equipe tenha alta produtividade e um bom desempenho é fundamental que o projeto seja desenvolvido e gerenciado dentro de um procedimento predeterminado, ou seja, de uma maneira sistematizada e, para tal, a equipe deve ser capacitada e suportada por modelos de desenvolvimento integrado de produtos.

Neste capítulo, serão apresentados aspectos da estrutura do processo e de sua sistematização no desenvolvimento do projeto do produto. Existem correntes que afirmam que a sistematização desse processo coloca o projetista ou a equipe de projeto dentro de uma “camisa-de-força”, tolhendo sua criatividade. Para problemas de pequeno porte, pode até ser que não haja necessidade de seguir um longo caminho por meio de procedimentos propostos, mas para projetos de grande porte, como um televisor, um computador, uma máquina-ferramenta, um automóvel ou um avião, nos quais trabalham profissionais de várias formações e culturas, é indispensável seguir um procedimento ou uma metodologia predeterminada. Um projeto desse porte precisa ser planejado, implementado, monitorado

e controlado. Planejar um projeto requer a identificação das atividades a serem desenvolvidas, seqüência ou simultaneidade dessas atividades, tempos e recursos necessários, responsabilidade pelas atividades, início e conclusão do projeto. Na implementação, várias equipes de trabalho devem ser gerenciadas e fornecedores compatibilizados em termos de especificações e prazos dos diversos subsistemas. A qualidade desses subsistemas e de todo o sistema fica garantida se forem planejadas, monitoradas e controladas as mudanças ao longo do processo. Desenvolver projetos complexos como os anteriormente referidos, sem adotar um determinado procedimento ou metodologia é inconcebível atualmente. Da mesma forma, a capacitação dos integrantes das equipes de desenvolvimento fica facilitada tendo procedimentos ou metodologias sistematizadas. Essas metodologias devem focalizar: *o que fazer, para quem fazer, quando fazer, como fazer e com que fazer.*

É grande o número de proposições de estruturas de procedimentos ou metodologias de desenvolvimento de projeto de produtos. Essas metodologias são classificadas como descritivas e prescritivas. No item 2.2 são apresentados aspectos dos principais procedimentos prescritivos. No item 2.3 discutem-se os aspectos das metodologias de desenvolvimento em ambientes de engenharia simultânea: sua estrutura, organização, equipes de projeto, infra-estrutura, dificuldades e fatores de sucesso na implantação, vantagens e desvantagens de seu uso.

No item 2.4 são mostrados a sistematização do processo de desenvolvimento integrado do projeto de produtos, o resultado de pesquisas desenvolvidas e as experiências acumuladas nos últimos 20 anos pelo NEDIP.

Como se pode ver adiante, todas essas metodologias são válidas. Os procedimentos prescritivos tradicionais foram usados por muito tempo e ainda hoje são empregados por terem dado bons resultados, gerando produtos existentes na atualidade. A partir de meados de 1980, devido ao aumento da complexidade dos produtos, exigindo capacitações mais multidisciplinares, necessidade de redução de tempo de lançamento, redução de custos e melhor qualidade, para fazer frente à concorrência internacional, surgiram metodologias de desenvolvimento em ambientes de engenharia simultânea ou de equipes integradas.

A maioria dos procedimentos pesquisados, sistematizados e descritos na literatura tem seu enfoque no processo de projeto, que é intrínseco a um processo mais amplo, que é o processo de desenvolvimento do pro-

duto, como mostra de forma bem resumida a Figura 2.1. Esse processo de desenvolvimento engloba, também, o projeto do processo de manufatura e o planejamento das fases pós-venda: distribuição, transporte, utilização, manutenção e descarte. As metodologias prescritivas apresentadas no item 2.2 têm seu enfoque no processo de projeto do produto e as metodologias do item 2.3 apresentam uma visão mais ampla do ciclo de vida do produto.

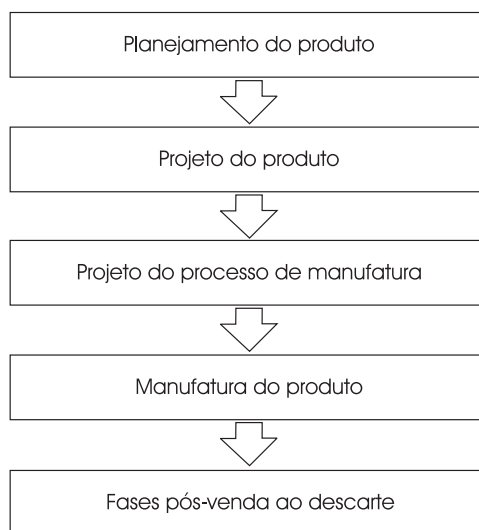


Figura 2.1 Fases do desenvolvimento de produtos.

2.2 Análise de modelos prescritivos de desenvolvimento de produtos

Como mostrado na Tabela 1.1, no Capítulo 1, no período do início da década de 1960 até o fim da década de 1980, surgiram diversas sugestões de metodologias prescritivas ou estruturas de projeto de produtos. Entre essas estruturas cabe salientar as contribuições de autores como Asimov (1962), Back (1983), Coryell (1967), Pahl e Beitz (1996), e Woodson (1966), que tiveram considerável influência em várias outras propostas de metodologias de projeto que surgiram na literatura.

A Figura 2.2 mostra a estrutura proposta por Asimov (1962). O ciclo de produção-consumo, como era chamado, se decompõe em sete fases. Destas, três referem-se ao projeto de engenharia, à exequiabilidade, ao projeto

preliminar e ao projeto detalhado. As demais fases, tradicionalmente não consideradas como atividades de projeto, referem-se ao planejamento da manufatura, da distribuição, do consumo e da retirada.

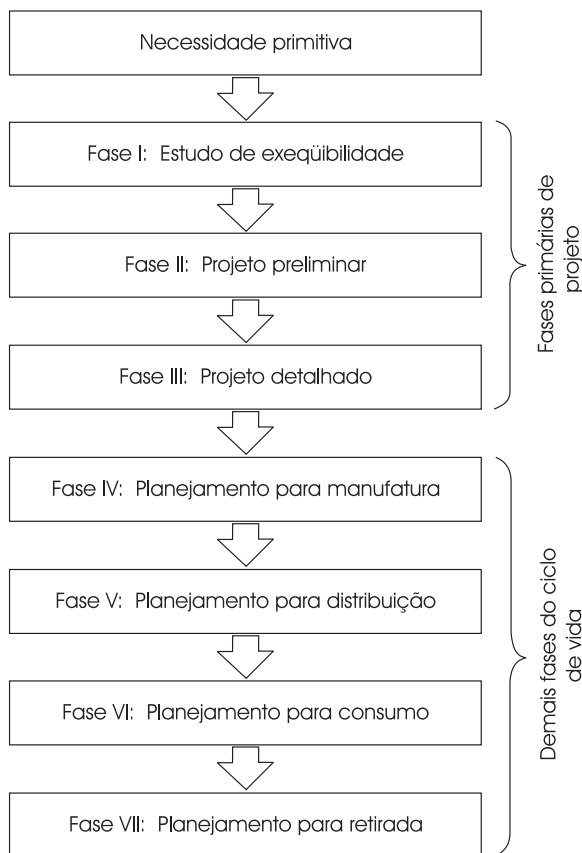


Figura 2.2 Fases do ciclo produção-consumo do produto (Asimov, 1962).

Na fase I, no estudo da exeqüibilidade, a partir das necessidades identificadas desenvolviam-se soluções alternativas. Dentre estas, as melhores eram selecionadas, adotando como critérios as análises de viabilidade técnica, econômica e financeira. Na fase II, durante o projeto preliminar, buscava-se a melhor solução através da modelagem da solução, da análise de sensibilidade, compatibilidade e estabilidade, da otimização formal, de projeções futuras, da revisão do comportamento do sistema e da verificação final da concepção do projeto. Na fase III, no projeto detalhado, elaboravam-se descrições de engenharia de um projeto viável e conferido, e desenvolviam-se o leiaute e o relatório final do projeto. Como passos

dessa fase, tinham-se: preparação e projeto geral dos subsistemas; projeto geral dos componentes; preparação dos desenhos de montagem; construção experimental e testes do protótipo; análise; e revisão.

A Tabela 2.1 mostra uma adaptação da proposta de estrutura de Woodson (1966, p.26-27), com quatro fases: estudo de viabilidade; projeto preliminar; projeto detalhado e revisão do projeto. O autor apresentou essas fases numa forma de fluxograma, desdobradas em atividades, e, para cada uma das atividades, indicou entradas, saídas, informações ou recursos necessários; e cada saída submetida à verificação quanto à conformidade com os requisitos de projeto. Não havendo conformidade, indicava o retorno a atividades anteriores para as modificações e melhoramentos necessários. Na adaptação para a Tabela 2.1, além das entradas indicadas na segunda coluna, para cada atividade são mostradas as respectivas saídas na última coluna.

A estrutura de projeto de Woodson (1966) é uma pequena evolução em relação à estrutura proposta por Asimov (1962) nos seguintes aspectos: apresenta um maior desdobramento das fases em atividades, como mostrado na Tabela 2.1; para cada uma das atividades são indicadas informações ou conhecimentos de entrada; as saídas de cada atividade são avaliadas e comparadas com os requisitos; e, não havendo conformidade, são indicados retornos a atividades anteriores para modificações ou melhoramentos necessários.

Outra sugestão interessante de estrutura do processo de projeto foi apresentada por Coryell (1967), que desdobra a sistemática em doze passos, como mostra a Figura 2.3. Essa estrutura traz como inovação cinco símbolos de válvula colocados no fluxo do processo. Nesse caso a válvula tem o significado de uma revisão e avaliação do projeto em desenvolvimento, que só seguirá adiante se a solução atender às especificações do projeto. Essa válvula, já sugerida em 1967, é uma precursora do atual conceito de *gate* usado em certas metodologias e difundido na indústria.

No início dos anos 1970, na Alemanha, houve um grande esforço de pesquisa sobre princípios e metodologias de projeto de produtos. Dessas pesquisas resultaram várias obras, como já se viu no Capítulo 1, e a mais conceituada é a de Pahl e Beitz (1996), publicada primeiramente em 1977 e, posteriormente, em várias edições em alemão e inglês. Nessa obra, está descrita a sistemática mais referenciada dentro da linha de metodologias prescritivas.

Tabela 2.1 Estrutura do processo de projeto de produtos (adaptado de Woodson, 1966)

Fases	Entradas	Atividades	Saídas
Viabilidade do projeto	Informações gerais e de mercado	Analisar necessidades	Resultados desejados
	Informações tecnológicas	Explorar sistemas envolvidos	Proposições técnicas
	Métodos de criatividade	Sintetizar soluções alternativas	Soluções propostas
	Experiência tecnológica	Avaliar viabilidade física	Viabilidade física
	Informações de custos e preços	Avaliar viabilidade econômica	Viabilidade econômica
	Informações sobre riscos de investimentos	Avaliar viabilidade financeira	Conjunto de soluções possíveis
Projeto preliminar	Estudo de viabilidade e experiência geral	Selecionar a melhor solução	Solução selecionada
	Habilidade matemática	Formular modelos	Modelo de estrutura e/ou de desempenho
	Habilidade matemática	Analisar sensibilidade e compatibilidade das variáveis	Grau de sensibilidade das variáveis
	Habilidade matemática	Otimizar parâmetros de projeto	Dados sobre os parâmetros
	Tecnologias de laboratório	Testar processo e prever desempenho	Previsões
	Experiências de engenharia	Simplificar	Projeto melhorado
Projeto detalhado	Projeto preliminar e conhecimentos tecnológicos	Especificar subsistemas	Subsistemas
	Conhecimentos tecnológicos	Especificar componentes	Componentes
	Conhecimentos tecnológicos	Especificar partes	Conjunto de desenhos detalhados

continua

Tabela 2.1 Estrutura do processo de projeto de produtos (adaptado de Woodson, 1966) (continuação)

Fases	Entradas	Atividades	Saídas
Projeto detalhado	Experiência tecnológica	Desenhar conjuntos de montagem	Desenhos de montagem
	Experiência de desenho e normas	Verificar dimensões e normas	Conjunto completo de desenhos e especificações
	Informações de gerência	Liberar para manufatura	Projeto para manufatura
Revisão do projeto	Projeto detalhado, habilidades de fabricação e materiais	Fabricar componentes	Sistema operacional
	Técnicas de teste	Testar desempenho na fábrica	Dados de teste do sistema
	Técnicas de teste	Testar em campo e para durabilidade	Dados de teste
	Técnicas de auditoria	Auditar qualidade de manufatura	Dados sobre variações
	Informações de manufatura e de vendas	Mudar para eliminar problemas de qualidade	Projeto melhorado
	Experiência de engenharia	Simplificar para reduzir custos	Custo reduzido e sistema ou produto em produção

Esses autores estabelecem o processo de projeto em quatro fases principais: a definição da tarefa; o projeto conceitual; o projeto preliminar (de configuração); e o projeto detalhado. A Figura 2.4 mostra esse processo, indicando as ações e os resultados de cada fase.

Na fase de definição da tarefa, o estudo do problema resulta na elaboração da lista de requisitos. A idéia básica desse estudo é fixar as funções requeridas, as grandezas de entrada e saída e as perturbações externas ao problema. Na elaboração da lista, distinguem-se os requisitos obrigatórios dos desejáveis. Os obrigatórios devem ser atendidos sob quaisquer circunstâncias e os desejáveis são considerados, principalmente, em função de critérios econômicos.

A lista de requisitos constitui o ponto de partida na resolução da tarefa de projeto. Deve ser atualizada permanentemente com as alterações sur-

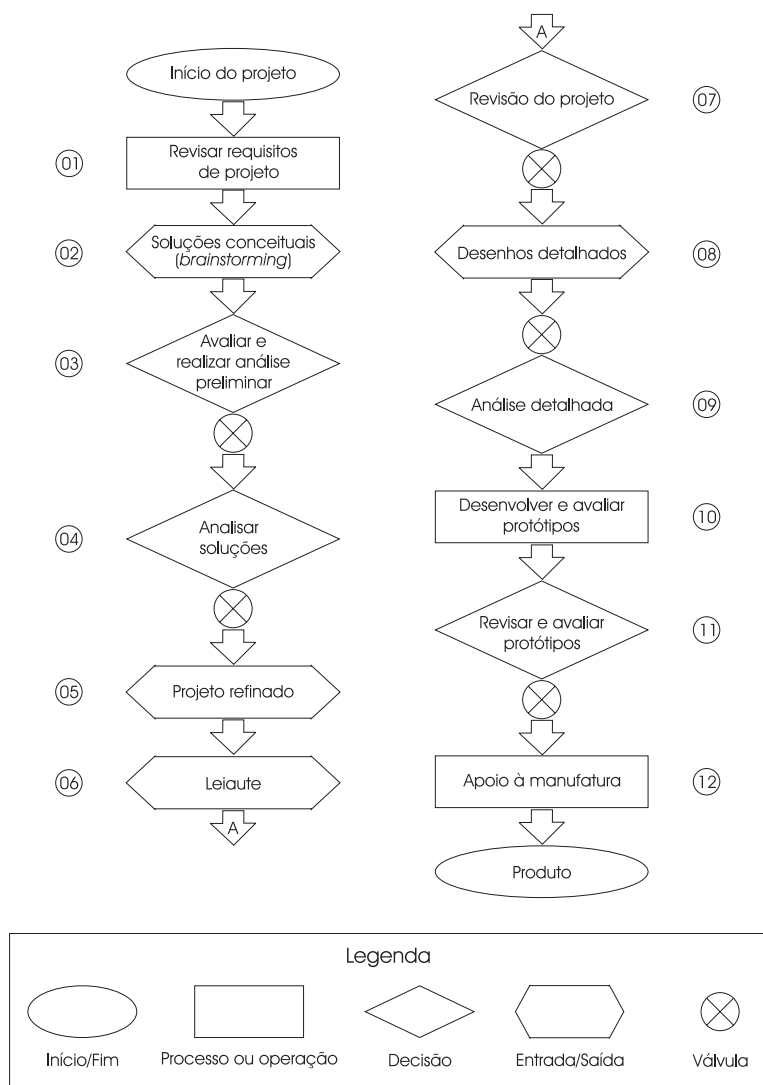


Figura 2.3 Estrutura do processo de projeto de produtos (Coryell, 1967).

guidas no decorrer do projeto. Para o estabelecimento da lista de requisitos, os autores apresentam algumas recomendações:

- coletar os requisitos: fazer uso de uma lista inicial básica; questionar quais objetivos a solução deve satisfazer; que propriedades ela deve ter ou não; coletar informações adicionais e distinguir entre requisitos obrigatórios e desejáveis, classificando estes últimos por sua importância;

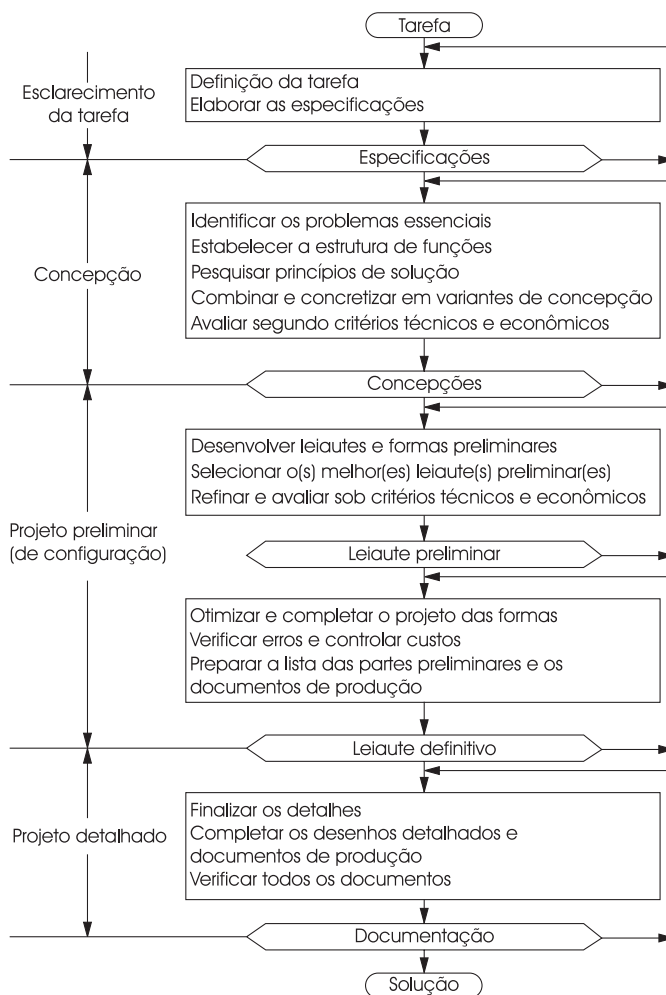


Figura 2.4 Fases do processo de projeto de Pahl e Beitz (1996).

- arranjando os requisitos em uma ordem clara, relacionando-os com a parte do sistema a que se referem (subsistemas, funções, montagens etc.);
- registrar os requisitos e colocá-los à prova;
- examinar sugestões incluindo complementações necessárias.

A conclusão dessa etapa se dá com o acordo entre as partes envolvidas no projeto (pessoal técnico, fornecedores, consumidores, gerentes etc.) a respeito da lista de requisitos estabelecida. Esta servirá de base para as etapas seguintes do processo de projeto, iniciando com a concepção.

O desenvolvimento da concepção, ou do projeto conceitual, segundo Pahl e Beitz (1996) será descrito em mais profundidade no Capítulo 7. Entre esses passos que serão mostrados tem-se: abstração para identificar os problemas essenciais; estabelecimento da estrutura de funções; busca de princípios de soluções e suas combinações; obtenção de variantes de concepções; sua concretização; e, finalmente, avaliação segundo critérios técnicos e econômicos.

Uma vez que o problema central tenha sido formulado, é possível indicar uma função global que, baseada no fluxo de energia, material e sinal, expresse o relacionamento entre entradas e saídas independentemente da solução. O desdobramento feito a partir da função global, em subfunções de níveis menores de complexidade, corresponde ao passo do estabelecimento da estrutura de funções. Em projetos originais, as subfunções e o relacionamento entre elas não são bem conhecidos. Nesse caso, o estabelecimento da estrutura de funções constitui um dos passos mais importantes do projeto conceitual. No caso de projetos variantes ou adaptativos, esse passo é realizado através da análise dos sistemas existentes. O objetivo da estrutura de funções é facilitar a descoberta de soluções uma vez que se trabalha em um nível menor de complexidade (subfunções).

O passo seguinte, a pesquisa de princípios de soluções, é realizado para satisfazer as subfunções identificadas no passo anterior. Para concretizar esse passo, faz-se uso de pesquisa bibliográfica, análise de sistemas naturais, análise de sistemas existentes e métodos de criatividade diversos, como será descrito no Capítulo 6.

A combinação de princípios de solução, o quarto passo, tem por objetivo satisfazer a função global associando os princípios de solução. A base de tais associações é a estrutura de funções. Devem-se assegurar a compatibilidade geométrica e física entre os princípios, o fluxo regular de energia, material e sinal e a viabilidade técnica e econômica. O método da matriz morfológica, a ser estudado no Capítulo 6, pode ser usado para associação ou combinação dos princípios de solução das subfunções e, assim, construir concepções alternativas do problema.

O passo seguinte corresponde à seleção das combinações identificadas no passo anterior. Isso pode ser feito, inicialmente, eliminando as combinações inadequadas (fisicamente impraticáveis), selecionando e ordenando as demais, usando critérios como os seguintes: compatibilidade com a tarefa global; satisfação dos requisitos obrigatórios; desempenho;

custos; ergonomia; segurança e preferências pessoais. Conclui-se esse passo com um conjunto de soluções viáveis.

A concretização em variantes de concepção tem por objetivo obter maiores informações sobre as combinações viáveis considerando um maior número de critérios que a solução deve satisfazer.

Finalmente, na avaliação das variantes de concepção as soluções são comparadas para estabelecer as melhores variantes.

A fase do projeto preliminar (ou de configuração, como chamam os autores) inicia-se com uma concepção técnica e economicamente avaliada. A idéia básica é satisfazer uma dada função com a forma dos componentes, leiaute e materiais apropriados. O processo começa com um leiaute preliminar, em escala, baseado nos requisitos espaciais e prossegue considerando critérios de segurança, ergonomia, manufatura, montagem, operação, manutenção e custos.

O projeto detalhado finaliza o projeto preliminar, estabelecendo as descrições definitivas para a disposição dos elementos, forma, medidas, acabamentos superficiais, materiais, a verificação do projeto e dos custos de fabricação. São elaborados os documentos finais do projeto na forma de desenhos que possibilitam a realização física das soluções. De acordo com a empresa onde o projeto será executado, faz-se uso de uma série de normas e procedimentos-padrão.

As pesquisas da escola alemã resultaram, primeiramente, na VDI 2222 (1977) e, mais tarde, na VDI 2221 (1985), que apresentam uma estrutura para o processo de projeto como a ilustrada na Figura 2.5. Essa estrutura contém quatro fases e é desdobrada em sete passos. Os diversos passos dessa metodologia, as atividades e os resultados obtidos são semelhantes aos descritos na metodologia de Pahl e Beitz.

Para o desenvolvimento do projeto, a metodologia de Pahl e Beitz é a mais adotada das metodologias prescritivas descritas nesse item. Atualmente, várias são as tentativas de desenvolvimento de sistemas computacionais ou de sistemas especialistas de apoio ao projeto de sistemas técnicos e, em geral, são baseadas na metodologia de Pahl e Beitz, como, por exemplo, os trabalhos de Hundal (1997). O NeDIP também tem desenvolvido suas pesquisas e dirigido seus trabalhos baseado nesta metodologia, combinada aos conceitos de engenharia simultânea.

As metodologias prescritivas descritas anteriormente são consideradas do tipo seqüencial, ou seja, as atividades do processo de desenvolvi-

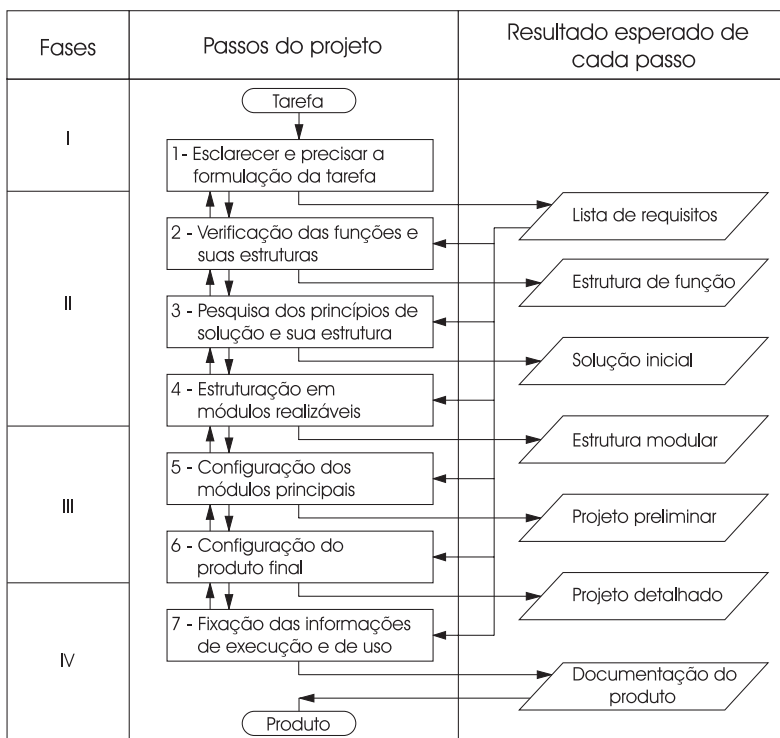


Figura 2.5 Procedimento geral para o projeto de sistemas segundo a VDI 2221 (1985).

mento de projeto são efetuadas em série, tanto pelo cronograma de execução quanto pelas disciplinas envolvidas em cada atividade: primeiro os especialistas em marketing preparam uma lista de necessidades para o produto, os projetistas elaboram o projeto do produto, passam a documentação para os especialistas em manufatura para planejar os processos de fabricação, e assim por diante. Esses procedimentos têm apresentado muitos problemas de conformidade com as especificações nas interfaces das disciplinas ou dos departamentos funcionais. As principais críticas a essas metodologias podem ser assim resumidas:

- as atividades propostas nessas metodologias de projeto são seqüenciais;
- o processo é controlado por revisões formais ao final de cada fase;
- não contemplam as características do contexto industrial (pressões, ambiente, linguagem, cultura organizacional, formação dos projetistas, entre outras);

- não prescrevem claramente a integração entre os conhecimentos necessários para o desenvolvimento do produto;
- são baseadas nas habilidades individuais dos projetistas;
- freqüentemente não prescrevem meios formais de transferência de informações entre as fases do desenvolvimento;
- as alterações necessárias são identificadas e realizadas muito tarde no processo de desenvolvimento do produto.

Esses problemas são atenuados com a adoção de metodologias de desenvolvimento integrado e equipes multidisciplinares ou multifuncionais de trabalho. Um primeiro passo nesse sentido foi dado com a metodologia, denominada de projeto para o ciclo de vida do produto, descrita por Benjamin S. Blanchard e Wolter J. Fabrycky em 1981 (Blanchard e Fabrycky, 1990). Essa metodologia define que o desenvolvimento do produto, ao longo do seu processo, deve considerar, concomitantemente, os requisitos e as restrições de todas as fases do ciclo de vida do produto. Ela tem sido adotada, também, sob a denominação de C2C, que tem origem no termo “*Consumer to Consumer*” (consumidor a consumidor). A metodologia pode ser considerada uma precursora da engenharia simultânea ou de desenvolvimento integrado do produto como descrito a seguir.

2.3 Desenvolvimento de produtos no ambiente de engenharia simultânea

Em termos gerais, reconhece-se, hoje, que as decisões tomadas nas fases iniciais do projeto do produto têm um efeito significativo na manufaturabilidade do produto, em sua qualidade, nos custos de produção, além de outros fatores. Essas decisões diferem em suas naturezas e nas condições sob as quais são tomadas. Nos procedimentos tradicionais de projeto, há mais riscos de não considerar a completeza necessária de informações sobre o produto, do que há no desenvolvimento em um ambiente de engenharia simultânea. Alguns exemplos típicos de decisões e condições que podem afetar as diferentes fases do projeto do produto são:

- na definição das especificações de projeto, quando se está trabalhando com informações qualitativas e muitas vezes insuficientes, por não considerar a amplitude de conhecimentos necessários;

- na definição da concepção do produto, quando as informações são abstratas e pela possibilidade de os dados para julgamento serem insuficientes;
- na configuração mais apropriada para um princípio de solução, quando o tempo disponível é insuficiente e já existem soluções preconcebidas;
- na definição dos parâmetros de componente, quando os riscos são elevados e se dispõe de poucos recursos para análise e simulação.

Dos exemplos anteriores pode-se inferir que as decisões não acertadas durante o projeto podem comprometer, em maior ou menor grau, o desempenho do produto nas demais fases do processo de desenvolvimento. Por exemplo, uma lista de especificações mal definida pode desencadear processos de solução e decisões de projeto cujos resultados não representarão as reais necessidades dos clientes. De maneira similar, uma definição inadequada da concepção do produto pode resultar em comportamento fora do especificado durante o uso. Configurações mal definidas podem representar acréscimo nos custos do produto e dificuldades de fornecimento de componentes e, por último, dimensões inadequadas podem ocasionar, além de dificuldades de fabricação, refugos de peças produzidas.

Esses exemplos reforçam a importância em adotar práticas adequadas ao desenvolvimento de produtos, procurando-se minimizar decisões empíricas ou por tentativa e erro; sugerem ainda que as abordagens tradicionais de projeto devem ser revistas, principalmente com relação ao envolvimento dos vários interessados no desenvolvimento do produto (*stakeholders*), já que as decisões do processo de projeto podem afetá-los diretamente. Nessa direção, têm surgido diferentes propostas para o desenvolvimento de produtos baseados na engenharia simultânea, as quais serão apresentadas nos itens que seguem.

2.3.1 Engenharia simultânea: definições e princípios

A Engenharia Simultânea (ES), de modo geral, tem sido apontada como filosofia, metodologia ou prática de desenvolvimento de produto. Apesar das diferentes conotações, seus princípios gerais são comuns e devem ser investigados para a compreensão dessa abordagem de desenvolvimento de produtos e identificação dos meios pelos quais ela pode ser inserida

nas atividades das empresas. Nesse sentido, esse tópico procura apresentar as principais definições e princípios da engenharia simultânea, visando indicar, ao final, os caminhos para a adoção dessa metodologia. Em outras palavras, procura-se identificar os elementos que caracterizam a engenharia simultânea, sejam eles os identificados nas definições propostas ou os caracterizados pelos diferentes autores.

A seguir, algumas das definições para a engenharia simultânea e suas respectivas fontes:

Prasad, Wang e Deng (1998) – “A engenharia simultânea é uma abordagem sistemática que considera todos os aspectos do gerenciamento do ciclo de vida do produto, incluindo integração do planejamento, projeto, produção e fases relacionadas”.

Smith (1997) – “A engenharia simultânea é um termo aplicado para uma filosofia de cooperação multifuncional no projeto de engenharia, a fim de criar produtos que sejam melhores, mais baratos e introduzidos no mercado mais rapidamente”.

Sprague, Singh e Wood (1991) – “A engenharia simultânea é uma abordagem sistemática para o projeto simultâneo e integrado de produtos e de processos relacionados, incluindo manufatura e suporte. Procura considerar todos os elementos do ciclo de vida do produto, desde a concepção até o descarte, incluindo qualidade, custo, programação e requisitos dos usuários”.

Outras definições consideram, ainda, a engenharia simultânea como modelos de gestão do desenvolvimento do produto (Chiusoli e Toledo, 2000, Hyeon, Parsei e Sullivan, 1993 e Ishii, Hornberger e Liou, 1989), na forma de gerenciamento da compressão do tempo, gerenciamento do tempo para o mercado, gerenciamento do ciclo temporal etc. Na presente obra considera-se a engenharia simultânea como uma metodologia de desenvolvimento integrado do produto, pois suas diretrizes e formulação são similares ao que é entendido por metodologia.

Por meio de diferentes definições para a engenharia simultânea, podem-se sintetizar alguns elementos que auxiliam na compreensão inicial desse tema e sugerem algumas questões importantes para reflexão. Esses elementos, conforme destacados nas definições e outras variáveis da engenharia simultânea, segundo Chiusoli e Toledo (2000), estão representados na Figura 2.6. De acordo com ela, existem diferentes categorias de elementos associados à engenharia simultânea. Essas categorias po-

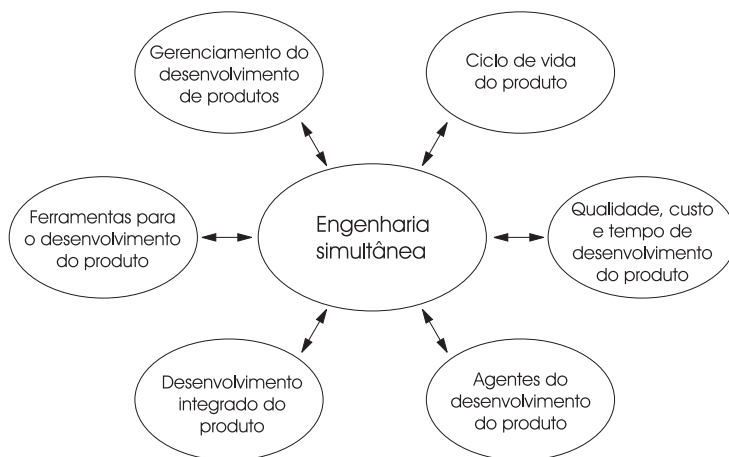


Figura 2.6 Síntese dos principais elementos associados à engenharia simultânea.

dem ser estabelecidas na forma de princípios e variáveis da engenharia simultânea. Os princípios estabelecem os elementos predominantes, as causas, as proposições diretoras, admitidas provisoriamente válidas, de filosofia e prática da engenharia simultânea. As variáveis, por sua vez, são elementos que podem assumir diferentes aspectos, segundo os casos particulares ou as circunstâncias do estado de implantação e prática da engenharia simultânea em dada organização. Nesse sentido, os princípios da engenharia simultânea pressupõem os seguintes aspectos:

- tratamento simultâneo de restrições de projeto e manufatura;
- compartilhamento de conhecimentos associados ao desenvolvimento do produto;
- consideração do ciclo de vida do produto;
- ênfase às preferências dos consumidores no desenvolvimento do produto;
- desenvolvimento do produto considerando qualidade, custo e tempo para o mercado.

Em outra forma, as variáveis associadas à engenharia simultânea podem ser estabelecidas da seguinte maneira:

- configuração de equipes de projeto;
- paralelismo das atividades de projeto;
- integração dos clientes do projeto;
- utilização de ferramentas de apoio.

Diante desses elementos, algumas questões podem ser formuladas para refletir sobre a metodologia da engenharia simultânea:

1. É possível um indivíduo, na realização de suas tarefas individuais, aplicar princípios da engenharia simultânea?
2. Como os modelos da engenharia simultânea devem ser configurados para inserir aqueles elementos?
3. Como a prática da engenharia simultânea pode ser implantada?

O item que segue, sobre modelos de engenharia simultânea, procura responder parte dessas questões, estabelecendo estruturas que associam logicamente os elementos considerados.

2.3.2 Engenharia simultânea: modelos

Em geral, os modelos de engenharia simultânea têm sido propostos comparando-se o processo de desenvolvimento de produto, na forma seqüencial com aquele na forma paralela, como pode ser observado na Figura 2.7, conforme apresentada por Yazdani e Holmes (1999).

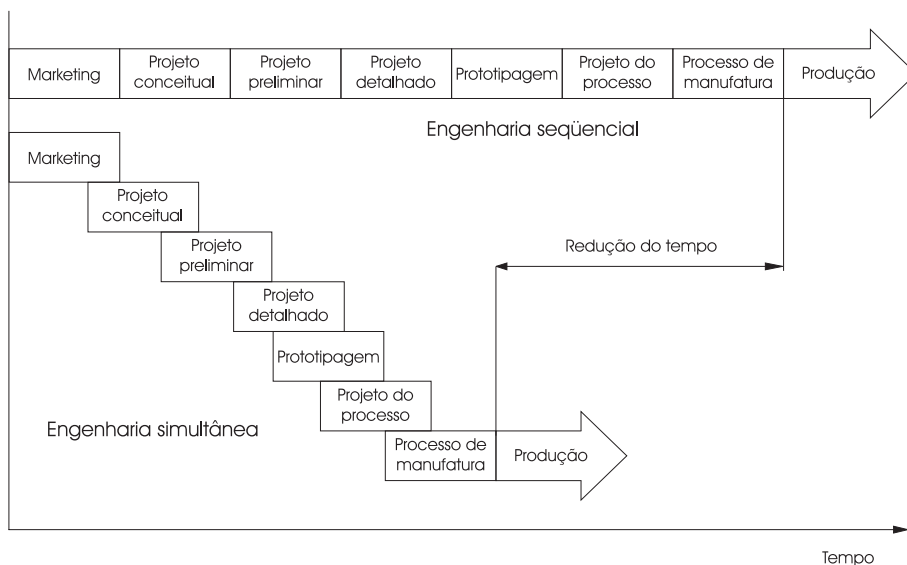


Figura 2.7 Engenharia seqüencial e simultânea (adaptado de Yazdani e Holmes, 1999).

Fica clara, na figura, a redução do tempo na abordagem de engenharia simultânea, pela adoção do paralelismo entre as fases do desenvol-

vimento, quando comparada à engenharia sequencial. Entretanto, esse modelo pouco destaca os elementos envolvidos nessa metodologia. Na verdade, o modelo apenas captura um dos elementos da engenharia simultânea, ou seja, o tempo de desenvolvimento do produto. Os demais elementos, como a qualidade, a redução do custo, o desenvolvimento integrado do produto, o gerenciamento do desenvolvimento do produto, entre outros, embora possam estar implícitos, não são devidamente representados.

Outro modelo que expressa os demais elementos da metodologia da engenharia simultânea, apresentado também por Yazdani e Holmes (1999), está mostrado na Figura 2.8. Neste, além do paralelismo entre as fases do desenvolvimento, verifica-se a existência de elementos de revisão entre cada fase e elementos de informação, sendo transferidas durante o paralelismo das fases. A transferência das informações é facilitada por intermédio de equipes multifuncionais e ocorre, em grande parte, de maneira informal.

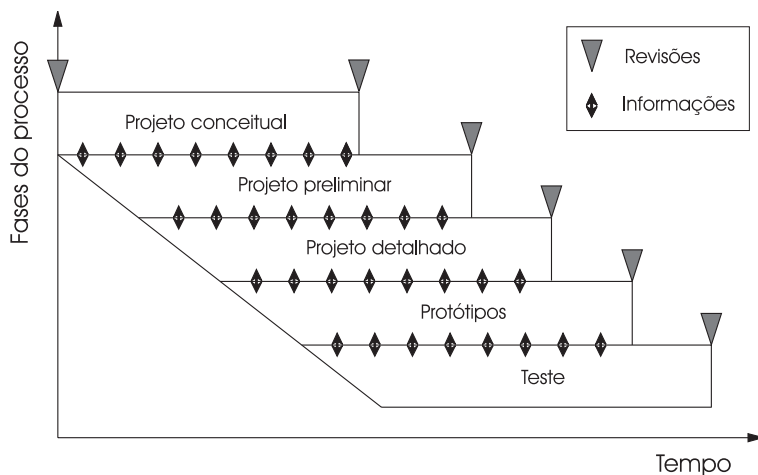


Figura 2.8 Modelo de definição da engenharia simultânea (adaptado de Yazdani e Holmes, 1999).

Outro aspecto importante da modelagem é a visualização da integração através dos recursos computacionais para configurar o ambiente da prática da engenharia simultânea. Nessa linha, são encontrados vários modelos, geralmente dedicados a domínios específicos, como é o caso de produtos de plástico injetado, mostrados na Figura 2.9. A prática da engenharia simultânea se dará, por exemplo, durante um determinado

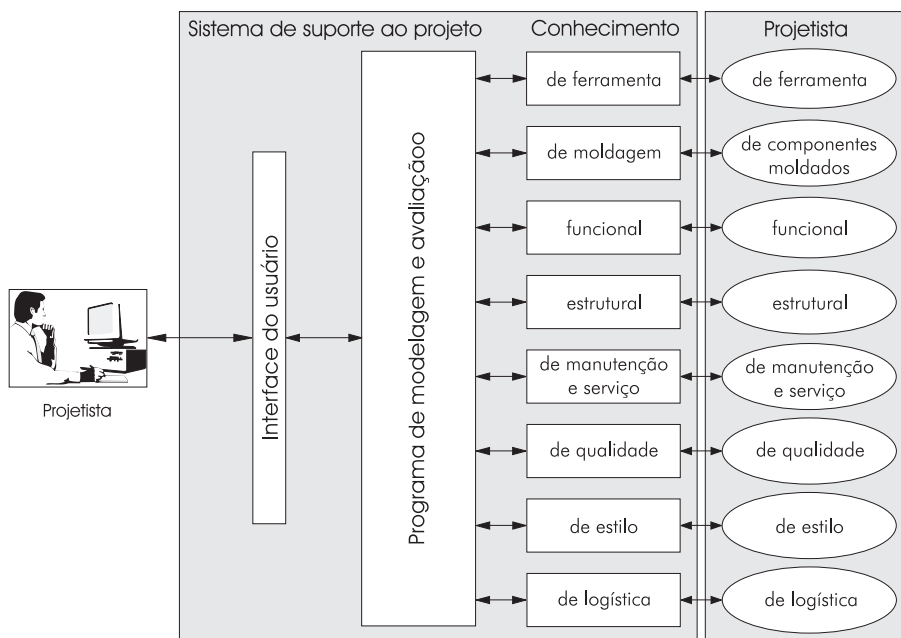


Figura 2.9 Ambiente computacional para o projeto conceitual do produto sob o enfoque da engenharia simultânea.

processo de decisão, quando o projetista conta com as recomendações especializadas, considerando as regras de cada especialidade envolvida no processo de desenvolvimento do produto.

Conforme é possível detectar nos modelos anteriores, procura-se desenvolver as habilidades necessárias para satisfazer simultaneamente os consumidores e os interesses da empresa com relação a tempo, custo e qualidade do produto. Sob esse ponto de vista, a cooperação é o elemento-chave pelo qual as equipes podem melhorar suas habilidades para resolver os problemas e atender às necessidades dos consumidores e da organização.

Assim, a modelagem do processo de trabalho, quando desenvolvida no contexto da engenharia simultânea, deve apresentar as seguintes qualidades:

- ser representada na forma de uma estrutura de relacionamentos entre os elementos envolvidos: isso se deve porque um processo de trabalho não é apenas um grupo de atividades, mas envolve elementos tais como o produto, a organização, os recursos e o fluxo de trabalho. O elemento produto é o resultado de um processo de trabalho,

e os elementos da organização e os recursos suportam o processo de trabalho para obter o produto;

- apresentar uma decomposição hierárquica: um processo de trabalho pode variar desde uma pequena atividade (como editar um arquivo) até grandes atividades de engenharia (como desenvolver um novo tipo de avião). Essa decomposição possibilita identificar interfaces entre as equipes de trabalho;
- distribuir as tarefas paralelamente: viabiliza o trabalho simultâneo entre as equipes de trabalho durante a realização das respectivas tarefas;
- estabelecer um diagrama de fluxo de informações: nesse modelo procura-se representar quem faz (pessoa ou equipe) determinada atividade e a seqüência dos tempos nos quais as atividades são realizadas (Figura 2.10);
- refinamento progressivo: o modelo de processo deve ser criado de tal modo que possa evoluir progressivamente à medida que o produto se desenvolve ao longo dos vários estágios de desenvolvimento.

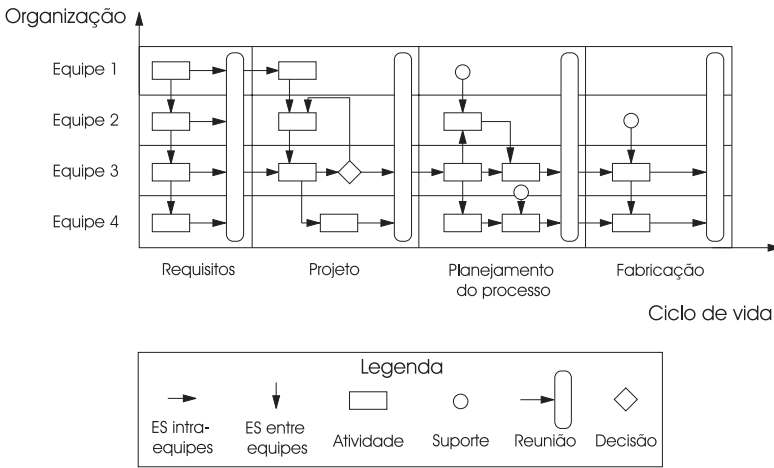


Figura 2.10 Diagrama de fluxo de informações.

Conforme se observa, os modelos anteriores procuram expressar os diferentes elementos envolvidos na engenharia simultânea para o desenvolvimento de produtos. Desde o paralelismo das atividades, fluxo de informações entre as atividades, desenvolvimento integrado, uso de ferramentas de apoio, equipes multidisciplinares, ciclo de vida do produto

e gerenciamento do desenvolvimento do produto. Procura-se mostrar que a abordagem da engenharia simultânea promove meios adequados para desenvolver o produto, buscando satisfazer às necessidades dos envolvidos, seja pelo baixo custo de desenvolvimento, pelo menor tempo de desenvolvimento ou pela melhor qualidade dos produtos resultantes.

Verifica-se, também, que essas abordagens tratam do desenvolvimento do produto, desde o mercado até a fabricação e a distribuição, não desenvolvendo em detalhes a engenharia simultânea do ponto de vista do processo de projeto. Nesse sentido, conforme mostrado na Figura 2.11, procura-se expressar o procedimento da engenharia simultânea em conjunto com o gerenciamento do projeto e conceito de ciclo de vida do produto, num modelo para o processo de projeto do produto, que é estabelecido através de quatro fases principais: informacional, conceitual, preliminar e detalhado.

Encontram-se, no núcleo, os processos da organização e, neste caso particular, o processo de projeto. Esses processos são representados sob certos princípios da engenharia simultânea; no caso, o paralelismo entre fases, a realização de fases por equipe multidisciplinar e a troca de informações entre as fases.

Suportando os processos encontram-se quatro campos de conhecimentos principais: metodologia, gerenciamento, ciclo de vida e tecnologia de informação. O campo da metodologia fornece subsídios metodológicos na forma de métodos e ferramentas para conduzir as atividades de projeto, visando à transformação das informações. O campo do gerenciamento oferece subsídios gerenciais aos processos, visando sua execução dentro do escopo, tempo, custo e qualidade desejados. O campo do ciclo de vida fornece subsídios de informações para as decisões e soluções de projeto, com o objetivo de antecipar potenciais problemas. O campo da tecnologia da informação proporciona subsídios computacionais em termos de base de dados e ferramentas para conduzir as atividades de projeto, aplicações de metodologia e gerenciamento do projeto.

A partir do modelo da Figura 2.11 é possível visualizar e inferir uma série de estudos e desenvolvimentos necessários para suportar as atividades de projeto. Dentre estes, destacam-se:

- o estudo de modelos genéricos do ciclo de vida do produto, ou dedicados a domínios específicos de aplicação;
- desenvolvimento e implementação de métodos de projeto;

- desenvolvimento e implementação de métodos de gerenciamento de projeto;
- desenvolvimento de ferramentas computacionais de apoio ao projeto.

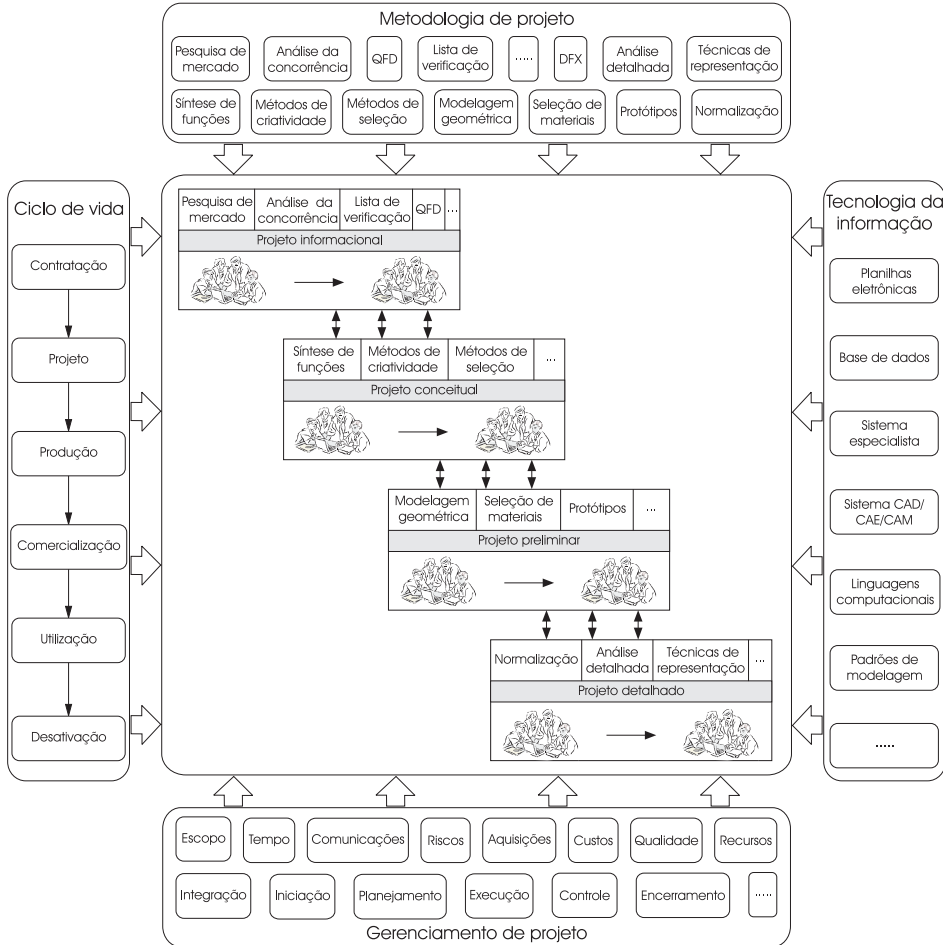


Figura 2.11 Modelo integrado para o projeto do produto.

De acordo com o que foi apresentado nesse item, como já afirmado anteriormente, considera-se a engenharia simultânea uma metodologia integrada de trabalho que, por seus princípios, procura dar suporte ao desenvolvimento de ferramentas para melhorar a prática de desenvolvimento do produto, incluindo, como elementos operacionais, a metodologia de projeto e a disciplina de gerenciamento de projeto.

2.3.3 Engenharia simultânea: implantação

A implantação da engenharia simultânea (ES) tem sido bastante discutida na literatura especializada, o que é justificável considerando que as profundas mudanças organizacionais e culturais requeridas não são, via de regra, facilmente aceitas. Assim como existe uma série de relatos sobre o sucesso da implantação, há também uma série de exemplos mal-sucedidos devido, principalmente, ao pouco cuidado com questões como conscientização, apoio, treinamento e comprometimento. A espera de resultados imediatos também tem sido uma grande causa para o descrédito da metodologia.

Assim como ocorre com os modelos de engenharia simultânea, o modo de implantação também tem variado entre as empresas. Algumas começam por adotar avançados sistemas CAD integrados, outras iniciam pela formação de equipes multidisciplinares de desenvolvimento. Entretanto, poucas são as companhias que têm uma compreensão abrangente da ES para uma eficiente implantação (Evans, 1993).

Esta seção tem por objetivo discutir os principais fatores do sucesso para a implantação da ES, as barreiras e as falhas mais comuns, além das ações e recomendações feitas pelos especialistas.

Segundo Evans (1993), os fatores de sucesso e as falhas na implantação da ES são muito similares na maioria dos casos relatados. Ele defende que, mais importante que as ferramentas empregadas e o modelo de ES adotado, é a forma como são implantados.

Um bom plano de implantação aumenta os benefícios de qualquer ferramenta ou modelo adotado, sendo que a escolha das ferramentas, com exceção das equipes multifuncionais de desenvolvimento, tem pouca relação com os benefícios alcançados. Esta afirmação de Evans (1993) é mais bem entendida quando ele considera que a melhor forma de avaliar o desempenho da implantação da metodologia é pelo número de considerações ou restrições de projeto que são observadas em cada tomada de decisão. Dessa forma, fica evidente que só um ambiente de ES bem implantado, com equipes multidisciplinares de desenvolvimento, é capaz de fornecer as condições necessárias de integração e comunicação para que as restrições das diversas áreas sejam consideradas o mais breve possível, não importando tanto as ferramentas que são adotadas.

Como forma de aumentar os benefícios alcançados com a implantação da ES, Evans sugere que sejam observadas as principais razões para o

insucesso de sua implantação e que sejam desenvolvidas técnicas para neutralizá-las, conforme as características de cada organização.

Os principais modos de falha observados por Evans são brevemente comentados a seguir, tendo como base as três principais fases do processo de implantação, conforme a Figura 2.12. Essa figura expressa os pontos onde os principais modos de falha acontecem, desde a iniciação, passando pelo planejamento, até a implementação propriamente dita.

A primeira fase – *Iniciação* – começa com o reconhecimento de querer melhorar o processo de desenvolvimento do produto e termina quando a empresa decide planejar e implementar a engenharia simultânea. A segunda fase – *Preparação e planejamento* – consiste na sistematização e análise das informações para a prática da engenharia simultânea e termina quando o plano de implementação da engenharia simultânea é apresentado e aprovado. Por último, a terceira fase do processo – *Implementação* – inicia-se com a execução do planejamento, promovendo inicialmente o treinamento de pessoal e, em seguida, avaliando-se os benefícios.

2.3.4 Engenharia simultânea: modos de falha na fase inicial da implementação

Conforme se observa na Figura 2.12, em cada uma das fases do processo de implementação da engenharia simultânea, existem modos de falha potenciais, os quais devem ser estudados e analisados em maiores detalhes, a fim de serem evitados durante a implementação da engenharia simultânea. Uma discussão sobre esses modos de falha é conduzida a seguir.

Problemática do custo/benefício:

O cálculo da relação custo/benefício para a implantação de um ambiente de ES não é simples, considerando que os resultados são alcançados a longo prazo, e que é difícil estabelecer um sistema preciso para a avaliação do progresso e do próprio resultado da adoção da metodologia. O custo também não é fácil de ser estimado, devido ao caráter contínuo do programa de implantação. Além disso, a tendência para a busca de retornos imediatos e palpáveis é um grande erro que tem desmotivado, já no início, o esforço para a implantação da ES. Para Evans, se a ES for vista exclusivamente como uma atividade com retorno de baixo risco, pode até ser aceita inicialmente, mas as melhorias no processo serão improváveis.

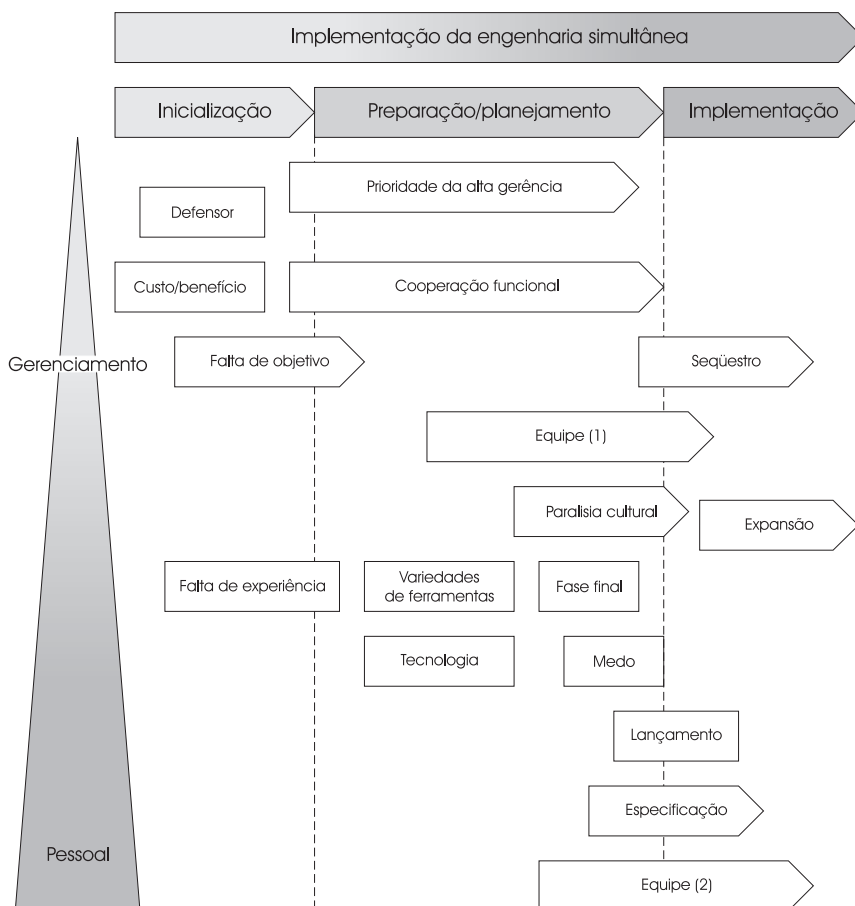


Figura 2.12 Problemas mais freqüentes na implementação da engenharia simultânea (adaptado de Evans, 1993).

Mas, por outro lado, se for vista como um projeto sem perspectiva de retorno, provavelmente nunca será aprovada. Como solução, Evans propõe uma combinação de investimento e retorno de baixo risco como argumentação, já que ambos os objetivos devem ser alcançados.

Problemática do responsável:

Para não se tornar apenas mais um projeto de engenharia, a implantação da ES deve ser liderada por um membro da alta gerência. Gerentes médios não possuem poder para a completa implantação da ES. Além disso, o representante da alta gerência deve estar suficientemente comprometido, com disponibilidade de tempo para o aprendizado e para trabalhar junto à equipe.

Problemática da falta de objetivos ou falta de visão:

Os objetivos devem ser claros e bem definidos. Índices de desempenho também devem ser definidos, como, por exemplo, o tempo de desenvolvimento. A definição dos objetivos almejados também é importante para a escolha do modelo de ES a ser adotado. Uma boa estratégia é definir inicialmente, no curto prazo, objetivos para o planejamento da implementação da engenharia simultânea.

Problemática da falta de experiência:

A experiência com ES só é alcançada com a sua implantação. A busca da experiência de especialistas externos pode ajudar, mas a falta de conhecimento desses profissionais quanto às características da organização é uma barreira. A solução, segundo Evans, é primeiramente reconhecer a falta de experiência; em seguida, perceber o quanto os conhecimentos da organização e as atividades podem ser valiosos para a execução do planejamento; e, por fim, estabelecer mecanismos para o aprendizado, incluindo formas de revisão, análise e avaliação das atividades. Recomenda, ainda, o treinamento em ferramentas de revisão e análise.

2.3.5 Engenharia simultânea: falhas na preparação e no planejamento de implantação

Evans relaciona os quatro modos de falha anteriormente descritos como relativos à fase de iniciação para a adoção da ES. Após a resolução daqueles problemas e o envolvimento da alta gerência, deve-se ter início a próxima fase do programa de implantação da ES, ou seja, a preparação e o planejamento. Os modos de falhas que seguem são relativos a essa fase.

Problemática da alta gerência:

Os benefícios da ES só serão integralmente alcançados com o empenho prioritário da alta gerência. Delegar a tarefa de planejamento da ES acaba por causar pouco entendimento e falta de comprometimento por parte da equipe. Evans menciona que um programa para conscientização da alta gerência é vital. Os riscos de um programa para criar um ambiente de ES devem estar claros para a alta gerência, e esta deve reconhecê-los e fazer um planejamento de modo a evitá-los. A alta gerência deve saber o que é ES, como ela beneficiará a empresa e quais são os objetivos pretendidos. Esclarecidos estes itens, ela deve então patrocinar a criação de uma equipe para o planejamento da implantação da ES.

Problemática da cooperação funcional:

A equipe de planejamento deve ter representantes de todas as áreas da empresa. A reunião inicial deve ser liderada por alguém da alta gerência, que deixará claro para o grupo os seguintes aspectos:

1. Por que a ES é necessária para a empresa?
2. O que a ES significa para a alta gerência?
3. Quais são os limites para a equipe de planejamento?
4. Como serão relatados os resultados e atividades?
5. O que poderá ou não ser dito para os demais funcionários?
6. Como o sucesso do grupo será avaliado?

Nesse ponto, Evans expressa que o elemento mais crítico é a escolha dos objetivos que servirão como critério de avaliação. Para que o espírito de cooperação seja mantido, é necessário que objetivos comuns sejam estabelecidos como referência. Somente haverá cooperação efetiva se todos os integrantes da equipe forem avaliados pelo alcance dos mesmos objetivos.

Problemática do grupo ou equipe:

Muitas empresas formam grupos multidisciplinares em que o ponto básico em comum é apenas o fato de os integrantes estarem trabalhando no mesmo projeto, o que não constitui equipes multidisciplinares realmente. Uma verdadeira equipe tem como fundamento não só a responsabilidade por um mesmo projeto, mas também o compartilhamento dos mesmos objetivos e o reconhecimento de que somente com o esforço de todos os membros eles serão alcançados. O resultado obtido é responsabilidade de todos, não de um único representante de uma determinada área. Em resumo, utilizando as palavras de Evans, um grupo divide apenas um mesmo nome, enquanto uma equipe divide os mesmos propósitos. Além disso, ao contrário de um grupo, os membros de uma equipe não se reúnem ocasionalmente, mas sim em tempo integral. Outro ponto importante ressaltado por Evans é que o plano de ação da equipe não deve ser imposto por elementos externos, mas deve ser o primeiro trabalho a ser feito pela própria equipe, o que constitui um fator motivador bastante forte. Entre todos os modos comuns de falha, este é o mais importante, tanto em termos de ocorrência quanto de impacto na implantação da ES.

Problemática da paralisia cultural:

Evans sugere duas fontes para a paralisia do programa de ES. A primeira é a dificuldade de assimilação de novas idéias, termos e métodos. Por inércia, as pessoas tendem a rejeitar novas idéias por pensar não ser possível ou muito difícil aprender o que não é trivial. A segunda noção responsável pelo atraso na implantação da ES é a falsa idéia de que um líder responsável por essa tarefa precisa ser alguém fora do comum, com profundas habilidades técnicas, gerenciais e de relacionamento humano. Partindo do princípio de que uma verdadeira equipe tem como característica objetivos comuns, mesma referência de desempenho para todos os membros e inexistência de gerenciamento externo, ou seja, a necessidade de um líder controlador, fica claro que é mais importante mudar a cultura de cada indivíduo e não buscar por um líder que reúna todas as qualidades. A soma da mudança cultural de cada indivíduo é que resultará na mudança cultural da empresa. A idéia de que é necessário um superlíder para compensar, por meio de um controle gerencial externo, os defeitos da organização, deve ser desfeita dentro de um ambiente de ES. É preciso ressaltar, entretanto, que a escolha de um bom líder é importante e, colocado desse modo, a tarefa de encontrá-lo torna-se bem mais fácil.

Problemática da variedade de ferramentas:

Existe uma grande variedade de ferramentas proposta para o projeto de produtos e sistemas. É impraticável procurar entender e avaliar todas, considerando o tempo que isso levaria e os custos envolvidos. Para contornar esse modo de falha muito corrente, Evans enumerou três fatores para evitar essa tendência:

- a demora na implantação é onerosa;
- as melhores pessoas para selecionar as ferramentas são os usuários;
- as ferramentas mais apropriadas são óbvias.

Segundo Evans, não é preciso muita pesquisa para aprender as potencialidades das principais ferramentas. As ferramentas menos conhecidas são normalmente indicadas para casos específicos. A tarefa de escolha das melhores ferramentas específicas deve ser delegada para as equipes multidisciplinares de desenvolvimento.

Problemática da tecnologia:

Apesar de as ferramentas de alta tecnologia, como avançados sistemas CAD, trazerem inquestionáveis benefícios, o conhecimento de trabalho em

equipes e as ferramentas mais simples e baratas, possibilitam um índice de retorno de investimento bem mais elevado. Para Evans, a adoção de ferramentas de alta tecnologia não deve ser vista como um ponto crítico para o sucesso da implantação da ES, mas como um complemento para outros elementos.

Problemática da fase final ou início tardio:

A execução do projeto dentro de uma metodologia de ES não deve começar somente quando ocorre a aprovação para o início do projeto por ter-se percebido uma oportunidade de mercado, por exemplo. Dessa forma, toda uma fase, desde a idéia inicial até a consulta do mercado (clientes), é feita sem o auxílio da ES. Muitas restrições de projeto deixam de ser registradas, além de dificultar o entendimento da tarefa por parte da equipe.

Problemática do medo do insucesso:

Devido às muitas mudanças causadas pela adoção da ES, a implantação da mesma é vista com bastante cautela, suscitando estudos profundos e minuciosos, deixando os responsáveis receosos quanto à implantação por medo de errar. Esse temor pode ser superado com a conscientização de que erros podem ocorrer muito provavelmente. Essa consciência deve estar clara para a alta gerência e os demais. A idéia deve ser complementada com a aceitação de que os erros são fontes de aprendizado e que devem ser abertamente discutidos. O aprendizado deve então ser incorporado pelo processo. Só a repetição de um erro deve ser vista como falha do processo.

Problemática das especificações de projeto:

É importante que as especificações de projeto sejam estabelecidas pela equipe de desenvolvimento e não antes do início do projeto e impostas à equipe. Especificações de projeto estabelecidas fora de um ambiente de ES e sem o envolvimento da equipe multidisciplinar tendem a ser falhas e incompletas. Por este motivo, especificações de projeto não devem ser fixadas na etapa de planejamento do ambiente de projeto.

Problemática do lançamento:

O lançamento do projeto de implantação da ES deve ser um evento. Um lançamento bem planejado e executado é fundamental para o entendimento de todos. Deve ocorrer juntamente com o lançamento do projeto do produto que servirá de objeto para a implantação da metodologia. É importante a participação do presidente da empresa e de toda a diretoria

apoiando os princípios definidos para a ES. O presidente deve evidenciar a importância do projeto e do modo pelo qual será executado. Nesse momento é importante deixar claras as atribuições da equipe, o que ela pode ou não fazer. A idéia de que a equipe é um fator crucial, que terá suficiente autonomia e responsabilidades e que a gerência dará apoio aos métodos estabelecidos pela equipe deve ser expressa com transparência.

Numa segunda etapa do lançamento, devem ser definidas as responsabilidades dos membros e do líder da equipe. Vale ressaltar novamente a necessidade de que os membros tenham as mesmas responsabilidades. Devem-se evitar divisões do tipo “a manufatura é responsabilidade do engenheiro de processos”, a fim de garantir que toda a equipe compartilhe as mesmas responsabilidades. O papel do líder de uma equipe multidisciplinar não é tomar decisões, e sim atuar como um facilitador responsável pela comunicação e pelas informações, como a política da empresa e as linhas gerais do projeto, além de manter o plano de execução atualizado. Nas palavras de Evans, o objetivo do líder é criar o mais eficiente ambiente de ES e, assim, atuar mais como um condutor do que como um executor.

Por fim, objetivos devem ser dados à equipe, por meio de metas quantificáveis para desempenho, custos, redução de tempo de desenvolvimento, entre outras. É necessário que essas metas sejam preparadas com antecedência e submetidas à equipe para apreciação. As metas devem sempre estar associadas ao produto e nunca à função de reduzir custo de manufatura, por exemplo, para impedir desagregação da equipe quanto aos objetivos comuns.

2.3.6 Engenharia simultânea: falhas na fase de execução do plano de implantação

Os próximos modos de falha são relativos à fase de execução do plano, conforme a definição de Evans e a Figura 2.12.

Problemática do grau de envolvimento da média gerência:

Gerentes responsáveis por funções bem definidas, como produção, pesquisa e desenvolvimento, análise estrutural, são normalmente requisitados por colaboradores de sua área para resolver problemas. Quando participam das equipes multidisciplinares, muitas vezes deixam a equipe para resolver problemas em suas respectivas áreas, o que é definido

como seqüestro. Essa situação atrasa o andamento dos trabalhos e contribui para reforçar a rígida estrutura funcional. Só o treinamento e o comprometimento quanto à metodologia da ES e ao papel do gerente podem evitar esse modo comum de falha.

Problemática do grupo ou equipe:

Alguns membros da equipe podem ter a tendência a retornar ao modo de trabalho tradicional, ou seja, individual, especializado e seqüencial. As causas para esse modo de falha são a falta de clareza quanto às atribuições e às suas responsabilidades. A solução, segundo Evans, é a capacitação continuada sobre o contexto da metodologia e a consciência de que os critérios de avaliação de desempenho são os mesmos para a equipe como um todo.

Problemática da expansão do programa:

Em vez de procurar planejar um programa abrangente e minuciosamente planejado, as empresas devem buscar o incremento do ambiente de ES através das lições aprendidas, registradas e incorporadas ao plano. A equipe deve discutir a implantação do programa buscando identificar o que está funcionando, o que não é eficiente e o que pode ser melhorado ou introduzido. Basicamente, é importante que os objetivos e a política da empresa sejam esclarecidos e bem entendidos por todos. Uma boa forma de convencimento sobre os benefícios da ES é esclarecer quanto ela pode contribuir para que os objetivos da empresa sejam atingidos. A falta de políticas e objetivos claros é uma grande barreira para a implantação da ES. Como no desenvolvimento de produtos, os modos de falha devem ser considerados no início, quando a ES está sendo avaliada e planejada (nas fases informacional e conceitual da engenharia simultânea, para estabelecer um paralelo com o projeto de produtos), quando as alterações são mais fáceis e não implicam em custos elevados, além de aumentar as chances de sucesso do programa.

2.3.7 Engenharia simultânea: barreiras da implantação

Maddux e Souder (1993) consideram que as barreiras para a implantação da ES podem ser divididas em dois grupos: **organizacional** e **técnica**. As barreiras organizacionais são aquelas relacionadas a gerenciamento, política e cultura da empresa, comportamento humano e resistência a mu-

danças. As barreiras técnicas são aquelas relativas à falta de infra-estrutura básica, como sistemas de comunicação e sistemas CAD/CAM, ou à falta de conhecimento e experiência para a implantação da ES.

Como barreiras organizacionais, Maddux e Souder (1993) identificaram sete, algumas também apontadas por Evans (1993) e relacionadas a seguir:

- falta de apoio da alta gerência: qualquer tentativa de implantação da ES sem o apoio e o forte envolvimento da alta gerência está fadada ao fracasso. A conscientização deve ser feita a cada nível organizacional, partindo do mais alto e, sucessivamente, sendo transmitido para os níveis inferiores;
- ambiente organizacional inadequado: devido à política da empresa, atitudes e diretrizes da alta gerência têm o poder de influenciar quanto à intensidade da cooperação multidisciplinar;
- protecionismo: gerentes que tendem a proteger sua área são barreiras para a implantação da ES, dificultando a troca de informações e a colaboração multidisciplinar;
- sistema de recompensa inadequado: a premiação por objetivos alcançados deve ser feita com base em metas gerais, evitando a análise de desempenho por departamento, o que diminui a aptidão para a colaboração entre as diversas áreas;
- falta de envolvimento com o cliente;
- falta de envolvimento com os fornecedores: as empresas que têm tido sucesso na aplicação dessa metodologia tendem a diminuir o número de fornecedores e promover freqüente troca de informação e cooperação;
- temor de inibir a criatividade: muitos acreditam que as regras estabelecidas para a implantação da ES e a normalização do processo de projeto coíbem a criatividade. Sobre esse fato, Maddux e Souder (1993) afirmam que os benefícios obtidos com a ES em muito suplantam qualquer inibição quanto à criatividade que porventura possa ocorrer devido ao uso de técnicas bem definidas e à aceitação de sugestões de outros membros da equipe. Vista de outra forma, a ES pode até aumentar a criatividade por suscitar discussões entre os membros da equipe com uma vasta gama de conhecimentos somados.

Quanto às barreiras técnicas, Maddux e Souder (1993) consideram que um sistema CAD/CAM é imprescindível para o máximo aproveitamento da ES. As facilidades de comunicação, através da simultaneidade de envio de dados, troca de informações e correções, melhoram em muito o ambiente integrado de desenvolvimento. Entretanto, um verdadeiro ambiente dessa natureza não pode ser comprado com a aquisição de *software*. Só a conscientização e a mudança da cultura profissional das pessoas visando ao aumento na cooperação entre as diversas áreas garantem o sucesso da engenharia simultânea. A necessidade de *software* e outras ferramentas deve ser cuidadosamente avaliada de acordo com as necessidades da equipe e as características do processo de projeto.

Outra dificuldade encontrada foi a falta de integração entre os vários tipos de *software* e ferramentas adotados. A infra-estrutura informatizada deve complementar as técnicas e os métodos de projeto.

Para que as barreiras organizacionais e técnicas sejam eliminadas, Maddux e Souder (1993) sugerem cinco ações que devem ser observadas pelo condutor do processo de implantação da ES:

- conscientização da necessidade de assimilar conhecimento advindo de diferentes culturas;
- transformações organizacionais, eliminando as barreiras entre os departamentos por intermédio de equipes multidisciplinares fortes. O desenvolvimento do produto e do processo deve estar integrado, sendo responsabilidade de um único vice-presidente;
- formação de uma equipe multidisciplinar fortemente integrada e com membros que sejam realmente representantes de suas respectivas áreas, inclusive com poder de decisão. É importante também a participação de clientes e fornecedores na equipe;
- provisão de suporte tecnológico através da infra-estrutura informatizada e da adoção de metodologias e ferramentas de projeto;
- definição de responsabilidades e promoção da integração.

Grande parte do sucesso da implantação da ES está em reconhecer essas barreiras e observar as recomendações que, segundo os autores, servem para a maioria dos casos. A forma como as recomendações devem ser executadas, entretanto, é bastante particular para cada empresa, considerando suas características, tipo de produto que desenvolvem e o mercado em que atuam.

2.3.8 Engenharia simultânea: etapas para a implantação

A etapa de implantação da ES é decisiva para que a metodologia proposta não caia em descrédito. Algumas falhas e a falta de comprometimento são suficientes para que a tentativa de implantação de um ambiente de ES seja definitivamente abandonada. Durante essa etapa, é ainda maior a importância da liderança da alta gerência, já que a incerteza existente, devido à falta de resultados concretos obtidos, torna o processo frágil sob o aspecto do comprometimento da organização.

A fim de evitar falhas como iniciativas isoladas, falta de iniciativa e falta de foco, Clausing (1994) sugere que a ES seja implantada em quatro etapas: *conscientização, treinamento, projeto piloto e integração e institucionalização*. Para o autor é importante, ainda, a forma como ocorre o envolvimento das pessoas em cada uma dessas etapas. A Figura 2.13 representa essas etapas por meio do estabelecimento de dois aspectos: o estilo de implantação, *top down* ou *bottom up*, e o foco, dirigido ao conteúdo ou à organização da ES. Assim são determinados quadrantes de atuação.

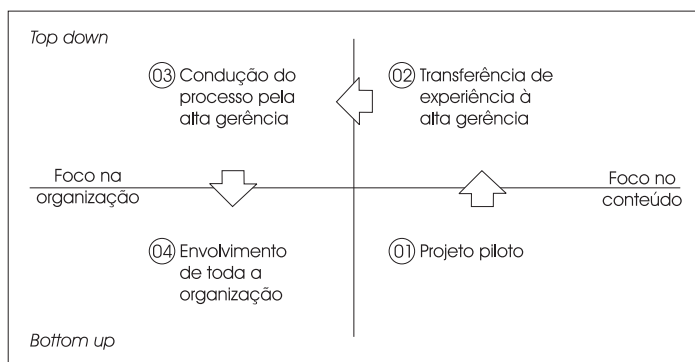


Figura 2.13 Passos para implantação da ES (Clausing, 1994).

Para Clausing (1994), a forma de implantação que evita os problemas anteriormente citados começa com a composição de uma equipe multidisciplinar que estaria caracterizada pelo quadrante número 1 na Figura 2.13, ou seja, seria conduzida pela gerência média, ainda que tenha o forte apoio da alta gerência, e teria foco no conteúdo necessário para adoção da ES. Inicialmente, a equipe é conscientizada quanto à importância da nova abordagem e é iniciado um trabalho de treinamento. A equipe teria como atribuição aprender novas técnicas e ferramentas, aplicar e adaptar os conceitos de gerenciamento da qualidade total à organização pelo de-

envolvimento de um projeto piloto. Dessa forma, as três primeiras etapas – conscientização, treinamento e projeto piloto – estariam cumpridas.

O próximo passo, após a sedimentação dos conceitos e a obtenção da confiança quanto aos resultados obtidos, é migrar para o quadrante número 2, por meio da transferência de experiência à alta gerência. A equipe auxilia a alta gerência a entender e desenvolver um plano de implementação dos novos conceitos no âmbito da organização como um todo.

A alta gerência move-se então em direção ao quadrante número 3 com um claro entendimento quanto aos conceitos e às recomendações geradas pela aplicação durante a execução do projeto piloto. O plano de implantação é posto em prática através de uma forte liderança. A constituição de um plano de implantação bem preparado durante a atuação no quadrante 3 é de fundamental importância. Para Clausing (1994), este deve cumprir as seguintes funções:

- disseminar a conscientização e o treinamento em toda a organização;
- descrever detalhadamente os princípios de gerenciamento da qualidade total de forma adaptada às necessidades e características da organização;
- promover o desenvolvimento dentro dos princípios da qualidade total;
- criar condições para que a transição entre a antiga e a nova abordagem seja bem-sucedida;
- prever treinamento operacional e acordos com consultores externos.

Os princípios da ES, devidamente incorporados ao plano de implantação, são então aplicados a todos os programas de desenvolvimento.

Por fim, busca-se o envolvimento de todos os funcionários através da adoção e adaptação do plano a cada um dos programas em execução. A ES é, dessa forma, institucionalizada na condição caracterizada pelo quadrante número 4.

2.3.9 Engenharia simultânea: formação de equipes multidisciplinares

A formação da equipe multidisciplinar é considerada como o ponto crucial para o sucesso da ES. Clausing (1994) relaciona dez princípios básicos para o sucesso na formação de equipes multidisciplinares:

- as equipes devem ser formadas com base em objetivos comuns e respeito a todas as áreas representadas;
- a participação de representantes de todas as grandes áreas da organização deve ser garantida;
- um entendimento comum sobre a ES deve ser certificado;
- a forma como o consenso para a convergência de soluções é obtido deve ser bem entendida por todos;
- o consenso prematuro e fácil nas tomadas de decisão deve ser evitado;
- definir de forma criteriosa os trabalhos que devem ser feitos individualmente e aqueles que devem ser feitos pela equipe;
- adotar métodos sistemáticos;
- estimular a comunicação formal e informal;
- é importante selecionar pelo menos alguns dos membros da equipe segundo aptidões e especialidades;
- deve-se desenvolver uma liderança.

Segundo Clausing (1994), a observação desses dez princípios em conjunto com o cuidado em relação às barreiras discutidas anteriormente torna a implantação da ES bastante robusta e aplicável a diferentes abordagens.

É importante, ainda, promover o envolvimento e o treinamento de todos os integrantes através de uma gestão participativa e procurar envolver de alguma forma clientes e fornecedores.

Outro ponto é o estabelecimento do número de integrantes para a equipe. Os autores são unânimes ao recomendar que as equipes de projeto multidisciplinares não devem ser demasiadamente grandes, para evitar problemas como dificuldade de comunicação, dispersão e baixa produtividade.

Miller (1993) observou que equipes com elevado número de integrantes tendem a tornar o ambiente menos favorável à criatividade. Ele sugere que, para o caso de um projeto de conceito inovador, o projeto conceitual deve ser iniciado por uma equipe de dois ou três projetistas. Na medida em que o projeto avança, outros indivíduos são agregados à equipe, até alcançar as etapas de projeto detalhado e fabricação, quando há um decréscimo no número de integrantes. Já em se tratando de um produto derivado de outro já existente, Miller (1993) propõe que pequenos grupos

de especialistas executem o projeto preliminar e detalhado. Nesse caso, as maiores inovações ocorrem nessas fases, já que o conceito é o mesmo daquele produto previamente existente.

Para Clausing (1994), como já mencionado anteriormente, não deve haver alterações bruscas com relação aos participantes da equipe, a fim de que haja continuidade. A equipe multidisciplinar deve se manter razoavelmente constante. Todos aqueles que estiverem diretamente envolvidos no projeto devem fazer parte da equipe.

Miller (1993) recomenda ainda que na composição da equipe seja observada a diversidade quanto às características pessoais, quanto à especialidade técnica e às áreas representadas. Clausing (1994) sustenta que o representante de cada área na equipe multidisciplinar deve preencher dois pré-requisitos: ter um bom conhecimento da área representada e o comprometimento, por parte dos integrantes da respectiva área, quanto ao acato das decisões por ele tomadas ao longo do processo. Dessa forma, evitam-se problemas causados por falta de conhecimento e informação ou por mudanças ocasionadas por decisões reconsideradas, o que aumenta o tempo de desenvolvimento.

2.3.10 Engenharia simultânea: benefícios de sua aplicação

Diante dos princípios, modelos e aspectos da implantação da engenharia simultânea, destacam-se, conforme Clausing (1994), os principais benefícios dessa metodologia:

- o desenvolvimento dos sistemas de produção e das áreas de apoio começa cedo;
- a análise dos aspectos relacionados ao produto ocorre simultaneamente entre projeto, produção e logística, como um sistema único;
- a facilidade de obter um bom projeto para manufaturabilidade e apoio logístico;
- a produção e as pessoas das áreas de apoio ganham um claro entendimento do projeto e comprometem-se para seu sucesso;
- as modificações no protótipo são reduzidas porque o projeto se torna mais maduro desde as fases iniciais.

Esses benefícios implicam diretamente numa melhoria no processo de desenvolvimento do produto, a saber:

- foco na qualidade, custo e cronograma de desenvolvimento;
- ênfase na satisfação do consumidor;
- ênfase nas melhores práticas de desenvolvimento;
- equipe multidisciplinar de desenvolvimento;
- funcionários envolvidos e participantes no gerenciamento;
- relacionamento estratégico com os fornecedores.

2.4 Modelo de desenvolvimento integrado de produtos

Neste item será descrito o Processo de Desenvolvimento Integrado de Produtos – PRODIP –, proposto com base em pesquisas e experiências desenvolvidas pelo NeDIP. Esse modelo, também chamado de modelo de referência, procura explicitar o conhecimento sobre o processo de desenvolvimento de produtos, de modo a auxiliar no entendimento e na prática do processo. Assim, é recomendado tanto na formação de estudantes e na atualização de profissionais que trabalham na área, como para a implementação de melhorias no processo de desenvolvimento de produtos nas empresas.

O modelo de referência contribui para que as empresas passem a executar um processo de desenvolvimento de produtos mais formal e sistemático, integrado aos demais processos empresariais, com os participantes da cadeia de fornecimento e com os clientes finais. Fornece, ainda, os meios para que as empresas inovem e desenvolvam, dentro de suas fábricas, novos produtos.

O modelo desenvolvido e descrito em mais detalhes por Romano (2003) está representado graficamente na Figura 2.14 e apresenta, em linhas gerais, as seguintes características:

- é baseado na visão de processo e em consonância com o plano estratégico de negócios e de produtos da organização;
- traz a visão de todo o processo de desenvolvimento do produto, através da unidade visual de representação gráfica e da descrição;
- o processo é decomposto em macrofases, fases, atividades e tarefas;
- indica a seqüência lógica das fases e atividades;
- explica o que deve ser feito para desenvolver um produto industrial, ou seja, as atividades e tarefas apoiadas nos princípios da engenharia

simultânea e nas diretrizes do processo de gerenciamento de projetos;

- define as áreas envolvidas em cada atividade do modelo;
- suporta estrutura organizacional matricial;
- define as informações necessárias para a realização das atividades, apresentadas sob a forma de entradas, mecanismos e controles;
- expõe como realizar as atividades através da definição dos principais métodos, ferramentas e documentos (mecanismos);
- exhibe os eventos que marcam o término das fases e definem os resultados desejados (saídas);
- avalia passagem de fase;
- registra lições aprendidas.

O modelo esquematizado na Figura 2.14 é decomposto em três macrofases:

- planejamento do projeto: a primeira macrofase corresponde à fase de planejamento do projeto. Envolve a elaboração do plano do projeto do produto, principal resultado da fase;
- elaboração do projeto do produto: envolve a elaboração do projeto do produto e do plano de manufatura. Decompõe-se em quatro fases denominadas projeto informacional, projeto conceitual, projeto preliminar e projeto detalhado. Os resultados principais de cada fase são, respectivamente, as especificações de projeto, a concepção do produto, a viabilidade técnica e econômica e a documentação do produto;
- implementação do lote piloto: envolve a execução do plano de manufatura na produção da empresa e o encerramento do projeto. Decompõe-se em três fases denominadas de preparação da produção, lançamento e validação do produto. Os resultados principais de cada fase incluem, respectivamente, a liberação do produto, a liberação do lote piloto e a validação do produto.

Assim tem-se, no total do processo de desenvolvimento do produto, três macrofases, decompostas em oito fases. Ao final de cada fase há uma avaliação do resultado obtido, autorizando a passagem para a fase seguinte. Como descrito adiante, estas são decompostas em atividades que são, por sua vez, desdobradas em tarefas.

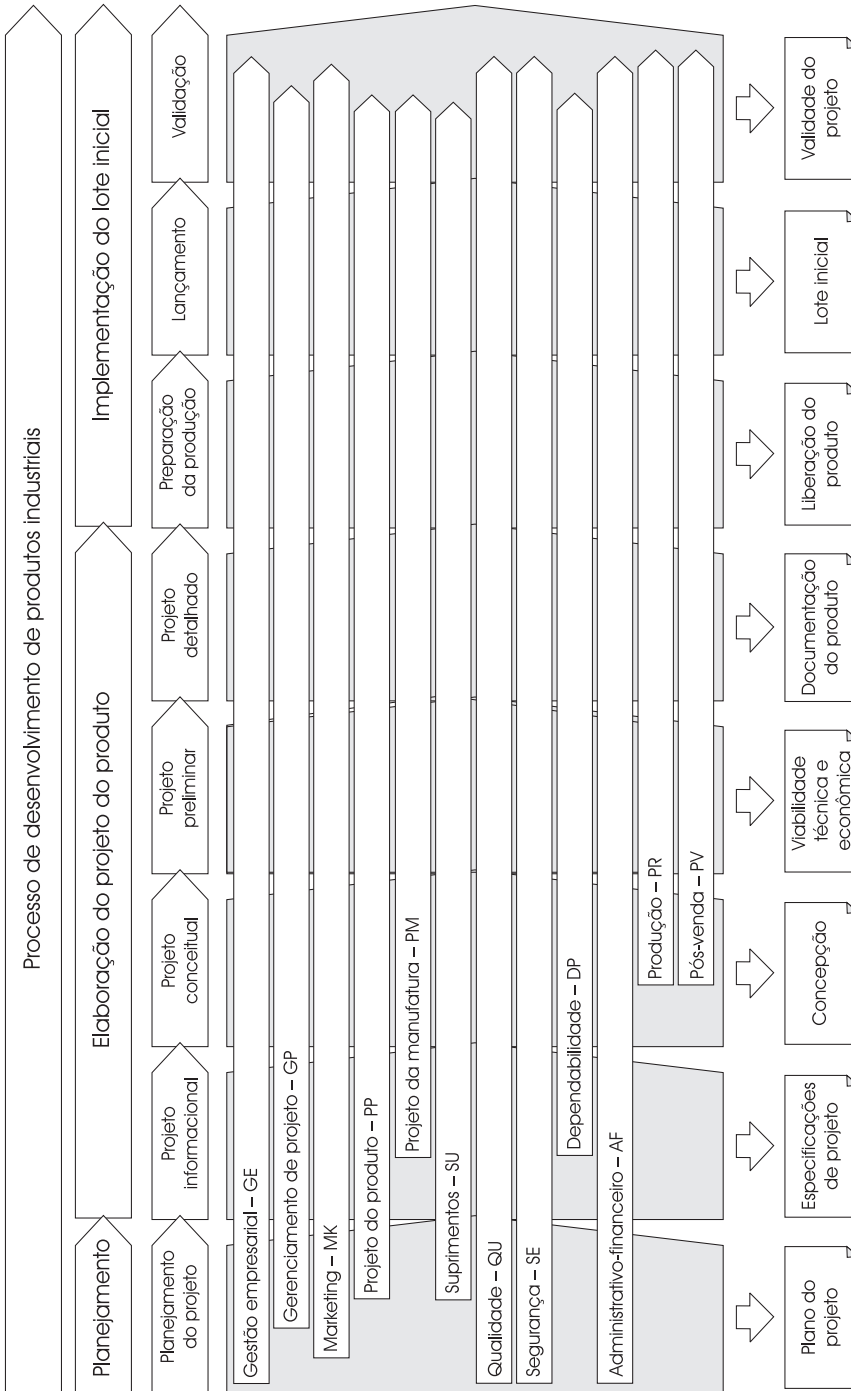


Figura 2.14 Representação gráfica do modelo do processo de desenvolvimento integrado de produtos – PRODIP (Romano, 2003).

Outro aspecto importante a ser observado (no modelo da Figura 2.14) é a indicação dos principais domínios de conhecimento envolvidos na realização das tarefas, cujo propósito é auxiliar na identificação das pessoas e das habilidades necessárias para a realização dessas tarefas. O modelo de referência apresenta-se estruturado a partir dos seguintes domínios de conhecimento:

- Gestão Empresarial – GE: envolve a tomada de decisão da diretoria da empresa;
- Gerenciamento de Projeto – GP: engloba a iniciação, o planejamento, a execução, o controle e o encerramento do projeto;
- Marketing – MK: trata-se da pesquisa de mercado, planejamento de marketing, propaganda e venda do produto;
- Projeto do Produto – PP: compreende o desenvolvimento e a validação do projeto do produto;
- Projeto da Manufatura – PM: trata do desenvolvimento e da implementação do plano de manufatura;
- Suprimento – SU: refere-se ao planejamento e controle de suprimentos, bem como o envolvimento de fornecedores no desenvolvimento do projeto do produto e do plano de manufatura;
- Qualidade – QU: considera desde o atendimento do produto até as metas de qualidade;
- Segurança – SE: abrange a avaliação da segurança do produto;
- Dependabilidade – DP: corresponde ao atendimento do produto às metas de confiabilidade e manutenibilidade. Inclui a realização de testes e a preparação da logística de assistência técnica;
- Administrativo-financeiro – AF: compreende questões administrativas, jurídicas e financeiras da empresa;
- Produção – PR: refere-se à implementação do plano de manufatura e da produção dos produtos;
- Pós-venda – PV: compreende as ações corretivas e de apoio nos casos de falha ou defeito do produto.

Sendo objeto principal desta obra o desenvolvimento do projeto do produto, a seguir serão descritas em maiores detalhes, desdobradas ao nível de atividades e tarefas, quatro fases: projeto informacional; projeto conceitual; projeto preliminar; e projeto detalhado. Entende-se atividade,

aqui, como um conjunto de tarefas. A tarefa é caracterizada por escopo, tempo de execução, recursos necessários e risco. Constitui-se no último nível de desdobramento de uma atividade. Esses conceitos serão aprofundados no Capítulo 3.

Nessas fases cada uma das atividades e tarefas será descrita na forma da Tabela 2.2, com os seguintes elementos:

- entradas: informações ou objetos físicos a serem processados ou transformados pela tarefa;
- mecanismos: recursos físicos e/ou informações necessárias para a execução da tarefa (por exemplo: metodologias, técnicas, ferramentas);
- controles: informações usadas para monitorar ou controlar a tarefa;
- saídas: informações ou objetos físicos processados ou transformados pela tarefa (entregas produzidas).

As *saídas* são usadas como *entradas* de outras atividades ou tarefas. Quando, na forma de informação – as especificações de projeto de uma máquina, por exemplo –, são usadas como *entradas* de tarefa, na forma de *controle* ou de *mecanismo* de outras tarefas. Quando a *saída* é um objeto físico – um protótipo da máquina, por exemplo –, é usada somente como *entrada* de tarefa ou *mecanismo* de outras tarefas.

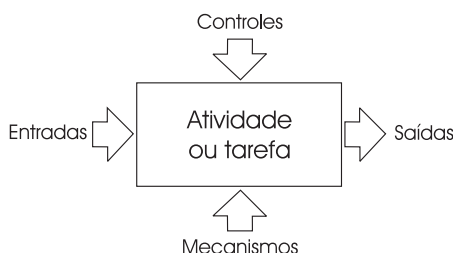
Conforme se verifica na Tabela 2.2, as atividades estão dispostas numa seqüência lógica de acontecimentos, de modo a facilitar o armazenamento das informações, não significando, portanto, que as mesmas não possam ser desenvolvidas simultaneamente.

O conteúdo detalhado do modelo de referência PRODIP é descrito em tabelas cuja estrutura apresenta a mesma unidade visual da representação gráfica adotada para o modelo, apresentada na Figura 2.14. As fases do projeto informacional, conceitual, preliminar e detalhado serão descritas em tabelas individuais, compostas pelos elementos mostrados na Figura 2.15: entradas, atividades, tarefas, domínios, mecanismos, controles e saídas.

O detalhamento dessas tabelas encontra-se disponível no Apêndice (Tabelas A1 a A4). As demais fases do processo de desenvolvimento do produto, o planejamento do projeto, a preparação da produção, o lançamento e validação do produto, serão desdobradas somente por fluxogramas de atividades.

Tabela 2.2 Modelo de tabela de desdobramento das fases de projeto do produto (Romano, 2003)

Fase do processo de desenvolvimento do produto							
Número da atividade	Entradas	Atividades	Tarefas	Domínios de conhecimento	Mecanismos	Controles	Saídas
n	Entradas para atividade X_n	Atividade X_n	$X_{n.1}$	....	....	....	Saídas da atividade X_n
			$X_{n.2}$	....	....	....
			$X_{n.3}$	....	....	....
			$X_{n.4}$	....	....	....
			
n+1	....	....	....	....	....	....	....
Indicação do número de ordem da atividade da fase	Descrição dos dados ou informações necessárias para executar a atividade	Declaração da atividade a ser executada	Declaração da tarefa resultante do desdobramento da atividade	Relação dos domínios de conhecimento necessários para executar a tarefa	Descrição dos mecanismos, métodos ou ferramentas utilizados na elaboração da tarefa	Formas de monitoramento e controle de execução da tarefa	Descrição dos resultados obtidos pela execução da atividade

**Figura 2.15** Elementos na descrição de atividades ou tarefas.

2.4.1 Fase 1 – Planejamento do projeto

Essa fase destina-se ao planejamento de um novo projeto em face das estratégias de negócio da empresa e da organização do trabalho a ser desenvolvido ao longo do processo. Como mostra a Figura 2.16, a partir do plano estratégico de produtos, o planejamento de marketing é iniciado e aprovado, liberando a criação do termo de abertura do projeto ou a carta de projeto, que formaliza a existência do projeto dentro da organização. Segue com a identificação das partes envolvidas no projeto (os clientes diretos e indiretos, parceiros, participantes da organização do projeto etc.) e com a elaboração do plano de gerenciamento das comunicações (diretri-

zes para o sistema de informações do projeto). É elaborada a declaração do escopo do projeto do produto, que descreve a justificativa do projeto, suas restrições, o que será desenvolvido (características do produto), as saídas desejadas de cada fase do projeto, bem como os objetivos do projeto. Após aprovação, a declaração do escopo do projeto é detalhada através da elaboração da estrutura de decomposição do projeto, ou estrutura de desdobramento do trabalho (EDT), que define o que é objeto do projeto. Com a declaração do escopo do projeto e a estrutura de decomposição do projeto parte-se para a avaliação do risco do projeto para as áreas envolvidas da organização, resultando numa classificação do risco do projeto. A partir desta classificação são definidas a equipe de gerenciamento do projeto e todas as demais atividades necessárias à elaboração do plano do projeto do produto, que orientará a execução das macrofases de projeto do produto e de implementação.

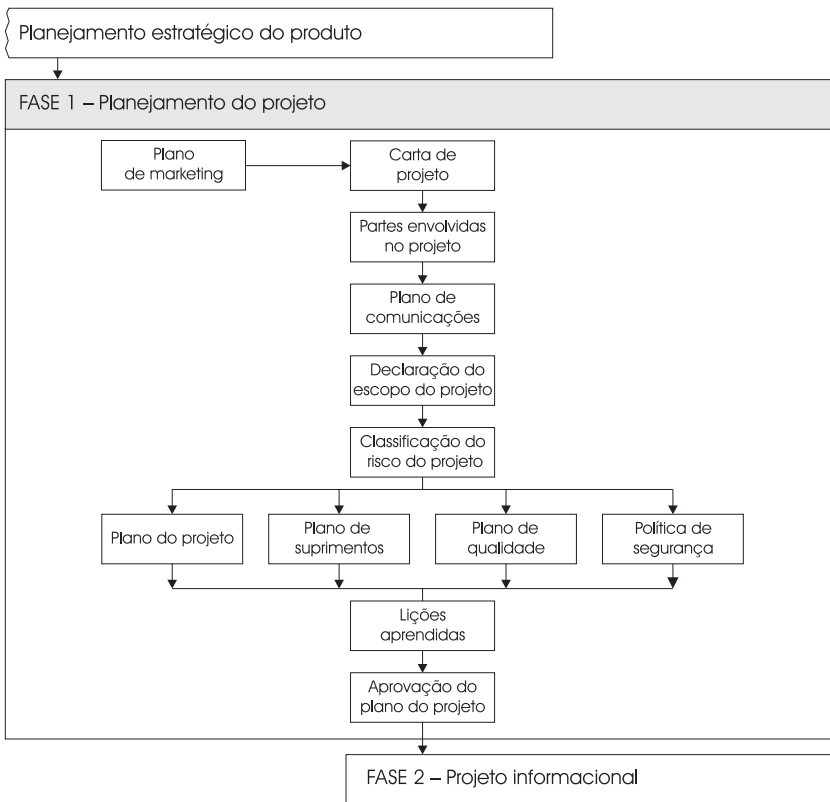


Figura 2.16 Fluxograma da fase de planejamento do projeto.

Paralelamente ao plano do projeto, são desenvolvidos os planos de gerenciamento de suprimentos e da qualidade, bem como estabelecidas metas de segurança a serem atendidas com o novo projeto. As melhores práticas relacionadas à realização das tarefas da fase são registradas para incorporação a novos projetos como lições aprendidas. Ao encerrar as atividades da fase, submete-se o plano do projeto à aprovação, que é o critério que autoriza o progresso para a fase seguinte. O comprometimento das áreas envolvidas no desenvolvimento é obtido através da avaliação e da aprovação do plano de projeto.

Os Capítulos 3 e 4 descrevem com mais profundidade o conhecimento necessário para o planejamento do produto, a elaboração do plano e o gerenciamento do desenvolvimento do produto.

2.4.2 Fase 2 – Projeto informacional

A fase de projeto informacional, conforme apresentado pela Figura 2.17 e detalhado na Tabela A1 do Apêndice, destina-se à definição das especificações de projeto do produto. Sendo a primeira fase do projeto do produto, nela acontece a primeira reunião da equipe de desenvolvimento, para apresentação do plano do projeto.

Uma vez iniciada a execução do plano do projeto, são realizadas diversas tarefas que buscam a definição dos fatores de influência no projeto do produto. Paralelamente, o planejamento de marketing é continuado, sendo o mercado monitorado para identificar variações que possam influenciar na determinação das especificações de projeto. Para estabelecer as especificações de projeto, são identificadas, primeiramente, as necessidades dos clientes ou usuários, sendo estas desdobradas em requisitos dos usuários. A partir dos requisitos dos usuários são definidos os requisitos de projeto do produto, considerando diferentes atributos: funcionais, ergonômicos, de segurança, de confiabilidade, de modularidade, estéticos e legais, entre outros. Conhecidos os requisitos de projeto, uma avaliação comparativa dos produtos disponíveis no mercado permite verificar o atendimento dos mesmos aos requisitos dos usuários e aos do projeto.

Dos requisitos de projeto derivam as especificações de projeto, ou seja, os objetivos a que o produto, a ser projetado, deve atender. De posse das especificações de projeto, são definidos: os fatores de influência no plano de manufatura; a estratégia para o envolvimento de fornecedores de com-

ponentes; as informações sobre segurança no ciclo de vida; as metas de dependabilidade; e o custo meta do produto. Antes da aprovação das especificações de projeto, as mesmas são avaliadas quanto ao atendimento do escopo do projeto.

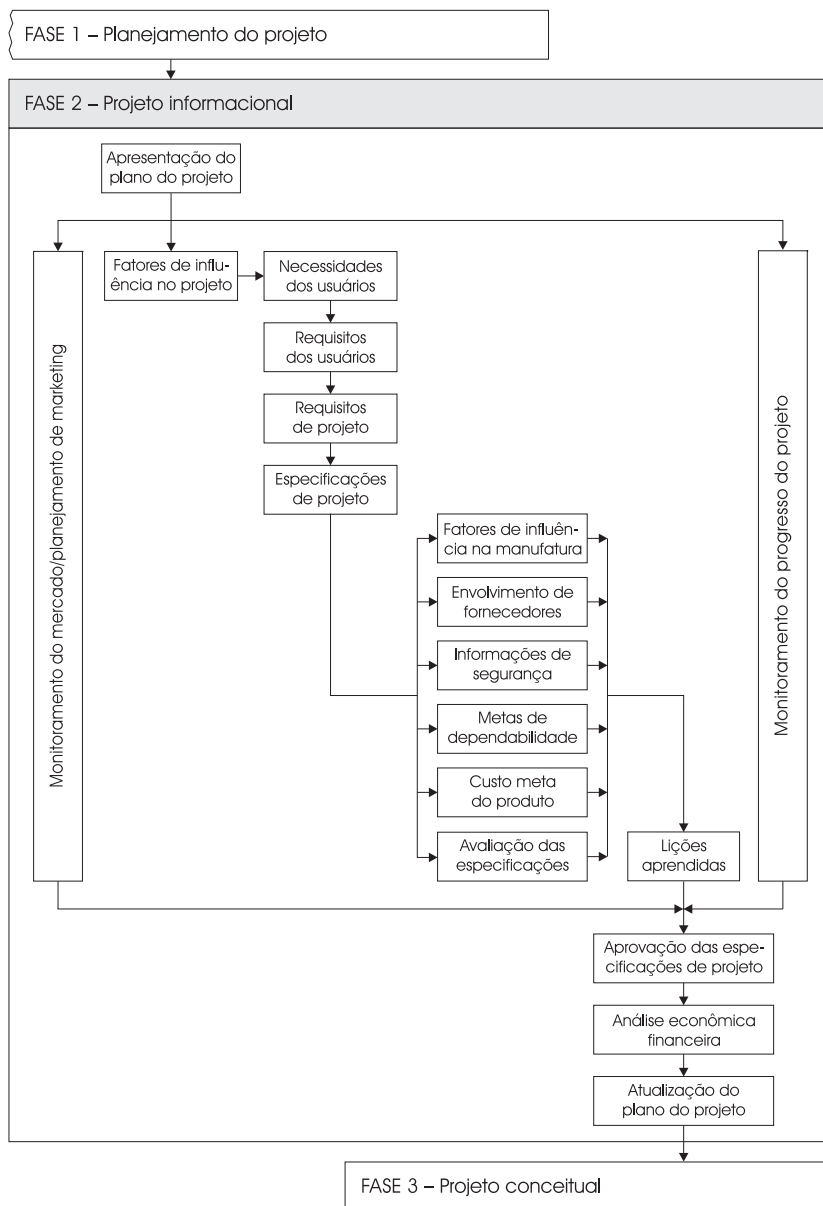


Figura 2.17 Fluxograma da fase de projeto informacional.

Da mesma forma que na fase anterior, as melhores práticas relacionadas à realização das tarefas da fase são registradas para incorporação a novos projetos como lições aprendidas. Esta mesma atividade é válida para as demais fases do desenvolvimento do projeto do produto e, portanto, não será mais repetida no texto a seguir.

Para concluir a fase de projeto informacional, as especificações de projeto do produto são submetidas à aprovação, considerada como o critério que autoriza o progresso para a fase seguinte, e são realizadas as análises econômica e financeira e a atualização do plano do projeto. O monitoramento do progresso do projeto é realizado simultaneamente às tarefas da fase. Finalmente, o comprometimento das áreas envolvidas no desenvolvimento é obtido através da avaliação e tomada de decisão de aprovação de passagem de fase. Um maior detalhamento desta fase está apresentado no Capítulo 5, que trata do processo de obtenção das especificações de projeto.

2.4.3 Fase 3 – Projeto conceitual

Esta fase destina-se ao desenvolvimento da concepção do produto, conforme Figura 2.18 e detalhamento na Tabela A2 do Apêndice. Essa fase do projeto do produto é iniciada com a orientação da equipe de desenvolvimento a respeito das atualizações do plano do projeto.

Para atingir o propósito da fase são realizadas diversas tarefas que buscam, primeiramente, estabelecer a estrutura funcional do produto. Essa atividade envolve a definição da função global a ser executada, bem como de suas subfunções. Determinadas as funções a serem realizadas pelo produto, parte-se para o estudo de estruturas funcionais alternativas, com o objetivo de selecionar a mais adequada. Sobre a estrutura funcional selecionada são desenvolvidas concepções alternativas. Paralelamente às atividades da fase, o planejamento de marketing é continuado, sendo o mercado monitorado para a identificação de variações que possam influenciar no desenvolvimento da concepção. Para a seleção da concepção faz-se uma análise comparativa entre as alternativas considerando: as especificações de projeto; o custo meta; os riscos de desenvolvimento (do projeto do produto e do plano de manufatura – complexidade, prazo, custo, envolvimento de fornecedores etc.); e as metas de qualidade, de segurança e de dependabilidade.

Uma vez selecionada a concepção do produto, iniciam-se os estudos para identificação dos processos de fabricação (novos ou conhecidos, internos ou externos) possíveis de serem utilizados. Simultaneamente, são definidos os prazos junto aos fornecedores para o desenvolvimento do projeto preliminar e detalhado das subfunções especificadas na estrutura funcional, e é realizado estudo inicial de segurança na concepção selecionada. Antes da aprovação da concepção, a mesma é avaliada quanto ao atendimento ao escopo do projeto.

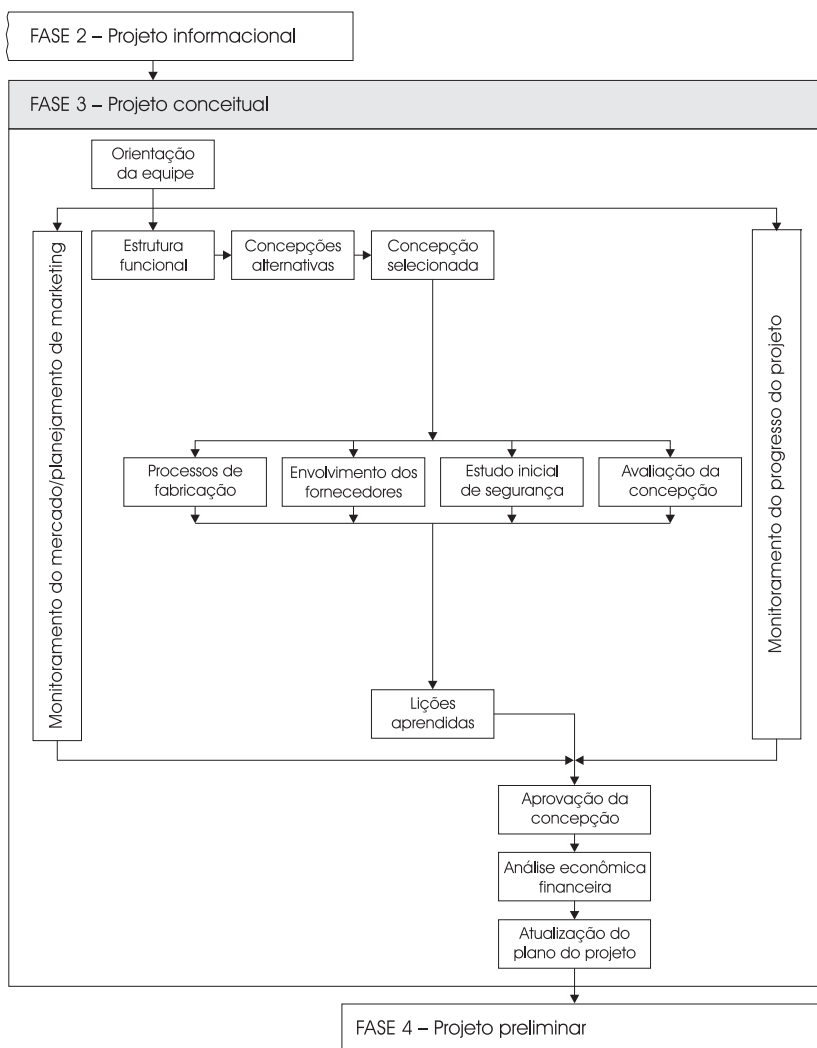


Figura 2.18 Fluxograma da fase de projeto conceitual.

Na conclusão das atividades da fase de projeto conceitual, a concepção é submetida à aprovação. A concepção aprovada é o critério que autoriza o progresso para a fase seguinte. São realizadas ainda a análise e atualização econômica e financeira do plano do projeto. O monitoramento do progresso do projeto é feito simultaneamente às tarefas da fase. O comprometimento das áreas envolvidas no desenvolvimento é obtido por meio da assinatura da ficha de aprovação de passagem de fase.

Esta fase tem sua base de conhecimento desenvolvida nos Capítulos 6 a 10. Os Capítulos 6 e 7 tratam de métodos de geração de concepções. Os Capítulos 8 e 9 consideram os aspectos de seleção da melhor concepção e o Capítulo 10 trata da proteção da inovação e dos aspectos éticos envolvidos no desenvolvimento do produto.

2.4.4 Fase 4 – Projeto preliminar

Esta fase destina-se ao estabelecimento do leiaute final do produto e à determinação da viabilidade técnica e econômica, conforme a Figura 2.19, detalhada no Apêndice, Tabela A3. Nesta fase da elaboração do projeto do produto, o trabalho é iniciado com a orientação da equipe de desenvolvimento a respeito das atualizações do plano do projeto.

Para estabelecer o leiaute final, as tarefas realizadas são: identificação das especificações de projeto que relacionam os requisitos de forma (dimensões), leiaute (posição), material, segurança, ergonomia e manufatura; definição dos componentes e/ou unidades de grupos existentes a serem utilizados (comprados e/ou desenvolvidos por fornecedores); revisão das patentes e considerações sobre aspectos legais e de segurança; seleção de leiautes alternativos para atender ao número de modelos do produto definidos no planejamento de marketing; estabelecimento das principais dimensões dos componentes, tipo de material, processo de fabricação, tolerâncias; realização de testes com *mock-up* para confirmar o atendimento dos leiautes alternativos às necessidades do mercado; avaliação dos leiautes dimensionais sob o ponto de vista da viabilidade técnica do projeto, dos processos de manufatura, visando à otimização da concepção. Paralelamente às atividades da fase, o planejamento de marketing é continuado, sendo o mercado monitorado para a identificação de variações que possam influenciar no estabelecimento do leiaute final do produto.

Para atender às suas funções, o projeto preliminar faz uso de diferentes tipos de modelos: icônicos, analógicos, numéricos e computacionais, tam-

bém conhecidos como protótipos virtuais, os quais são objetos de estudo nos Capítulos 11 e 12. Uma visão mais ampla desta fase será apresentada no Capítulo 13.

Estabelecido o leiaute final, iniciam-se o desenvolvimento do plano de fabricação e de teste do protótipo e a elaboração da estrutura preliminar

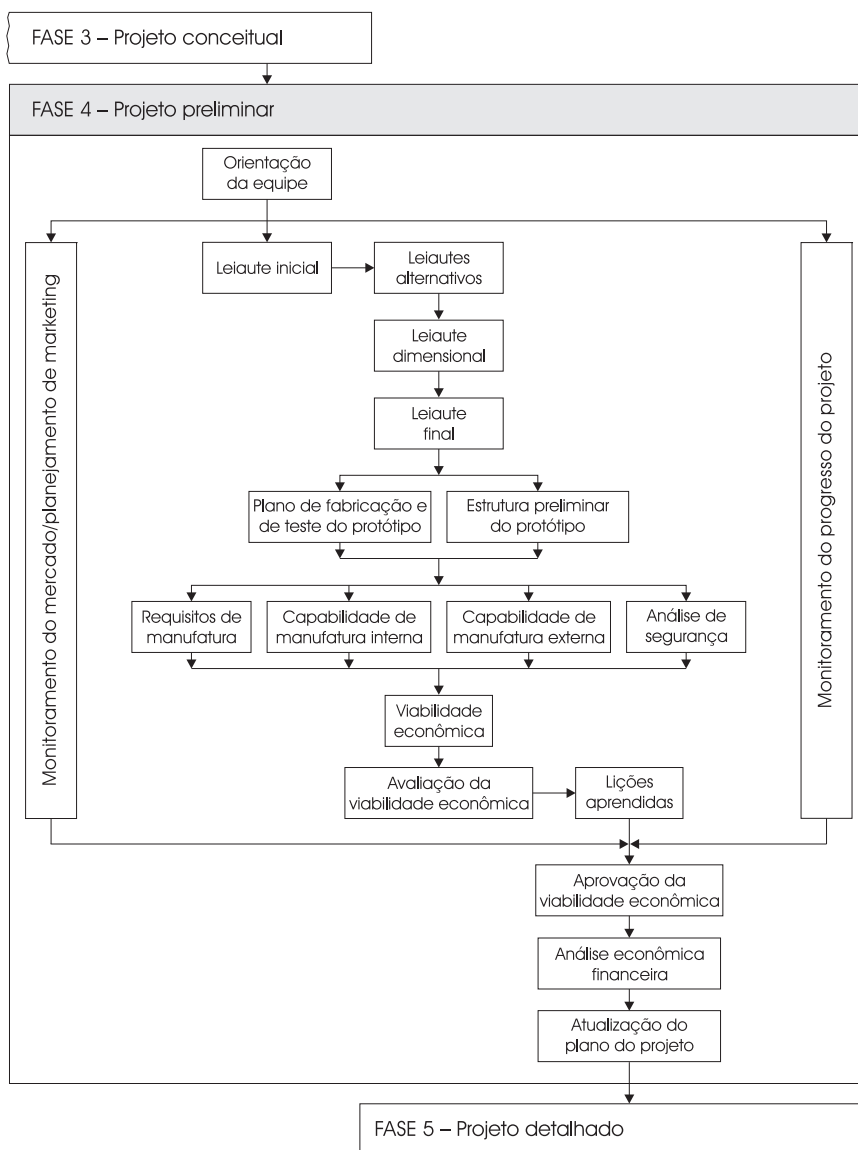


Figura 2.19 Fluxograma da fase de projeto preliminar.

do protótipo, que serve de parâmetro para o cálculo inicial de custo. A partir desse ponto, definem-se os requisitos de manufatura do protótipo, avalia-se a capacidade de manufatura interna e externa dos componentes e realiza-se a análise de segurança sobre o leiaute final. Na seqüência, determina-se a viabilidade econômica. Antes da aprovação da viabilidade econômica, a mesma é avaliada quanto ao atendimento ao plano estratégico de negócio da empresa.

Para finalizar a fase de projeto preliminar, a viabilidade econômica é submetida à aprovação, sendo este o critério que autoriza o progresso para a fase seguinte. São realizadas a análise econômica e financeira e a atualização do plano do projeto. O monitoramento do progresso do projeto é feito simultaneamente às tarefas da fase. Com a assinatura da ficha de aprovação de passagem de fase tem-se o comprometimento dos membros da equipe de desenvolvimento nesta fase.

2.4.5 Fase 5 – Projeto detalhado

A fase da elaboração do projeto detalhado do produto destina-se a vários propósitos: aprovação do protótipo; finalização das especificações dos componentes; detalhamento do plano de manufatura; e preparação da solicitação de investimento, como está indicado na Figura 2.20 e na Tabela A4 do Apêndice. Após a orientação da equipe a respeito das atualizações do plano do projeto, o protótipo é construído e são concluídos os testes e ensaios de laboratório e de campo, de acordo com os planos de fabricação e de teste emitidos na fase anterior. Durante a realização dos testes, são aplicadas diversas análises, como a de segurança do protótipo e/ou de componentes do produto.

Paralelamente à construção, ao teste e à aprovação do protótipo, é concluída a otimização das especificações dos componentes. Na seqüência, a estrutura do produto é completada, os componentes certificados, o plano de manufatura detalhado e as especificações técnicas fixadas. Nesta fase é iniciada a elaboração do manual de instruções, do manual de assistência técnica e do catálogo de peças.

Concluídos o projeto do produto e o plano de manufatura, iniciam-se a revisão da documentação gerada e a implementação do controle das mudanças do projeto. A partir do projeto do produto e do plano de manufatura é preparada a solicitação de investimento. Antes da aprovação da

solicitação de investimento, a mesma é avaliada quanto ao atendimento ao plano estratégico de negócio da empresa.

No encerramento da fase de projeto detalhado, a solicitação de investimento é submetida à aprovação, sendo este o critério que autoriza o progresso para a fase seguinte. São finalizadas as análises econômica e

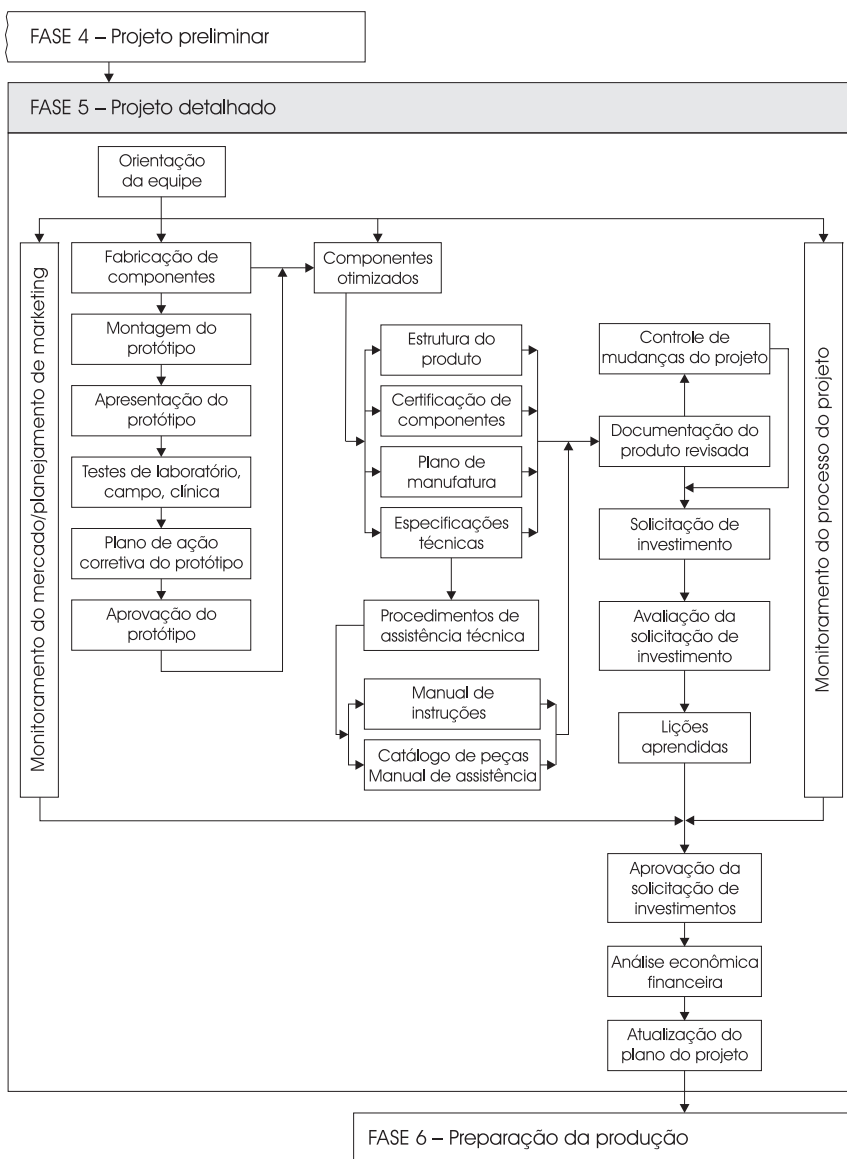


Figura 2.20 Fluxograma da fase de projeto detalhado.

financeira do projeto do produto e a atualização do plano do projeto. O monitoramento do progresso do projeto é realizado simultaneamente às tarefas da fase. A decisão de passagem para fase de produção é submetida à aprovação da equipe de desenvolvimento.

2.4.6 Fase 6 – Preparação da produção

Esta fase trata da preparação da produção do produto e da implementação do planejamento de marketing, conforme mostrado na Figura 2.21. Esta é a fase em que se tem início a macrofase da implementação do lote inicial. Após a orientação da equipe a respeito das atualizações do plano do projeto, diversas atividades são realizadas simultaneamente com o objetivo de preparar a produção para a realização do teste de montagem. Essas atividades incluem tipicamente: elaboração da documentação de montagem; liberação para construção de ferramental; compra, recebimento, instalação, teste, preparação das máquinas operatrizes, dos dispositivos e ferramentas para a implementação da linha de produção e montagem do lote piloto; e desenvolvimento do plano de produção e da programação do lote piloto.

Durante a produção do lote piloto, os procedimentos de montagem são testados para verificação de não conformidades no processo e, também, para treinar o pessoal responsável pela montagem. Os produtos produzidos no lote piloto são analisados e comparados com a estrutura do produto. Caso necessário, novos testes de laboratório e de campo são realizados com produtos do lote piloto, assim como testes de homologação e/ou ensaios de certificação de conformidade. Outras atividades ocorrem em paralelo, tais como: revisão do plano de manufatura; implementação do plano de qualidade; conclusão da elaboração dos procedimentos de assistência técnica; treinamento das áreas de vendas e pós-vendas, bem como das concessionárias.

A revisão da documentação do projeto do produto e do plano de manufatura é encerrada nesta fase, e os custos e investimentos envolvidos no desenvolvimento do produto são rastreados. A partir desse ponto é elaborada a liberação para lançamento do produto, que descreve suas características.

Para encerrar as atividades da fase de preparação da produção, a liberação do produto é submetida à aprovação, sendo este o critério que

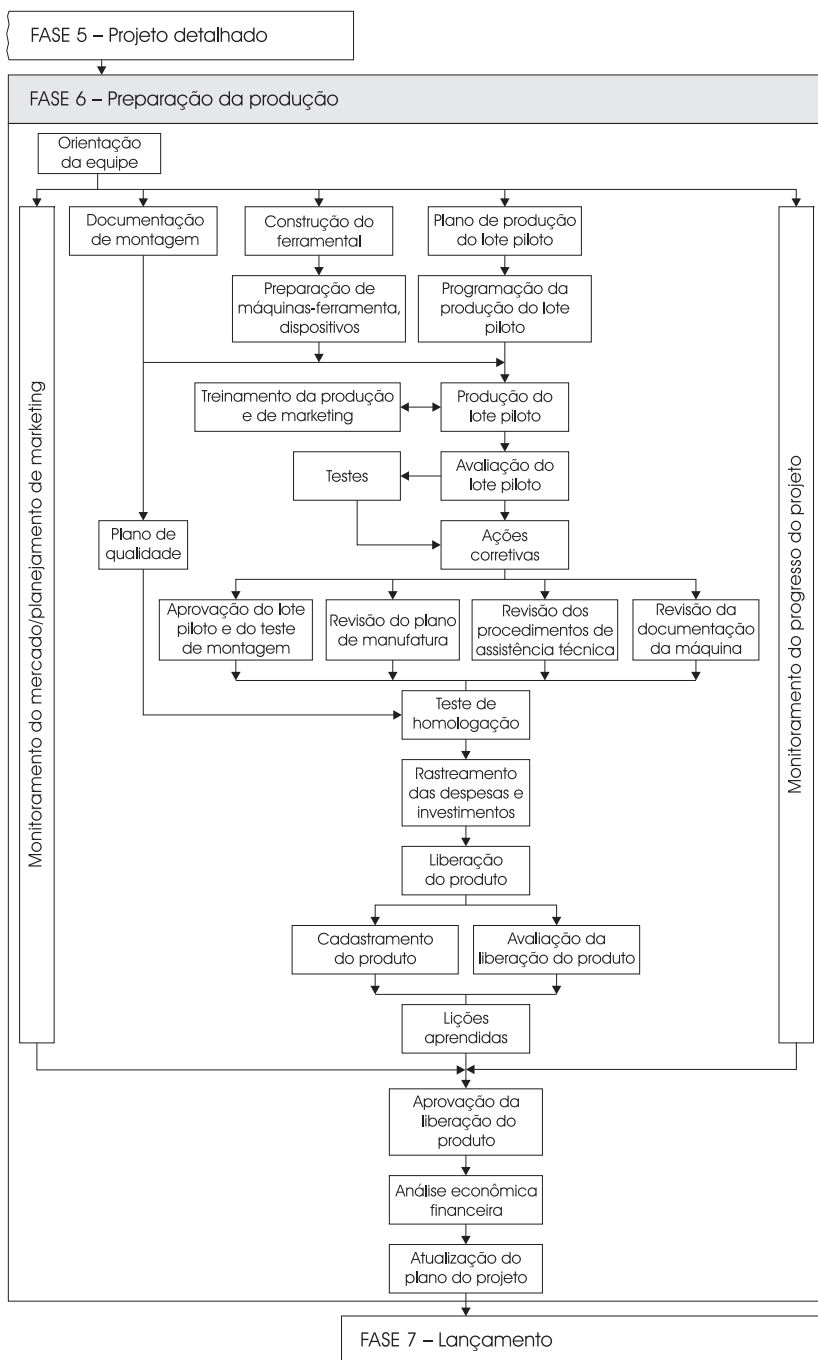


Figura 2.21 Fluxograma da fase de preparação da produção.

autoriza o progresso para a fase seguinte. São realizadas a análise econômica e financeira do projeto e a atualização do plano do projeto. O monitoramento do progresso do projeto é feito simultaneamente às tarefas da fase. O comprometimento das áreas envolvidas no desenvolvimento é obtido com a promoção do consenso sobre a ficha de aprovação de passagem de fase.

2.4.7 Fase 7 – Lançamento do produto

Nesta fase é efetuado o lançamento do produto no mercado (Figura 2.22). Sendo esta a segunda fase da implementação do lote piloto, é nela que é realizada a produção do lote inicial. Após a orientação da equipe a respeito das atualizações do plano do projeto, segue a implementação do planejamento de marketing, com a emissão do material promocional do produto e da literatura técnica para divulgação comercial do produto.

A definição da data de início da produção e a revisão do volume de vendas, para a definição do volume de produção, marcam o começo da preparação da produção. Segue com revisão da aprovação final (certificação) dos componentes para produção seriada, elaboração do cronograma de implantação da fabricação dos itens, programação da produção do lote inicial e revisão do ferramental de auxílio à produção.

Uma vez iniciada a produção na fábrica e nos fornecedores, é dado acompanhamento à produção do lote inicial para verificação de não conformidades. Estando dentro dos padrões de qualidade, é elaborada a liberação do lote inicial do produto, o qual é avaliado quanto ao atendimento ao escopo do projeto. Para encerrar as atividades da fase de lançamento, a liberação do lote inicial é submetida à aprovação, sendo este o critério que autoriza o progresso para a fase seguinte.

O lançamento no mercado é realizado através da apresentação do produto aos consumidores ou usuários, concessionários, vendedores, imprensa, entre outros. Há então a comercialização do lote inicial, que passa a ser acompanhada pela área de pós-venda. As análises econômica e financeira do projeto são encerradas nesta fase, e o plano do projeto é atualizado para dirigir as atividades da última fase do processo de desenvolvimento. O monitoramento do progresso do projeto é realizado simultaneamente às tarefas da fase. O comprometimento das áreas envolvidas no desenvolvimento é obtido através da assinatura da ficha de aprovação de passagem de fase.

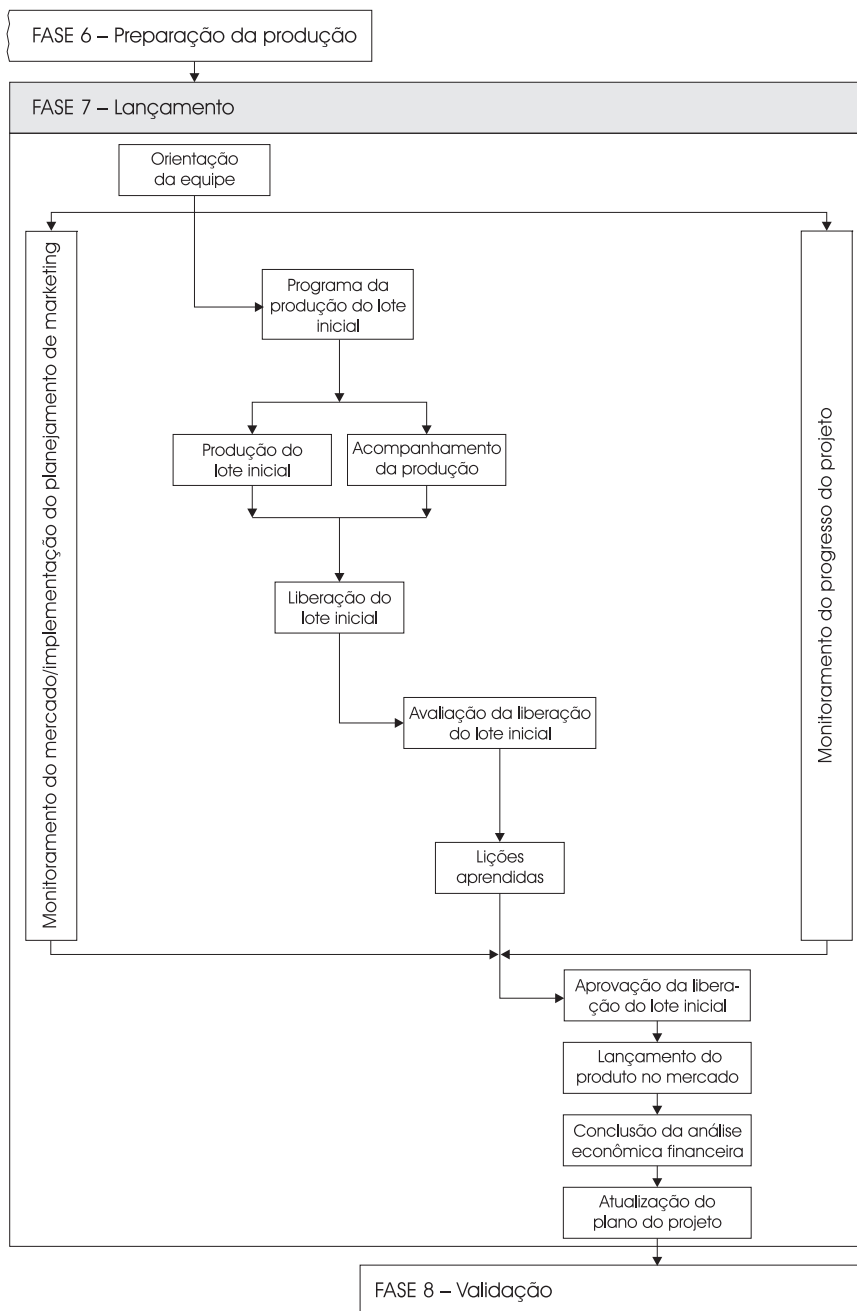


Figura 2.22 Fluxograma da fase de lançamento.

2.4.8 Fase 8 – Validação do produto

A última fase do desenvolvimento do produto trata da validação do produto junto aos usuários e à auditoria e da validação do projeto junto ao cliente direto (Figura 2.23). É nesta fase que o projeto é encerrado. Após a orientação da equipe a respeito das atualizações do plano do projeto, são realizadas atividades relacionadas à comercialização. Elas envolvem tipicamente a implementação do plano para avaliação da satisfação dos consumidores e/ou usuários, o monitoramento da performance do produto, das informações sobre segurança na utilização e operação e da ocorrência de acidentes, entre outros.

Para a validação do produto são definidos os itens a examinar e os critérios de avaliação. A validação é feita sobre os produtos do lote inicial comercializado junto aos usuários. Posteriormente é realizada a avaliação final da validação do produto, que consiste na análise do relatório de validação. Da análise resultam a definição de ações corretivas para os problemas identificados, a definição dos prazos para a sua implementação e a implementação propriamente dita. Na seqüência, inicia-se o planejamento para o alcance das metas de melhoria contínua, tais como redução do custo, melhoria das características do produto e aumento da performance.

Para encerrar as atividades da fase de validação, o monitoramento do progresso do projeto é concluído e o resultado do projeto – relatórios de validação do produto e de progresso do projeto – é submetido à auditoria e à validação junto ao usuário direto ou patrocinador. Realizada a auditoria do projeto, é assinado o documento de aceitação formal do resultado do projeto e é emitida a validação do projeto do produto. Neste momento, os contratos pendentes são liquidados, é realizada a prestação de contas do projeto, a equipe de desenvolvimento é desmobilizada, bem como sua estrutura e projeto são encerrados.

2.5 Resumo

No presente capítulo foram apresentados aspectos referentes às principais estruturas de metodologias ou procedimentos de desenvolvimento de projeto de produtos, propostas por diferentes autores nos últimos 40 anos. Os principais resultados aqui descritos podem ser resumidos como segue:

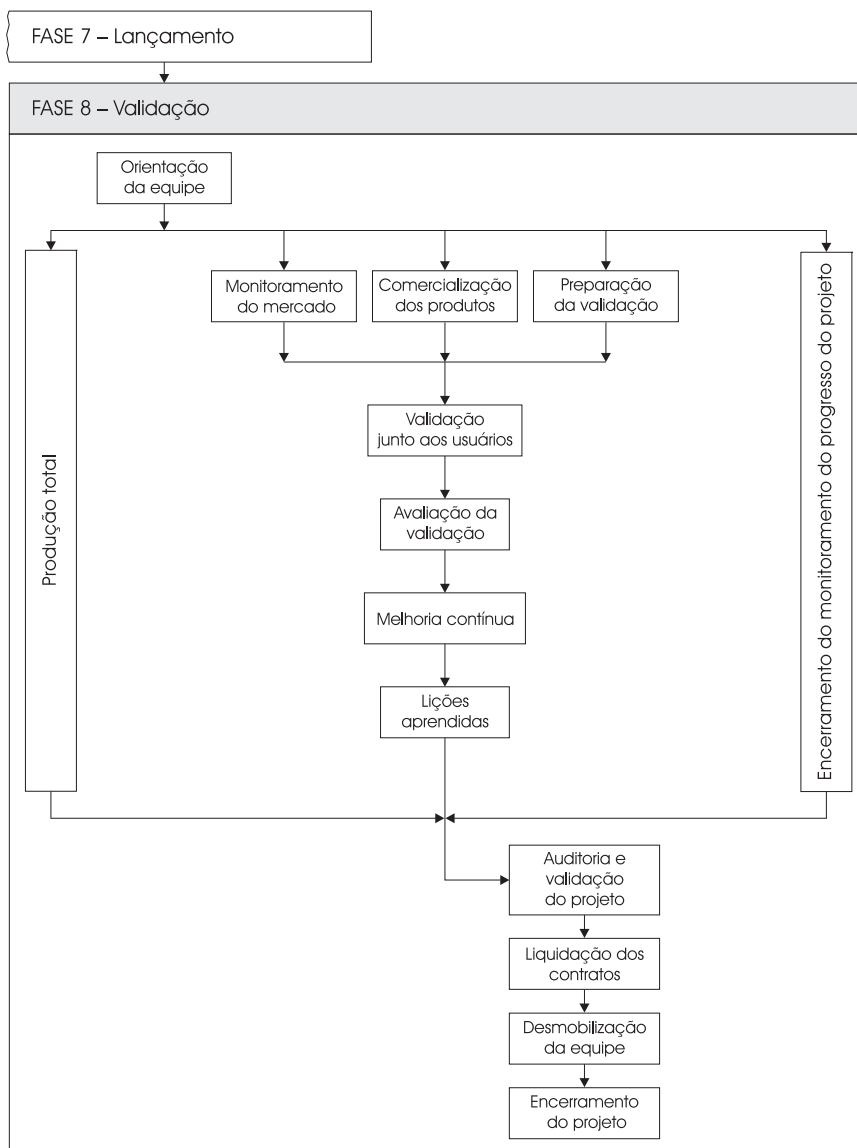


Figura 2.23 Fluxograma da fase de validação.

1. *As metodologias de projeto de produtos industriais evoluíram, de um primeiro estágio a partir de metodologias prescritivas, para um estágio intermediário de metodologias de projeto para o ciclo de vida do produto, até o estágio atual de engenharia simultânea ou de desenvolvimento integrado do projeto de produtos.*

2. *Entre as metodologias prescritivas do primeiro estágio de evolução, destacam-se as seguintes estruturas do processo de desenvolvimento do projeto: de Asimov, que primeiro publicou seu modelo em 1962, com três fases de projeto e quatro fases de planejamento do pós-venda; de Woodson, que divulgou em 1966 seu modelo com quatro fases, viabilidade de projeto, projeto preliminar, projeto detalhado e revisão do projeto; de Coryell, que apresentou em 1967 um modelo com doze passos para o processo de projeto e destacou cinco pontos de revisão, em que as soluções são analisadas, avaliadas e comparadas com os requisitos de projeto, seguindo em frente, por meio das válvulas, somente as soluções que atendem a todos os requisitos e restrições de projeto; e, finalmente, em 1977, de Pahl e Beitz, que apresentaram sua estrutura com quatro fases, definição da tarefa, desenvolvimento da concepção, projeto preliminar e projeto detalhado.*
3. *Das metodologias prescritivas, a que obteve maior reconhecimento foi a de Pahl e Beitz, considerada, até recentemente, a mais apropriada para o desenvolvimento de sistemas técnicos, tais como máquinas e equipamentos.*
4. *As metodologias prescritivas apresentam, adequadamente, o desdobramento do processo de projeto, ou seja, apresentam o que fazer, mas, no que se refere a quando fazer, são do tipo sequencial, o que demanda um maior tempo de desenvolvimento e mais modificações de projeto para atender à conformidade do produto.*
5. *A metodologia de projeto proposta por Blanchard e Fabrycky (1990), publicada em 1980 em sua primeira edição, é uma evolução em relação às demais metodologias prescritivas, porque considera, concomitantemente em todas as tomadas de decisão ao longo do processo de projeto, os requisitos e as restrições de todas as fases do ciclo de vida do produto e já considera uma equipe de projeto.*
6. *A engenharia simultânea é, segundo Sprague, Singh e Wood (1991), uma abordagem sistemática para o projeto simultâneo e integrado de produtos e de processos relacionados, incluindo manufatura e suporte. Procura considerar todos os elementos do ciclo de vida do produto, desde a concepção até a disposição, incluindo qualidade, custo, programação e requisitos dos usuários.*
7. *A modelagem do processo de trabalho, no contexto da engenharia simultânea, deve apresentar as seguintes características: uma estrutura de relacionamentos entre a organização, o produto que está sendo desenvolvido, os*

recursos disponíveis e o fluxo de trabalho; uma decomposição hierárquica do processo, possibilitando a identificação das interfaces entre as equipes de trabalho; permitir a distribuição paralela das tarefas para o trabalho simultâneo das equipes durante a realização das respectivas tarefas; possibilitar o estabelecimento de diagramas de fluxo de informação para destacar quem faz (pessoa ou equipe) determinada atividade e a seqüência dos tempos nos quais as atividades são realizadas; o modelo do processo deve permitir a evolução progressiva à medida que o produto evolui através dos vários estágios de desenvolvimento.

8. *A engenharia simultânea (ES) tem como objetivo primeiro desenvolver o projeto de um produto, reduzindo tempo e custo, e aumentar sua qualidade, utilizando equipe de projeto multidisciplinar ou multifuncional.*
9. *A implantação da ES na empresa traz muitas dificuldades, advindas principalmente das necessidades de mudanças no modo de trabalho de uma equipe com diferentes funções e formações dentro da empresa e até de diferentes culturas dos colaboradores. Por essa razão, as possíveis falhas e barreiras dessa implantação devem ser estudadas com todo o cuidado para minimizar seus efeitos negativos.*
10. *As falhas na implantação da ES na empresa podem ser classificadas como: de iniciação; de preparação e planejamento do processo de implantação; e de implantação propriamente dita.*
11. *As falhas na iniciação do processo de introdução da engenharia simultânea estão relacionadas a: forma de avaliação dos possíveis custos e benefícios; escolha do adequado promotor da introdução da ES na empresa; falta de objetivos claros e bem definidos ou uma visão adequada do processo; falta e busca de experiência.*
12. *Na preparação e no planejamento da implantação da ES, as principais falhas advêm das seguintes origens: prioridade dada pela alta gerência; cooperação entre as diferentes áreas funcionais da empresa; formação do grupo ou equipe de trabalho multidisciplinar; paralisia cultural ou dificuldade de assimilar novas idéias ou modos de trabalho; grande variedade de ferramentas e escolha das mais apropriadas; visão e adoção da tecnologia apropriada na solução do problema; data ou oportunidade de início de implantação da ES; medo do insucesso; quem estabelece as especificações de projeto, a equipe de desenvolvimento ou outro grupo; e importância dada ao lançamento do projeto de implantação da ES.*

13. *Na execução do plano de implantação da ES as principais falhas têm origem nos seguintes aspectos: grau de envolvimento e comprometimento da média gerência das áreas funcionais da empresa; definição correta das atribuições e responsabilidades dos membros da equipe; expansão e aprendizado na execução do plano.*
14. *Princípios básicos para o sucesso na formação de equipes multidisciplinares são: formar as equipes com base em objetivos comuns e respeito por todas as áreas representadas; garantir a participação de representantes de todas as grandes áreas da organização; entendimento comum e uniforme sobre ES; a forma como o consenso para a convergência de soluções é obtido deve ser bem entendida por todos; o consenso prematuro e fácil deve ser evitado; definir de modo criterioso os trabalhos que devem ser feitos individualmente e aqueles que devem ser feitos pela equipe; adotar métodos sistemáticos; estimular a comunicação formal e informal; selecionar pelo menos alguns dos membros da equipe segundo aptidões e especialidades; desenvolver uma liderança desde o início.*
15. *Os principais benefícios da ES são: o desenvolvimento dos sistemas de produção e das áreas de apoio logístico tem um início mais cedo; a análise dos aspectos relacionados ao produto ocorre simultaneamente entre projeto, produção e logística, como um sistema único; facilidade de obter um bom projeto para manufatura e apoio logístico; a produção e as pessoas das áreas de apoio ganham um claro entendimento do projeto e comprometem-se com seu sucesso; as modificações no protótipo são reduzidas porque o projeto se torna mais maduro desde as fases iniciais.*
16. *O processo de desenvolvimento integrado de produtos (PRODIP) apresenta três macrofases: planejamento do projeto; elaboração do projeto do produto; e planejamento da implementação. A macrofase de elaboração do projeto do produto é decomposta nas seguintes fases: projeto informacional; projeto conceitual; projeto preliminar; projeto detalhado. A macrofase de implementação é decomposta nas fases de preparação da produção, do lançamento e da validação do produto.*
17. *O modelo de referência PRODIP apresenta o processo de desenvolvimento do produto sob as seguintes dimensões: o processo é desdobrado em tarefas; definem-se as entradas para a execução das tarefas; são identificados os domínios de conhecimento para a realização das tarefas; apresentam-se mecanismos (métodos e ferramentas) para a execução das tarefas; identifica-se o*

monitoramento da qualidade de execução das tarefas por meio de controles; e, finalmente, apresentam-se os resultados das tarefas com saídas.

2.6 Problemas e temas de discussão

1. Este capítulo descreve metodologias de desenvolvimento de projeto de produtos industriais. Quais são os elementos principais que uma metodologia deve conter e, segundo sua opinião, qual deve ser o nível de desdobramento ou detalhamento para que a mesma seja compreensível e eficaz?
2. Quais são os principais motivos que levaram, na atualidade, as empresas mais competitivas a adotarem procedimentos sistematizados e integrados de desenvolvimento do projeto de produtos, especialmente aqueles do tipo de sistemas técnicos?
3. As empresas têm relatado resultados favoráveis consideráveis no desenvolvimento de produtos com a adoção de metodologias sistematizadas. Descreva pelo menos cinco resultados de destaque obtidos com o uso dessas metodologias.
4. Certos profissionais, principalmente da área de desenho industrial, têm criticado o uso de metodologias de projeto. Afirmam que, ao adotar um procedimento sistematizado do tipo prescritivo, isso prejudica a criatividade e que as maiores criações surgiram de forma caótica. De acordo com sua opinião, quais seriam as principais razões dessas críticas? Essas razões têm justificativas?
5. Faça uma breve descrição da evolução, nos últimos trinta anos, das características das propostas de metodologias de desenvolvimento do projeto de produtos industriais.
6. O que você entende por ciclo de vida do produto e projeto para o ciclo de vida?
7. O que são metodologias prescritivas de projeto de produtos industriais? Quais são as principais características dessas metodologias?
8. Quais são as principais razões que levaram a metodologia de Pahl e Beitz a ser a mais referenciada metodologia prescritiva de desenvolvimento do projeto de produtos?
9. Uma metodologia de projeto deve conter diretrizes sobre o que fazer, para quem fazer, quando fazer, com que fazer e como fazer. Analise

- as metodologias prescritivas apresentadas no item 2.2 e faça comentários sobre o atendimento às diretrizes dessas metodologias.
10. Apresente no mínimo três definições de engenharia simultânea encontradas na literatura. Comente os principais aspectos de cada uma.
 11. Quais são as principais características que diferenciam as metodologias prescritivas de desenvolvimento do projeto de produtos industriais, descritas no item 2.2, da engenharia simultânea, descrita no item 2.3.
 12. Cite benefícios advindos da aplicação da engenharia simultânea no desenvolvimento de produtos industriais.
 13. Na engenharia simultânea, o elemento principal é a adoção da equipe multidisciplinar ou multifuncional. Quais são as principais características dessa equipe?
 14. O que significa engenharia simultânea baseada na equipe e engenharia simultânea baseada em recursos?
 15. Segundo relatos de pesquisadores e de empresas, a implantação da engenharia simultânea tem mostrado muitas dificuldades. Quais são as cinco principais dificuldades e apresente as razões que o levaram a essas escolhas.
 16. Alguns autores consideram a engenharia simultânea uma filosofia de trabalho e não uma metodologia de desenvolvimento do projeto de produtos. Segundo sua opinião, é uma filosofia ou uma metodologia? Justifique suas afirmações.
 17. Faça uma análise crítica do modelo integrado para o projeto de produto apresentado esquematicamente na Figura 2.11.
 18. No modelo genérico de desenvolvimento integrado de produtos da Figura 2.14, têm-se indicadas áreas de conhecimento nas quais a equipe de desenvolvimento deve ter capacitações. Quais deveriam ser as especialidades dos membros da equipe de desenvolvimento para desenvolver o projeto de uma máquina agrícola, uma semeadora de plantio direto?
 19. Faça uma análise crítica sobre o desdobramento das atividades, os mecanismos e os instrumentos usados para a realização e o controle das atividades de desenvolvimento da fase de projeto informacional do modelo PRODIP.

20. Faça uma descrição do processo de otimização desenvolvido na fase de projeto preliminar do modelo de referência PRODIP.

2.7 Referências bibliográficas

- ASIMOV, M. *Introduction to design: fundamentals of engineering design*. New Jersey, Prentice Hall, 1962.
- BACK, N. *Metodologia de projeto de produtos industriais*. Rio de Janeiro, Guanabara Dois, 1983.
- BLANCHARD, B. J.; FABRYCKY, W. J. *Systems engineering and analysis*. 2.ed. New Jersey, Prentice Hall, 1990.
- CHIUSOLI, R. F. Z.; TOLEDO, J. C. "Engenharia simultânea: estudo de casos na indústria brasileira de autopeças". In: *Anais do II Congresso Brasileiro de Gestão de Desenvolvimento de Produtos*. São Carlos, 2000.
- CLAUSING, D. *Total quality development – a step-by-step guide to world-class concurrent engineering*. New York, ASME Press, 1994.
- CORYELL, A. E. "The design process: 12 steps that turn ideas into hardware". *Machine Design*. p.154-161, 1967.
- EVANS, S. "Implementation: common failure modes and success factors". In: PARSEI, H. R.; SULLIVAN, W. G. (Eds.). *Concurrent engineering: contemporary issues and modern design tools*. London, Chapman and Hall, 1993, p.42-60.
- HUNDAL, M. S. *Systematic mechanical designing: a cost and management perspective*. New York, ASME Press, 1997.
- HYEON, H. J.; PARSEI, H. R.; SULLIVAN, W. G. "Principles of concurrent engineering". In: PARSEI, H. R.; SULLIVAN, W. G. (Eds.). *Concurrent engineering: contemporary issues and modern design tools*. London, Chapman and Hall, 1993, p.3-23.
- ISHIL, K.; HORNBERGER, L.; LIOU, M. "Compatibility-based design for injection molding". *Proceedings of the 1989 ASME Winter Annual Meeting: Concurrent Product and Process Design*. San Francisco, 1989, p.153-180.
- MADDUX, G. A.; SOUDER, W. E. "Overcoming Barriers to the Implementation of Concurrent Engineering". In: PARSEI, H. R.; SULLIVAN, W. G. (Eds.). *Concurrent Engineering: contemporary issues and modern design tools*. London, Chapman and Hall, 1993, p.61-74.

- MILLER, L. C. G. *Concurrent engineering design: integrating the best practices for process improvement*. Dearborn, Society of Manufacturing Engineers, 1993.
- PAHL, G.; BEITZ, W. *Engineering design: a systematic approach*. 2.ed. London, Springer Verlag, 1996.
- PRASAD, B.; WANG, F.; DENG, J. "A concurrent workflow management process for integrated product development". *Journal of Engineering Design*. v.9, n.2, 1998, p.121-135.
- ROMANO, L. N. "Modelo de referência para o processo de desenvolvimento de máquinas agrícolas". Florianópolis, 2003. 266p. Tese (doutorado). PPGEM – UFSC.
- SMITH, R. P. "The historical roots of concurrent engineering fundamentals". *IEEE Transactions on Engineering Management*, v.44, n.1, 1997, p.67-78.
- SPRAGUE, R. A.; SINGH, K. J.; WOOD, R. T. "Concurrent engineering in product development". *IEEE Design and Test of Computers*, v.8, n.1, 1991, p.6-13.
- VDI 2222. *Konstruktionsmethodik, konzipieren technischer Produkte*. Düsseldorf, VDI – Verlag, 1977.
- VDI 2221. *Methodik zum Entwickeln und Konstruieren Technischer Systeme und Produkte*. Düsseldorf, VDI – Verlag, 1985. 35p.
- WOODSON, T. T. *Introduction to engineering design*. New York, McGraw-Hill, 1966.
- YAZDANI, B.; HOLMES, C. "Four models of design definition: sequential, design centered, concurrent and dynamic". *Journal of Engineering Design*. v.10, n.1, 1999, p.25-37.

Capítulo 3

Gerenciamento do desenvolvimento integrado de produtos

3.1 Introdução

Várias condições têm contribuído para a aplicação de conhecimentos de gerenciamento de projetos nos processos das organizações. Dentre elas, citam-se a estruturação de organizações com número cada vez menor de pessoas e, em geral, mais trabalho para executar; projetos cada vez mais complexos, com o crescimento constante da necessidade de atender mais rapidamente ao mercado; e os mercados globais, com clientes mais exigentes e tecnologias disponíveis mais avançadas. Essas condições impõem vários desafios às equipes que trabalham em desenvolvimento de produtos, sejam próprios da organização para o trabalho, das soluções e das tecnologias necessárias ao produto, ou como desafios para satisfazer os diferentes interesses no processo de desenvolvimento.

A literatura atual é bastante rica em referências que tratam de conhecimentos sobre o gerenciamento de projetos e muitas empresas já fazem uso desses conhecimentos, métodos e ferramentas para conduzir de forma organizada e controlada seus projetos, entre os quais os de desenvolvimento de produtos.

Por outro lado, sabe-se também que boa parte das empresas não emprega práticas de gerenciamento de projetos, seja por desconhecimento, pela falta de formação de seus profissionais, ou pela inexistência de processos sistematizados de desenvolvimento de produtos nas organizações.

Nesses casos, essas empresas perdem a oportunidade de planejar melhor os trabalhos e os recursos necessários e obter eficiência e eficácia em seus processos, o que as tornaria mais competitivas e aumentaria a chance de sucesso em seus empreendimentos.

Os conceitos de gerenciamento de projetos originaram-se nos EUA, segundo Cotas (1987), no fim dos anos 1950, sendo aplicados em projetos de sistemas de informação e de construção. Porém, alguns autores comentam que a aplicação dos princípios de gerenciamento de projetos remonta à antiguidade, época em que houve grandes construções, como as pirâmides do Egito. Nesses casos, já naquela época, segundo Verzuh (2000), se faziam necessários o planejamento e a coordenação de uma série de recursos para concretizar uma obra.

Alguns marcos importantes nesse campo de conhecimento, cujos resultados são aplicados até hoje, correspondem à proposição de métodos e ferramentas para o gerenciamento de projetos. Cita-se, por exemplo, a proposição do gráfico de Gantt, no início do século XIX, por Henry L. Gantt (Verzuh, 2000), aplicado ao gerenciamento do tempo e que se encontra implementado em vários tipos de *software* atuais de gerenciamento de projetos. Foram desenvolvidos na década de 1950 os métodos conhecidos como CPM (*Critical Path Method - Método do caminho crítico*) e PERT (*Program Evaluation Review Technique - Técnica de revisão e avaliação de programas*). O CPM foi desenvolvido pela DuPont Company em 1956, para aplicação em projetos industriais, e o PERT, pela Marinha americana em 1958, para aplicações em projetos militares.

Na década de 1970, segundo Cotas (1987), o gerenciamento de projetos de construção foi predominante e surgiram técnicas específicas para o gerenciamento de interfaces entre engenharia, compras e construção. Ainda nessa época ocorreram grandes mudanças econômicas causadas pelo aumento da inflação, crise do petróleo, falta de matéria-prima, internacionalização de projetos, aumento da sofisticação e complexidade dos produtos, entre outros, promovendo o aparecimento de novas variáveis no processo de gerenciamento associadas, principalmente, às incertezas dos empreendimentos. Enfatizaram-se, então, proposições relacionadas ao gerenciamento dos riscos em projetos. Especula-se aqui que o escopo do projeto começa a ter um *status* de importância equivalente às variáveis de tempo e custo, inicialmente consideradas, tendo em vista que, com maiores incertezas e riscos, se fez necessário definir melhor e focalizar os objetivos do projeto.

Na década de 1980, as organizações se tornam mais complexas, e departamentalizadas, obrigando a definição de responsabilidades em um ambiente de grande número de atividades e subdivisões, promovendo questões relacionadas à comunicação e ao desdobramento do trabalho. Assim, o fluxo e o acesso às informações tornaram-se importantes para a tomada de decisões, surgindo então sistemas computacionais para facilitar o armazenamento e a recuperação de informações para o gerenciamento de projetos.

Na década de 1990, o consumidor assume papel preponderante nos negócios e nos resultados das organizações, bem como em seu sucesso. A concorrência pela abertura da maioria dos mercados é acirrada, e a variável qualidade passa a ter grande importância no gerenciamento de projetos de desenvolvimento de produtos.

Atualmente, o gerenciamento de projetos tem sido aplicado a praticamente quase todas as áreas das atividades humanas, suportando o planejamento e a tomada de decisões sob as mais variadas condições. Encontram-se associadas, também, abordagens que tratam do gerenciamento do conhecimento, da tecnologia, da criatividade, além das áreas tradicionais relacionadas a gerenciamento de projetos: comunicações, riscos, aquisições etc. Alguns aspectos atuais bastante importantes se referem aos problemas humanos e comportamentais no projeto, como competências, habilidades, motivação e conflitos, tratados, em parte, por áreas como gerenciamento de equipes, de competências e de conflitos, visando a flexibilidade, satisfação pessoal, motivação, eficiência e eficácia nos trabalhos de projeto.

O gerenciamento de projeto tornou-se uma disciplina que é ensinada e pesquisada em várias instituições, promovendo a formação e a certificação de profissionais especializados em planejar, conduzir e controlar projetos em toda a sua extensão. Várias associações foram criadas ao longo do tempo, como o PMI (Project Management Institute – Instituto de gerenciamento de projeto), nos anos 1960, nos Estados Unidos, com o objetivo de promover a área e difundir os conhecimentos e a tecnologia de gerenciamento de projetos.

O gerenciamento de projetos no Brasil, segundo Cotas (1987), seguiu a mesma direção que em outros países. Inicialmente foi aplicado no planejamento e na execução de instalações industriais e no gerenciamento de projeto de hidroelétricas. Um exemplo desta aplicação ocorreu com o projeto de Itaipu.

Neste capítulo serão apresentados os principais conceitos do gerenciamento de projetos e seu enfoque no desenvolvimento de produtos. A ênfase será dada aos assuntos que tratam do escopo do projeto, da estrutura organizacional, das equipes de desenvolvimento de produtos, infraestrutura e do planejamento do processo de desenvolvimento de produtos. As demais áreas do gerenciamento de projetos, como riscos, aquisições, qualidade, comunicações, entre outras, serão brevemente comentadas com indicações de referências mais completas sobre cada um dos assuntos. Finalmente, serão apresentados temas e problemas sobre o gerenciamento do desenvolvimento de produtos para discussão.

3.2 Considerações gerais sobre gerenciamento de projetos

Os conhecimentos e práticas de gerenciamento, de modo geral, foram estabelecidos ao longo do tempo, sob diferentes visões. De acordo com Kerzner (2001), as principais visões ou escolas de gerenciamento são:

- clássica: o gerenciamento é o processo que “faz as coisas acontecerem” com o trabalho de pessoas, operando em grupos organizados. A ênfase está no objetivo final, pouco considerando as pessoas envolvidas;
- empírica: as capacidades gerenciais podem ser desenvolvidas estudando-se as experiências de outros gerentes, considerando situações similares;
- comportamental: primeiramente, são enfatizados os relacionamentos interpessoais entre os indivíduos e seus trabalhos. Em seguida, considera-se o sistema social do indivíduo, em que o gerenciamento se insere em um sistema de relacionamentos culturais, envolvendo mudanças sociais;
- de decisão: o gerenciamento é uma abordagem racional para a tomada de decisão, usando um sistema de modelos e processos matemáticos;
- sistêmica: o gerenciamento é o desenvolvimento de um modelo caracterizado por entradas, processos e saídas, identificando diretamente o fluxo de recursos necessários para atender aos objetivos,

maximizando ou minimizando alguma função objetivo. Também inclui considerações de contingências sob as quais cada situação é única e deve ser otimizada separadamente dentro das restrições do sistema.

Sob tais visões, o gerenciamento de projetos é implementado de várias formas, seja como conhecimento de pessoal qualificado à condução eficaz de projetos, como habilidades e infra-estrutura necessárias para gerenciar projetos, seja na forma de ferramentas e técnicas de apoio ao gerenciamento de projetos. Essas formas podem ser claramente identificadas nas definições propostas para gerenciamento de projetos.

Segundo o PMI (2000), o gerenciamento de projetos consiste na aplicação de conhecimentos, habilidades, ferramentas e técnicas nas atividades de projeto e visa a satisfazer os requisitos de projeto, sendo conduzido sob os processos gerais de iniciação, planejamento, execução, controle e encerramento.

De acordo com Kerzner (2001), o gerenciamento de projetos consiste em planejar, organizar, direcionar e controlar os recursos da organização para satisfazer um objetivo, num tempo relativamente curto, estabelecido para atender a objetivos e metas específicas.

A norma NBR ISO 10006 da ABNT (2000) estabelece que o gerenciamento de projetos inclui planejamento, organização, supervisão e controle de todos os aspectos do projeto, em um processo contínuo, para alcançar seus objetivos.

Por meio das visões e definições anteriores, pode-se inferir e representar alguns elementos básicos associados ao gerenciamento de projetos, conforme mostrado na Figura 3.1.

De acordo com a figura, o projeto pode ser formulado como um processo cujo propósito consiste em estabelecer soluções, devidamente caracterizadas, que representam os objetivos e as metas dos usuários (*stakeholders*), partindo de problemas que estão sujeitos a restrições e são condicionados por requisitos, que são derivados dos interesses de todos os usuários (como será tratado no Capítulo 5, entende-se por usuários todos que tenham algum interesse ou envolvimento ao longo do ciclo de vida de um produto). O gerenciamento de projetos sob essa visão consiste em ações coordenadas, desde o estabelecimento do problema até a formalização e a aprovação final da solução, baseadas em características próprias do ge-

rente e da equipe de projeto, na forma de conhecimentos, habilidades e princípios de gerenciamento para a prática dessas ações, ocorrendo através de métodos e ferramentas de gerenciamento, sendo estes elementos conduzidos sob diferentes visões.

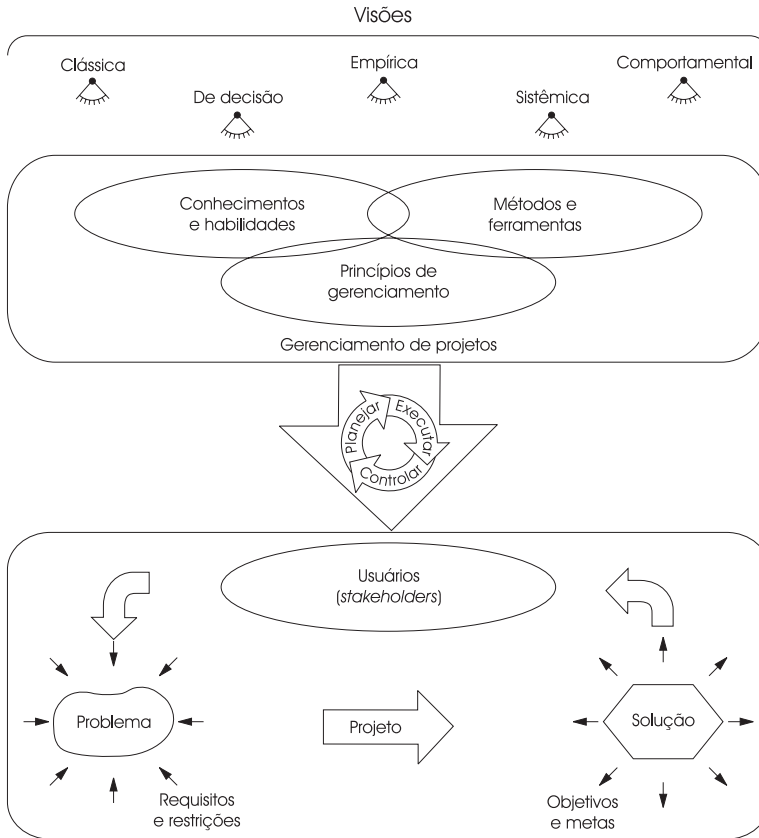


Figura 3.1 Síntese de elementos envolvidos no gerenciamento de projetos.

O projeto, assim, consiste no objeto principal do gerenciamento, definido de várias maneiras, mas com elementos em comum. Por exemplo, segundo Kerzner (2001), um projeto é uma série de atividades e tarefas que tem um objetivo específico que deve ser alcançado dentro de certas especificações; tem datas de início e fim definidas; tem limite de orçamento e consome recursos financeiros e de pessoal, equipamentos etc. Os projetos diferenciam-se das atividades rotineiras da organização porque são únicos e temporários. Típicos exemplos de projeto são: desenvolvimento de um *software*; implantação de um novo sistema de informações na organiza-

ção; construção de edifícios, estradas, pontes, barragens; desenvolvimento de um novo medicamento; melhoramento do serviço de atendimento ao cliente; desenvolvimento de componentes, equipamentos, máquinas etc.

As ações coordenadas do gerenciamento são baseadas em vários processos, os quais são estabelecidos por diferentes modelos, conforme será discutido mais adiante. Esses processos, por sua vez, devem ser conduzidos sob certos princípios para orientar as ações de gerenciamento. De acordo com Wideman (2000), tais princípios não têm sido muito explorados e algumas proposições nesse sentido estão comentadas na Tabela 3.1.

A aplicação de princípios, conhecimentos, habilidades, métodos e ferramentas de gerenciamento se dá pelas ações sistematizadas na forma de processos ou funções de gerenciamento, que têm sido propostas de diferentes formas. De acordo com o PMI (2000), os processos principais são: iniciação, planejamento, execução, controle e encerramento do projeto.

O processo de iniciação considera as ações necessárias para reconhecer que um projeto ou fase de desenvolvimento deve começar e para desenvolver o comprometimento em sua execução. O processo de planejamento consiste em planejar e manter o plano de trabalho necessário para alcançar os objetivos do empreendimento, os quais determinaram o negócio. O processo de execução consiste em ações para coordenar as pessoas e outros recursos para a realização do plano. O processo de controle visa assegurar que os objetivos traçados no plano do projeto estejam sendo satisfeitos, conduzidos na forma do monitoramento, avaliação e ações corretivas, quando necessário. Finalmente, o processo de encerramento formaliza a aceitação dos resultados do projeto ou de cada fase, de forma organizada.

No modelo apresentado por Verzuh (2000), as ações de gerenciamento de projetos são propostas na forma das funções de definição do projeto, de planejamento e de controle. Na definição do projeto busca-se estabelecer os trabalhos necessários, as responsabilidades, as formas de comunicação entre os envolvidos e as regras do projeto. Esses resultados formam base para a função de planejamento, cujo propósito é estabelecer como as metas do projeto deverão ser atendidas diante das limitações impostas. O plano de projeto deverá incluir a quantidade de trabalho, a alocação de recursos, os tempos necessários, o cronograma e o orçamento, bem como as ações diante dos riscos identificados. A função de controle, por sua vez, inclui as atividades para manter o projeto em andamento, visando atender às metas estabelecidas, incluindo medição de progresso, comunicações e interven-

ções corretivas. Essas funções são sequenciais, porém repetidas à medida que o projeto avança.

Tabela 3.1 Princípios de gerenciamento de projetos (adaptado de Wideman, 2000)

Princípios	Comentários
<p>Comprometimento “Deve existir um comprometimento equitativo entre o provedor de recursos e a equipe de desenvolvimento do projeto antes dele existir”</p>	<p>O provedor de recursos é tipicamente chamado de patrocinador ou proprietário do projeto. A equipe de projeto é responsável pelo desenvolvimento de estratégias, planos e controles, pela aplicação de habilidades necessárias e pelo trabalho para converter os recursos nas entregas requeridas. Um compromisso equitativo entre ambas as partes significa que são suficientemente conhecedoras do empreendimento, do processo envolvido e dos riscos associados e que ambos estão dispostos ao desafio</p>
<p>Sucesso “As medidas do sucesso do projeto, ambos do processo e do produto, devem ser definidas no início do projeto como base para as decisões de gerenciamento do projeto e avaliação pós-projeto”</p>	<p>O sucesso do projeto deve ser definido em termos da aceitabilidade dos resultados do projeto, envolvendo escopo, qualidade, relevância, eficácia etc. Também deve ser definido em termos dos processos internos, envolvendo tempo, custo, eficiência etc. Sem concordância quanto aos critérios de sucesso do projeto, não será possível medir seu sucesso final</p>
<p>Compromisso da tétrede “As variáveis do núcleo do gerenciamento de projeto, denominadas de escopo, qualidade, tempo e custo, devem ser mutuamente consistentes e atendíveis”</p>	<p>Essas variáveis são as medidas da eficiência interna do gerenciamento do projeto. Se essas variáveis não forem mutuamente consistentes e atendíveis, o comprometimento não será alcançado e os critérios de sucesso do projeto não serão satisfeitos</p>
<p>Estratégia “Deve ser considerada uma estratégia aplicada de forma progressiva de, primeiramente, planejar e depois executar”</p>	<p>Todo o trabalho de projeto deve primeiramente ser planejado e depois executado. Esse processo sequencial de planejamento-execução deve ser baseado em todo o ciclo de vida do projeto e não deve limitar-se ao nível do projeto, mas deve ser igualmente aplicável em qualquer nível da estrutura hierárquica do projeto</p>

continua

Tabela 3.1 Princípios de gerenciamento de projetos (adaptado de Wideman, 2000) (*continuação*)

Princípios	Comentários
<p>Controle “Devem ser definidos políticas e procedimentos que sejam efetivos e eficientes para conduzir e controlar o comprometimento do projeto”</p>	<p>Os atributos do controle incorporam as considerações de projeto, suas justificativas e uma linha de referência para cada variável do núcleo do projeto, como base para medição do progresso, comparação e ajuste do curso. Os atributos de boas políticas e procedimentos de controle incorporam responsabilidades e papéis claros, delegação de autoridade e processos para gerenciar mudanças no escopo do produto e/ou do trabalho</p>
<p>Comunicação “Deve existir um único canal de comunicação entre o patrocinador do projeto e o líder da equipe de projeto para todas as decisões que afetam o escopo do produto”</p>	<p>Manter a comunicação livre e transparente é indispensável para a coordenação de um conjunto complexo de atividades de projeto, sendo necessária para uma administração efetiva e eficiente do comprometimento do projeto. A equipe de projeto deve ter sempre um representante principal para as comunicações</p>
<p>Ambiente cultural “O gerenciamento deve promover um ambiente cultural informado e com suporte para assegurar que a equipe de projeto esteja hábil para trabalhar nos limites de sua capacidade”</p>	<p>A habilidade da equipe de projeto para produzir resultados efetivos e eficientes é fortemente dependente do ambiente da organização. Esse ambiente incorpora valores e relações internas e externas do projeto. Internamente, o estilo de gerenciamento da equipe deve se adequar ao tipo de projeto e suas fases. Externamente, o gerenciamento da organização, do qual o projeto é parte, deve apresentar suporte e estar livre de obstáculos</p>

Os processos anteriores sistematizam as ações básicas de gerenciamento. No entanto, considerando as relações internas e externas do projeto, existe uma série de outras ações que, segundo o PMI (2000), são incorporadas nas chamadas áreas relacionadas ao gerenciamento de projetos: gerenciamento da integração, do escopo, do tempo, dos custos, da qualidade, dos recursos, das comunicações, dos riscos e das aquisições. A integração dessas áreas e de suas ações visa promover condições para atender de maneira balanceada às principais variáveis de sucesso de dado projeto: escopo, tempo, custo e qualidade.

3.3 Gerenciamento do desenvolvimento integrado de produtos

Os itens anteriores trataram de um breve histórico sobre gerenciamento de projetos e de seus conceitos. Foram abordagens gerais, considerando os projetos nas mais variadas áreas de aplicação. Nesse item, o propósito é focalizar os principais conceitos de gerenciamento de projetos no processo de desenvolvimento integrado de produtos como um dos projetos da organização.

Como visto anteriormente, em Romano (2003), o modelo do processo de desenvolvimento de produto foi proposto para máquinas agrícolas e sua generalização e descrição foram estabelecidas no Capítulo 2, conforme a Figura 2.14.

Como descrito no item 2.4, na fase de planejamento são conduzidas atividades para planejar o desenvolvimento do produto, visando sua execução e controle. Nessa fase, devem ser considerados aspectos relativos ao planejamento estratégico da organização e ao planejamento de portfólio de produtos. O resultado dessa fase é o plano de projeto constituído na forma de formalização do projeto, definição do gerente e da equipe de projeto, escopo do projeto, orçamento geral e cronograma de execução, e demais planos associados, como os de marketing, comunicações, riscos, aquisições e qualidade.

Na fase de elaboração do projeto do produto, incluem-se as fases próprias da execução do projeto para tornar concretas as demandas dos usuários, na forma do produto avaliado técnica e economicamente. São consideradas as fases próprias do processo de projeto do produto, dividido em projeto informacional, conceitual, preliminar e detalhado, conforme o modelo apresentado na Figura 2.14. Nessas fases, as necessidades e os requisitos de projeto do produto são transformados e formalizados em documentos técnicos que representam as soluções geradas para o produto e possibilitam sua realização física.

À elaboração do projeto, seguem as fases de produção do lote piloto, lançamento do produto e validação do projeto como um todo. Dessas, a primeira é responsável pelo planejamento e pela implementação do processo de produção, e a segunda, responsável pelo desenvolvimento do lote inicial de produtos e sua introdução no mercado. Por fim, quando o produto se encontra em processo de comercialização e utilização, essa é

considerada uma fase de validação do projeto, na qual o produto é monitorado e avaliado junto aos consumidores. Também são levados em consideração, nessa fase de validação, o término e a validação do próprio projeto, enquanto negócio da organização, onde os contratos são encerrados, a equipe é desmobilizada e avaliam-se os trabalhos executados, verificando-se o grau de sucesso do empreendimento.

Nota-se, na descrição anterior do processo de desenvolvimento de produtos, que serão muitas as atividades e tarefas envolvidas em cada fase do desenvolvimento, e sua execução e controle envolvem a consideração e a integração de uma série de elementos, que são próprios do ambiente de projeto. Esses elementos, numa categorização preliminar, são:

- usuários (*stakeholders*): como já mencionado, são todos aqueles envolvidos com o projeto e com o produto que está sendo desenvolvido, cuja influência pode ser positiva ou negativa; seus interesses, do ponto de vista do gerenciamento de projetos, estão associados às variáveis de escopo, tempo, custo e qualidade;
- condições internas: estratégias, metas, conhecimentos, tecnologias, infra-estrutura e recursos;
- condições externas: comportamento do mercado e dos concorrentes.

Analisando os elementos listados, verifica-se a abrangência do processo de desenvolvimento de produtos e a necessidade de integração entre os vários componentes envolvidos. Sendo assim, para que qualquer empreendimento nesse ambiente tenha sucesso, faz-se necessária alguma forma de disciplina para planejar atividades, reunir as condições necessárias para iniciar e finalizar essas atividades e avaliar seu progresso. Essas funções são, em grande parte, próprias do gerenciamento de projetos e, várias outras, próprias do modelo adotado para o processo de projeto e de metodologias empregadas.

Assim, o gerenciamento do desenvolvimento de produtos consiste na aplicação, num ambiente de projetos, de todos os elementos do gerenciamento de projetos (princípios, conhecimentos, processos, métodos e ferramentas), para desenvolver ações visando obter o sucesso do produto e de seu desenvolvimento desde o planejamento até a validação. O gerenciamento do desenvolvimento de produtos diferencia-se do gerenciamento de outros tipos de projetos principalmente pela natureza das atividades – sendo muitas delas próprias do processo de projeto de produtos e da metodologia de projeto empregada – e pelos conhecimentos e tecnologias

envolvidas com o produto e com os processos de produção. Entretanto, as variáveis, como o escopo, tempo, custo e qualidade, devem ser atendidas, assim como em qualquer outro tipo de projeto.

3.4 Estrutura organizacional para o projeto de desenvolvimento de produtos

A execução de dado plano de projeto de desenvolvimento de produto, desenvolvido sob os princípios do gerenciamento de projetos, necessita de uma forma de organização. A organização estabelece, em linhas gerais, segundo Merwe (2002), as relações de autoridade na cadeia de comando da organização, os canais formais de comunicação, os grupos formais de trabalho e as linhas formais de responsabilidades. Esses elementos são essenciais para o sucesso do projeto porque, por meio de sua configuração, ter-se-á maior ou menor facilidade de execução das atividades planejadas para o desenvolvimento do produto.

Qualquer tipo de organização formal possui certas características gerais, umas mais ou menos pronunciadas em relação às demais, dependendo da configuração adotada. Em linhas gerais, segundo Chiavenato (1983), as características das organizações formais são: divisão do trabalho, especialização, hierarquia, autoridade, responsabilidade e racionalismo. Sob tais características, os principais tipos de organização são: linear, funcional, linha-*staff* e comissões.

A **organização linear** é aquela na qual existem linhas diretas e únicas de autoridade e de responsabilidade e em que as linhas de comunicação são rigidamente estabelecidas. Nessa organização, cada indivíduo se reporta única e exclusivamente ao seu superior e tem apenas um chefe.

A **organização funcional** aplica o princípio da especialização das funções para cada tarefa. Surgiu da necessidade de contar com órgãos altamente especializados em seu campo de atuação, capazes de proporcionar inovações rápidas e substanciais. As decisões são delegadas aos órgãos ou cargos especializados, ou seja, a especialidade move as decisões. As responsabilidades são limitadas de acordo com as especializações.

Na organização **linha-*staff*** tem-se uma combinação das organizações linear e funcional, procurando-se incrementar as vantagens e reduzir as desvantagens de cada uma delas. Segundo Chiavenato (1983), é o tipo de

organização que tem sido mais empregado nas organizações. O *staff*, ou assessoria, tem a função de auxiliar os trabalhos administrativos, visando fornecer informações necessárias às decisões, bem como prestar assessoria no planejamento. A distinção entre órgãos de linha e de *staff* depende dos objetivos principais da organização. Por exemplo, se estes forem de produção, então somente a produção será considerada de linha e os demais órgãos serão de *staff*. Em outras palavras, os órgãos de *staff* representam atividades-meio e podem ser configurados em qualquer nível da organização.

A organização na forma de **comissões**, como define Chiavenato (1983), apresenta uma série de controvérsias quanto a sua definição. Alguns as consideram como grupos com funções específicas (administrativas, técnicas etc.), outros, como um tipo distinto de assessoria. O papel da equipe de trabalho depende muito de sua autoridade, a qual, em geral, não é de linha, mas de conhecimento. Suas principais características são: não se constituem num órgão da estrutura organizacional e seus objetivos consideram vários órgãos da estrutura; é geralmente criada para estudar problemas que ultrapassam os limites ou competências de um dado órgão; as equipes têm participantes que pertencem aos vários órgãos da organização, os quais são cedidos provisoriamente; a equipe funciona por um determinado tempo e sua constituição é provisória e instável. As equipes podem ser formais (autoridade delegada), informais (sem delegação de autoridade), temporárias (duração relativamente curta) e relativamente permanentes (duração prolongada no tempo para estudar certos problemas).

As estruturas caracterizadas por Chiavenato (1983) são similares, em parte, àquelas que têm sido apresentadas e definidas na literatura de gerenciamento de projetos. Nesse caso em particular, têm-se as estruturas do tipo funcional, matricial ou por projetos. Observa-se, conforme será visto mais adiante, que as estruturas matriciais reúnem características das estruturas em linha, funcionais e linha-*staff*, tendendo mais para esta última. Já as estruturas por projetos derivam dos conceitos de estrutura por equipes ou comissões. No caso das estruturas matriciais, dependendo de seu tipo, tem-se influência simultânea dos conceitos de linha-*staff* e de comissões.

De acordo com o PMI (2000), tomando-se como base a autoridade do gerente de projeto, têm-se as seguintes estruturas organizacionais de projeto (Figura 3.2): funcional, matricial e por projeto. A estrutura matricial, por sua vez, divide-se em matricial fraca, equilibrada e forte.

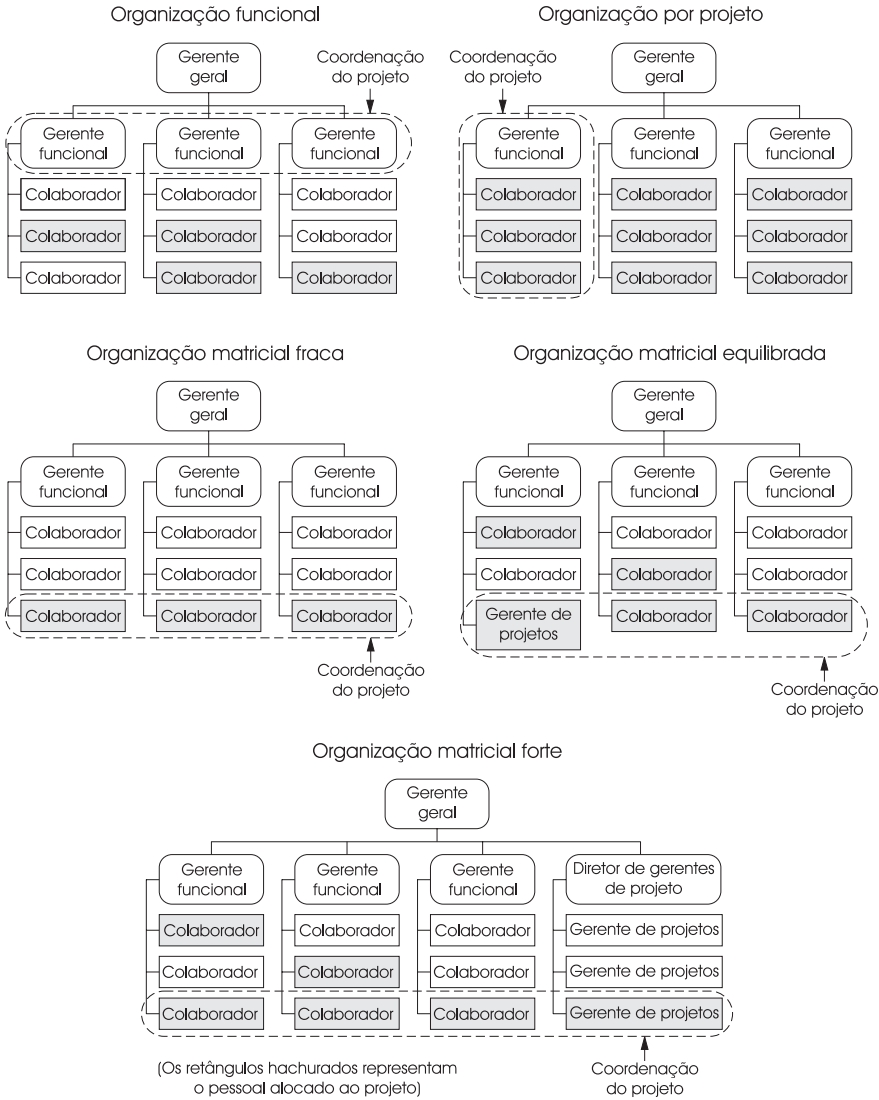


Figura 3.2 Estruturas organizacionais segundo o PMI (2000).

De acordo com a Figura 3.2, na organização funcional configura-se uma hierarquia bem definida e as funções (departamentos) são organizadas por especialidades, tais como marketing, engenharia, produção etc. Nesse caso, as atividades são executadas por funções, ou seja, cada departamento executa sua parte independentemente dos demais. Quando os problemas são multidisciplinares, deve-se seguir, em cada fase da execução do projeto, os canais formais da organização para resolvê-los. Isso

torna o processo seqüencial, promovendo comprometimento do cronograma, tendo em vista a burocracia estabelecida nas comunicações e decisões. Nessa estrutura não existe um “dono” do projeto, o qual é fragmentado em tarefas pelos vários departamentos, dificultando a avaliação de desempenho. As vantagens e desvantagens dessa estrutura, quando comparada às demais, estão expressas na Tabela 3.2.

Tabela 3.2 Vantagens e desvantagens da organização funcional (adaptado de Pinto, 1998 e Kerzner, 2001)

Vantagens	Desvantagens
<ul style="list-style-type: none"> ● Facilita o controle do custo de cada atividade e a elaboração de orçamentos, uma vez que se sabe especificamente quem irá fazer o quê; ● melhora o controle técnico do projeto, devido ao fato de os especialistas da empresa compartilharem conhecimentos e responsabilidades; ● aumenta a flexibilidade no uso da mão-de-obra, pois os mesmos especialistas são designados para diferentes projetos, promovendo uma larga base de mão-de-obra; ● permite maior controle sobre os recursos humanos; estabelece canais de comunicação verticais bem definidos; ● aumenta a capacidade de resposta da empresa; depende da priorização das atividades. 	<ul style="list-style-type: none"> ● Nenhum indivíduo é diretamente responsável pelo projeto, comprometendo a coordenação do projeto e a manutenção de prazos; tampouco existe um comprometimento em particular com algum projeto em especial; ● a motivação e a inovação no projeto são bem menores; ● as decisões geralmente favorecem o grupo funcional mais forte; ● o foco do trabalho não é voltado ao consumidor, comprometendo dessa maneira as respostas às suas necessidades e expectativas; ● as idéias e soluções são orientadas funcionalmente, havendo pouca preocupação global com o produto que está sendo desenvolvido.

A organização por projeto como um todo, ou um segmento seu, é definida de acordo com um programa de projetos que será desenvolvido num dado período, alocando para isso todo seu recurso humano e sua infraestrutura disponível. Nesse tipo de estrutura organizacional, existe uma pessoa nomeada pela alta gerência da empresa que é a responsável direta por conduzir o trabalho da equipe e gerenciar os recursos, possuindo independência e autoridade. Suas vantagens e desvantagens estão mostradas na Tabela 3.3.

Na organização matricial, existem configurações alternativas em decorrência da autoridade do gerente de projeto em relação aos gerentes

funcionais. Os tipos principais são: matricial fraca, equilibrada e forte. Na organização matricial fraca, o papel do gerente é de coordenar ou facilitar o projeto; esta organização está mais próxima da funcional.

Tabela 3.3 Vantagens e desvantagens da organização por projeto (adaptado de Pinto, 1998 e Kerzner, 2001)

Vantagens	Desvantagens
<ul style="list-style-type: none"> ● Promove completa autoridade sobre o projeto e conseqüentemente maior fidelidade e elevação moral da equipe que o desenvolve; ● possibilita que produtos não lucrativos sejam facilmente identificados e eliminados do programa da empresa, devido ao fato de a autoridade do projeto se concentrar na equipe que o desenvolve; ● apresenta fortes canais de comunicação, desenvolvendo um foco para as relações com os consumidores; ● possibilita a manutenção da especialidade técnica em um determinado projeto sem compartilhar pessoal-chave; ● permite reações rápidas às mudanças de mercado; ● promove uma maior flexibilidade na determinação de tempos, cronogramas, custos e no balanceamento dos objetivos de desempenho do produto; ● facilita o gerenciamento de interfaces devido à redução de unidades envolvidas. 	<ul style="list-style-type: none"> ● Aumenta os custos devido à duplicação de esforços, estrutura e pessoal; ● apresenta tendência em manter a equipe no projeto além do tempo necessário, o que pode acarretar falta de continuidade nas carreiras e perda de oportunidades de aperfeiçoamento para o pessoal do projeto; ● compromete a tecnologia devido à falta de grupos funcionais fortes e intercâmbio técnico entre os projetos.

Na organização matricial forte, o gerente de projeto, em tempo integral, tem autoridade suficiente para a alocação de recursos e possui pessoal administrativo trabalhando também em tempo integral no projeto. Essa estrutura está bastante próxima da organização por projeto. Na matricial equilibrada, como o próprio nome sugere, há equidade na discussão sobre o projeto e na alocação de recursos, considerando o gerente do projeto e os gerentes funcionais. Levando-se em conta as variações da

estrutura matricial, suas vantagens e desvantagens estão definidas na Tabela 3.4.

Tabela 3.4 Vantagens e desvantagens da organização matricial (adaptado de Pinto, 1998 e Kerzner, 2001)

Vantagens	Desvantagens
<ul style="list-style-type: none"> • Estabelece canais laterais de comunicação que aumentam sua frequência entre as diferentes áreas funcionais, bem como mantêm a quantidade e qualidade das informações que fluem verticalmente; • aumenta a flexibilidade no uso de especialistas e recursos capitais, minimizando o custo; • permite o compartilhamento de autoridade e responsabilidade para com o projeto, fortalecendo a motivação individual, a satisfação com o trabalho, o compromisso e o desenvolvimento pessoal; • facilita o alcance da excelência técnica; • possibilita a definição de políticas e de procedimentos independentes para cada projeto; • maximiza a capacidade de atender a conflitos e necessidades do projeto; • utiliza a estrutura funcional como um suporte ao projeto; • permite que cada pessoa continue se desenvolvendo individualmente após o encerramento do projeto. 	<ul style="list-style-type: none"> • Quebra o paradigma existente quanto ao fluxo tradicional de autoridade, gerando nos gerentes funcionais um sentimento de perda de controle, insegurança e erosão de autoridade; • conduz a ambigüidades no controle de recursos, responsabilidades para assuntos técnicos e gerenciamento dos recursos humanos, aumentando os custos indiretos e com pessoal na empresa; • cria conflitos organizacionais entre gerentes funcionais e de projetos e conflitos pessoais entre indivíduos que devem trabalhar juntos, mas possuem diferentes perspectivas, horizontes e objetivos, quanto ao trabalho.

A maioria das pesquisas tem apontado a organização matricial balanceada ou equilibrada como a forma mais efetiva para se obter os resultados esperados em uma organização que trabalha com ambientes de projetos. Entretanto, a escolha de um ou outro tipo de estrutura depende muito da natureza dos problemas de projeto. Por exemplo, projetos em que a natureza tecnológica do produto é simples e não muda com muita frequência e em que a natureza do problema não difere muito de projetos anteriores, esses projetos podem, em linhas gerais, ser melhor executados em uma estrutura em que se tem claramente definidas as responsabilidades

e especialidades de cada indivíduo ou departamento da organização, ou seja, em uma estrutura funcional. Por outro lado, para projetos nos quais a natureza do produto ou do problema é complexa e apresenta muitas novidades, em que a tecnologia avança ou muda com muita frequência e exige flexibilidade na execução, é mais indicada uma organização em que as equipes tenham autoridade, autonomia e poder de decisão, tornando o processo mais ágil, ou seja, uma estrutura matricial ou por projeto.

Uma pesquisa realizada por Larson e Gobeli (1988) avaliou a eficácia de cinco diferentes estruturas de gerenciamento de projetos, comparando o desempenho de 540 projetos em termos de custo, cronograma e desempenho técnico, bem como desempenho geral dos projetos. Os dados foram coletados por meio de questionários, respondidos por profissionais de vários níveis hierárquicos (gerentes de projeto, gerentes funcionais, presidentes, vice-presidente e gerentes de divisões) de empresas de diversos setores, incluindo farmacêutico, aeroespacial, de informática, de telecomunicações, de instrumentação, petroquímico, entre outros. As estruturas de gerenciamento de projetos foram classificadas e caracterizadas pelos autores, conforme a Tabela 3.5, mostrando também os principais resultados da pesquisa.

De acordo com a Tabela 3.5, as estruturas que apresentaram os melhores resultados, com pequenas diferenças entre si, foram as matrizes balanceadas, de projeto e de equipe de projeto, quando comparadas à estrutura funcional, e a matriz funcional. Os autores salientam, entretanto, que deve haver um estudo rigoroso para determinar a melhor estrutura diante da natureza do projeto e das condições que se apresentam para a organização em um dado momento.

3.5 Equipes de desenvolvimento de produtos

Em relação à forma de organização para o desenvolvimento do projeto, principalmente quando se considera a estrutura matricial, faz-se necessário identificar os participantes do projeto e estruturar a equipe de projeto. Os participantes primários do projeto estão apontados conforme a Tabela 3.6, segundo Verzuh (2000).

A identificação adequada dos elementos participantes de um projeto ou de seus representantes, como uma das primeiras tarefas do gerente de

Tabela 3.5 Estruturas de projeto e principais resultados de pesquisa (adaptado de Larson e Gobeli, 1988)

Estrutura	Características	Número de estruturas	Resultados (% de sucesso)*			
			Cronograma	Orçamento	Desempenho técnico	Desempenho geral
Funcional	O projeto é dividido em segmentos e designado para uma área funcional ou grupo dentro de uma área funcional; o projeto é coordenado por um gerente funcional	72	25	25	50	30
Matriz funcional	Um gerente de projeto com autoridade limitada é designado para coordenar o projeto através das diferentes áreas funcionais e/ou grupos; os gerentes funcionais retêm a responsabilidade e autoridade de seus segmentos com relação ao projeto	140	36	25	50	40
Matriz balanceada	Um gerente de projeto é designado para coordenar o projeto e compartilhar a responsabilidade e a autoridade para sua conclusão com os gerentes funcionais; os gerentes do projeto e os funcionais em conjunto dirigem grande parte do fluxo de trabalho e, em conjunto, aprovam muitas decisões	87	42	50	70	60
Matriz de projeto	Um gerente de projeto é designado para coordenar o projeto e tem responsabilidade primária por sua conclusão; os gerentes funcionais designam pessoal quando necessário e promovem experiência técnica para o projeto	154	50	46	70	60
Equipe de projeto	Um gerente de projeto é designado para a coordenação de uma equipe de projeto, composta por um núcleo de várias áreas funcionais, que são designadas em tempo integral; os gerentes funcionais não têm envolvimento formal no projeto	87	50	47	70	60

* valores aproximados (somadas de percentuais maiores que 100% significam mais de uma resposta)

Tabela 3.6 Participantes típicos de um projeto (adaptado de Verzuh, 2000)

Participantes	Participação
Gerente de projeto	Define, planeja, controla e lidera o projeto; deve reunir condições para a satisfação das necessidades de todos os participantes, inclusive as suas
Equipe de projeto	São os indivíduos que contribuem com seu tempo, habilidades e empenho para executar as tarefas do projeto, incluindo os próprios clientes do projeto
Facilitador	Possui autoridade formal e provê apoio à gerência do projeto para vencer as barreiras organizacionais e ajudar a equipe de projeto a ter êxito. Possui a responsabilidade final sobre o sucesso do projeto
Usuários	Estabelecem as exigências do produto e provêm os fundos para a execução do projeto
Gerente de função	É responsável pela unidade da organização e controla, em seu respectivo departamento, os empregados e recursos e está envolvido na definição das políticas da organização

projeto, é bastante importante, uma vez que serão necessárias várias decisões ao longo do planejamento e da execução do projeto, que poderão afetar, positiva ou negativamente, os envolvidos com o processo e/ou resultados do projeto.

Na definição do PMI (2000), os usuários ou interessados no projeto são os indivíduos e as organizações ativamente envolvidas no projeto ou cujos interesses possam ser positiva ou negativamente afetados pela execução do projeto ou pela sua conclusão; eles também podem exercer influência sobre o projeto e seus resultados.

A configuração da equipe de projeto deverá representar os usuários, mesmo que nem todos os envolvidos estejam presentes. Essa representação não é necessariamente física ou presencial a todo o instante durante o planejamento e a execução do projeto, mas está na forma de expressão de desejos e necessidades, de conhecimentos especializados necessários ao projeto, nos momentos de decisão (aprovações de passagem de fase, por exemplo), entre outros. A definição dos membros da equipe também está diretamente associada à natureza do projeto e de suas tarefas e deve ser estabelecida na fase de planejamento do projeto com o apoio, por exemplo, de ferramentas como a Estrutura de Desdobramento do Trabalho (EDT) e a matriz de responsabilidades.

Em projetos de desenvolvimento de produtos, considerando o modelo apresentado na Figura 2.14 do Capítulo 2, a equipe de projeto poderá ser

configurada tendo em vista os domínios de conhecimento envolvidos no desenvolvimento estabelecidos como: gestão empresarial, gerenciamento de projeto, marketing, projeto do produto, projeto da manufatura, suprimento, qualidade, segurança, dependabilidade, administrativo-financeiro, produção e pós-venda.

As equipes de projeto mudam ao longo do projeto, conforme a natureza dos trabalhos em cada uma de suas fases, mas recomenda-se que um núcleo de indivíduos deve ser mantido até o final. Em geral, esse núcleo é formado pela gerência, pelo pessoal administrativo do gerenciamento (dependendo do porte do projeto) e pelo pessoal especializado em áreas estratégicas do domínio do projeto (marketing, engenharia, produção etc.).

Em particular, o gerente de projeto deve apresentar uma série de conhecimentos e habilidades para conduzir adequadamente seu trabalho durante planejamento, execução e controle do projeto. São várias as listas de atribuições, conhecimentos, habilidades e outras características que o gerente de projetos deve possuir, como aquelas encontradas em Kerzner (2001), Meredith e Mantel (2000), Pinto (1998) e Valeriano (1998). Na Tabela 3.7 são apresentadas algumas das principais atuações do gerente de projeto, tendo em vista os processos de gerenciamento de projeto mais importantes.

A equipe de projeto constituída por elementos, seja em tempo integral ou parcial, é responsável pela execução do projeto, devendo estar devidamente organizada e posicionada com relação aos trabalhos do projeto. Em outras palavras, devem estar devidamente estabelecidos os papéis de cada integrante da equipe, em uma matriz de responsabilidades, por exemplo. Na formação da equipe, além das questões de conhecimentos e habilidades para a execução dos trabalhos, deve-se levar em conta questões de relacionamento e conflitos potenciais, sabendo que muitos membros da equipe podem estar trabalhando juntos pela primeira vez.

3.6 Planejamento de projetos de desenvolvimento de produtos

O planejamento de projetos de desenvolvimento de produtos já começa, em essência, no planejamento estratégico e do porta-fólio de produtos da organização e segue com o planejamento de escopo, tempo, custos, qualidade, comunicações, entre outros elementos importantes para o ge-

Tabela 3.7 Atuações do gerente de projeto em função dos processos de gerenciamento

Processo	Atuação
Inicialização	<ul style="list-style-type: none"> • Demonstrar a viabilidade e necessidade do projeto • Obter a autorização para o projeto • Obter a autorização para a fase do projeto (primeiras ações)
Planejamento	<ul style="list-style-type: none"> • Descrever o escopo do projeto. Declaração de escopo, plano de gerenciamento de escopo e estrutura de desdobramento do trabalho (EDT) • Definir e seqüenciar as atividades de projeto • Estimar a duração das atividades e os recursos necessários • Desenvolver o cronograma de atividades (Gantt) • Estimar custos • Desenvolver o orçamento e a programação de desembolso • Criar um plano formal de qualidade • Criar um plano formal de comunicações • Criar e organizar a coordenação do projeto (<i>staff</i>) com a respectiva atribuição de responsabilidades (matriz de responsabilidades) • Identificar riscos e planejar como responder-lhes • Planejar a aquisição de recursos • Organizar o plano de projeto evidenciando todos os produtos (<i>deliverables</i>) com as tarefas em nível macro que precedem cada um • Obter uma aprovação formal do patrocinador para o plano de projeto • Retornar ao plano de projeto e replanejar sempre que necessário
Execução	<ul style="list-style-type: none"> • Identificar eventuais requisições de mudanças • Criar relatório periódico de progresso (PPP – Progresso, Próximos passos e Pontos de atenção) • Acompanhar o desempenho da equipe, assessorando, dirigindo e aprimorando, se necessário • Gerenciar contratos com o fim de obter os resultados desejados
Controle	<ul style="list-style-type: none"> • Providenciar a aceitação formal dos produtos (<i>deliverables</i>) • Tomar ações corretivas de retrabalho de produtos e de processos de trabalho • Manter plano de projeto e escopo atualizados • Coletar as lições aprendidas • Aprimorar a qualidade • Conferir e avaliar periodicamente os itens de conferência (lista de verificação)
Encerramento	<ul style="list-style-type: none"> • Providenciar o aceite formal por escrito da conclusão do projeto tanto do patrocinador quanto do contratante • Preparar os registros de projeto para arquivo • Montar um plano de acompanhamento e/ou entrega do resultado do trabalho

renciamento adequado do projeto. Nesse item serão mostradas, em maiores detalhes, as atividades de planejamento de projetos, considerando as variáveis de escopo, tempo e custo. Ao final, serão feitas considerações gerais sobre os demais aspectos do processo.

O processo de planejamento de projetos é considerado o núcleo dos processos de gerenciamento. Pode-se observar uma relação entre os processos de gerenciamento e as áreas envolvidas, na Figura 3.3 (PMI, 2000), indicando a importância e a abrangência do planejamento de projetos.

Por meio das atividades de planejamento, são estabelecidos os trabalhos necessários, suas relações, custos, restrições, entre outras informações, que irão orientar e conduzir as ações e decisões gerenciais ao longo da execução do projeto e formarão base para as medições e ações corretivas que se fizerem necessárias aos rumos do projeto.

Alguns autores procuram sistematizar o processo de planejamento, tais como Lewis (2000), Vargas (2000) e PMI (2000), entre outros, mostrando o que deve ser feito para um gerenciamento adequado e quais ferramentas podem ser empregadas nesse processo. A Figura 3.4, por exemplo, mostra o modelo de gerenciamento apresentado por Lewis (2000), no qual o processo de planejamento se encontra estabelecido após a fase de planejamento estratégico da organização.

Na proposição do PMI (2000), o desenvolvimento do processo de planejamento de projetos é recomendado segundo um fluxograma (Figura 3.5) que recebe informações desenvolvidas na fase de iniciação e controle (quando o projeto se encontra em execução e seu plano é realimentado), e se inicia pelo planejamento e pela definição do escopo do projeto, ou seja, pelo estabelecimento do conjunto de trabalhos que precisará ser desenvolvido para atender aos objetivos do projeto. Dá-se seqüência com a elaboração do cronograma e do orçamento do projeto para os quais se faz necessário definir e estimar os tempos das atividades de projeto e dos recursos necessários para sua execução. O plano de projeto é concluído reunindo-se a documentação elaborada nas atividades executadas, incluindo-se aí, como será abordado, o planejamento dos riscos do projeto.

3.7 Escopo do projeto

Os projetos acontecem nas organizações sob várias condições. Normalmente existem múltiplos projetos acontecendo em um dado momento,

oriundos de diversas áreas (marketing, engenharia, manufatura etc.). Além de estar desenvolvendo o produto A, B ou C, a organização pode estar implementando um novo sistema de informação, alterando o leiaute da fábrica, desenvolvendo uma campanha publicitária para o lançamento de novos produtos ou promovendo o treinamento de seus colaboradores.

	Inicialização	Planejamento	Execução	Controle	Finalização
Integração		Desenvolvimento do plano do projeto	Execução do plano do projeto	Controle geral de mudanças	
Escopo	Inicialização	Planejamento do escopo Definição do escopo		Verificação do escopo Controle de mudanças do escopo	
Tempo		Definição das atividades Sequência das atividades Estimativa de duração das atividades Desenvolvimento do cronograma		Controle do cronograma	
Custo		Planejamento dos recursos Estimativa dos custos Orçamento dos custos		Controle dos custos	
Qualidade		Planejamento da qualidade	Garantia da qualidade	Controle da qualidade	
Recursos humanos		Planejamento organizacional Montagem da equipe	Desenvolvimento da equipe		
Comunicação		Planejamento das comunicações	Distribuição das informações	Relato do desempenho	Encerramento administrativo
Riscos		Planejamento da gerência dos riscos Identificação dos riscos Análise qualitativa dos riscos Análise quantitativa dos riscos Planejamento das respostas aos riscos		Controle e monitoração dos riscos	
Aquisições		Planejamento das aquisições Preparação das aquisições	Pedido de propostas Seleção de fornecedores Administração de contratos		Encerramento dos contratos

Figura 3.3 Relações entre processos e áreas do gerenciamento de projetos.

Os projetos são definidos, em linhas gerais, tendo em vista o planejamento estratégico da organização, que inclui as metas para determinados períodos de tempo. Quando existem projetos alternativos para atender a determinada meta, procede-se na seleção das propostas mais promissoras

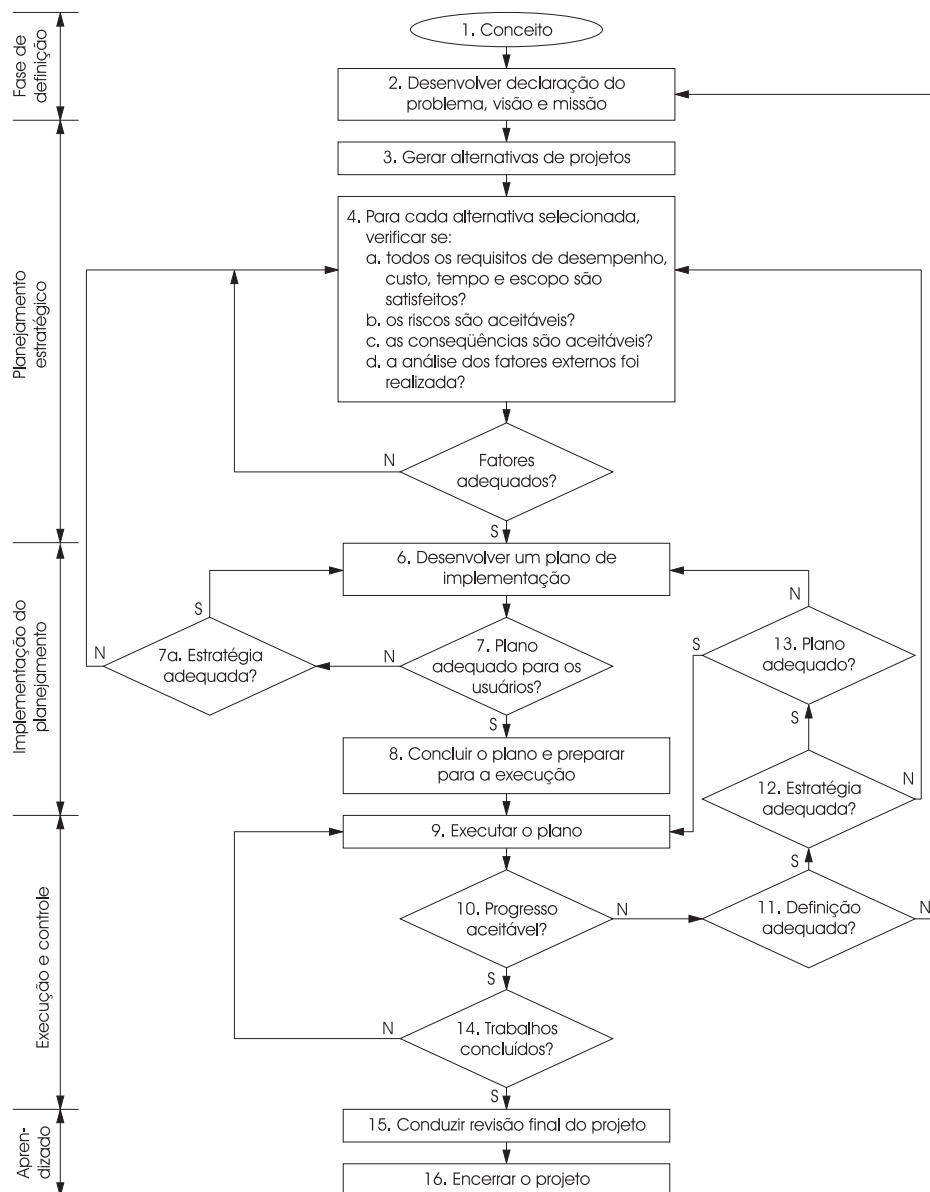


Figura 3.4 Modelo de gerenciamento de projetos (Lewis, 2000).

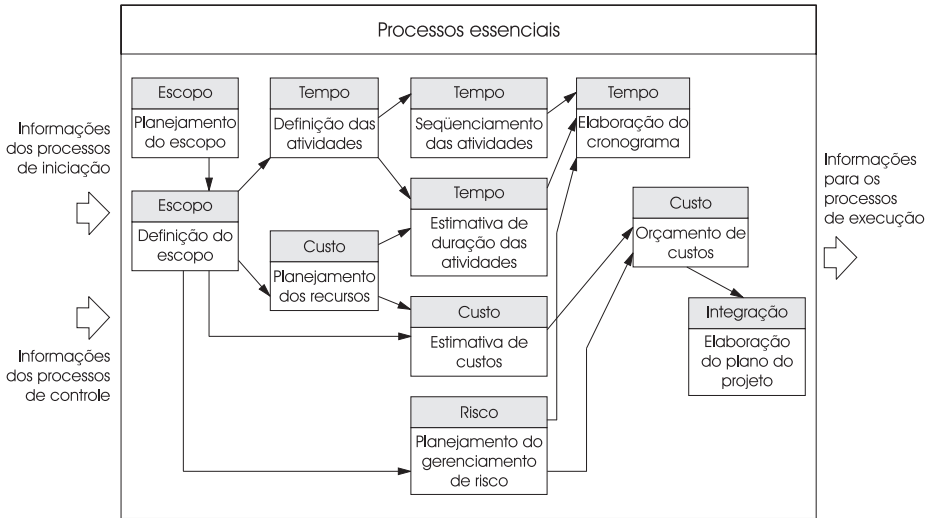


Figura 3.5 Processos essenciais de planejamento de projetos (adaptado de PMI, 2000).

para o crescimento da organização. Surgem então os projetos aprovados para determinado período e sob determinado orçamento, os quais precisam ser formalizados, designando-se uma gerência e, a partir daí, iniciado o processo de desenvolvimento. A Figura 3.6 mostra conceitualmente as relações entre os projetos e os principais elementos do planejamento estratégico de uma organização.

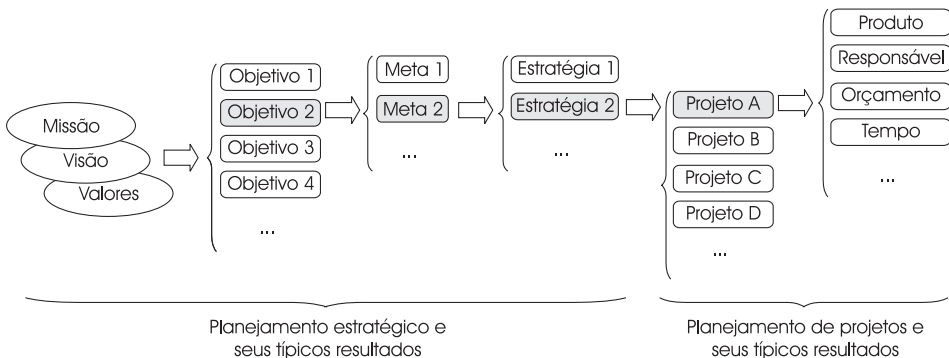


Figura 3.6 Relações entre os projetos e os principais elementos do planejamento estratégico.

De acordo com a Figura 3.6, tendo sido estabelecidos os projetos alternativos associados a determinada estratégia e meta da organização, deve-se selecionar aquele mais promissor, com base em critérios adequados,

estabelecendo o produto principal para o projeto escolhido, ou seja, a principal entrega do projeto, quem será o responsável (o gerente do projeto), quanto será disponibilizado do orçamento geral da empresa para aquele projeto, quando e como o mesmo deverá ser executado e quem irá executá-lo (equipe de projeto). Essas definições são gerais e estabelecem inicialmente as principais diretrizes para o gerenciamento do projeto e, em particular, para seu planejamento. Deve-se, a partir daí, formalizar o projeto na organização e iniciar seu planejamento. Um dos processos iniciais, nesse sentido, consiste no planejamento do escopo do projeto, onde se busca definir quais serão os trabalhos e suas dimensões dentro das restrições de tempo, orçamento e exigências do produto e dos clientes.

O termo escopo, no contexto do projeto, segundo PMI (2000), pode referir-se ao:

- escopo do produto: as características e funções que especificam o produto ou serviço;
- escopo do projeto: o trabalho que deve ser realizado para gerar o produto com as características e funções especificadas.

De acordo com Valeriano (1998), o escopo do projeto constitui uma “descrição documentada de um projeto quanto aos seus potenciais resultados, sua abordagem e conteúdo”, ou seja, ele é um resumo das partes capitais do projeto e de suas esperadas conseqüências, de forma a permitir uma compreensão do que se pretende fazer e com que finalidade. O escopo deve conter as seguintes partes:

- os resultados do projeto: o que será criado, em termos de forma e tamanho, geografia, quantidade, especificações de desempenho técnico e operacional, características de custos, utilidade, e assim por diante;
- a metodologia a ser empregada: as tecnologias (novas ou existentes), os insumos internos e externos, a descrição das interfaces ou limites entre o projeto e seu ambiente;
- o conteúdo do projeto: o que será incluído e excluído do trabalho a ser executado e a descrição das interfaces ou limites entre as tarefas do projeto e destas com outras relacionadas aos resultados do projeto ou com seu ambiente.

De acordo com Vargas (2000), o escopo é dividido em três partes: o **escopo funcional** consiste no conjunto de características funcionais do pro-

duto a ser desenvolvido no projeto; o **escopo técnico** são as características técnicas do produto, destacando os padrões e as especificações a serem utilizados; e o **escopo de atividades**, que é o trabalho a ser realizado para prover os escopos técnico e funcional do produto. Nota-se que os escopos funcional e técnico correspondem ao escopo do produto; e o escopo de atividades, ao escopo do projeto, conforme definidos anteriormente.

Com base no exposto verifica-se que os escopos, do projeto e do produto, são inter-relacionados e estabelecem as dimensões do projeto (ou suas limitações) para efeito de negociação, desdobramento dos demais elementos do plano de projeto (cronograma, orçamento, riscos etc.) e decisões futuras sobre potenciais mudanças no próprio escopo. A Figura 3.7 procura representar conceitualmente as características e o inter-relacionamento entre o escopo do projeto e do produto, tomando-se por base resultados e processos típicos da fase de elaboração do projeto do produto.

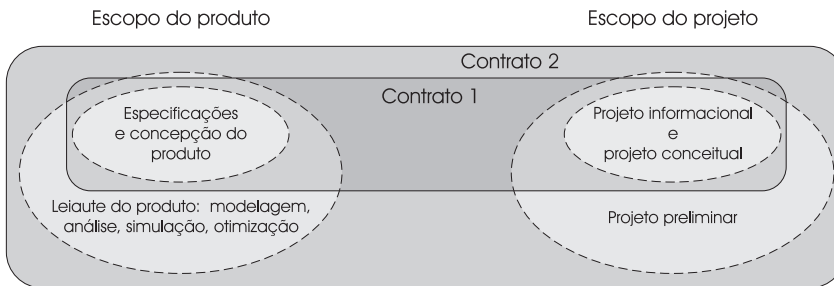


Figura 3.7 Relações entre escopo do projeto e escopo do produto.

De acordo com a Figura 3.7, determinado escopo do produto exige um certo escopo do projeto, que, em conjunto, estabelecem as bases para o contrato a ser estabelecido e para futuras decisões na execução do mesmo. Se o escopo do produto for ampliado, novos trabalhos serão necessários e, conseqüentemente, considerar-se-á um novo escopo do projeto e do produto, o que pode resultar em um novo contrato para o projeto, e assim por diante.

A avaliação do escopo do produto é realizada com base nos resultados alcançados e a avaliação do escopo do projeto, com base no acompanhamento do plano de projeto. A importância em suas definições e planejamento encontra-se no estabelecimento de compromissos das partes envolvidas (ver princípio do comprometimento, Tabela 3.1) e na constituição de uma base para futuras decisões de projeto.

Quando se inicia um projeto, muitas vezes não se encontram esclarecidos em detalhes os resultados em termos de produto ou entrega final, tampouco em termos de trabalho necessário para obtê-lo. Os clientes podem estar esperando determinado resultado, diferente daquele que está sendo pensado pela organização que irá executar o trabalho. Essas expectativas, se não forem bem exploradas e discutidas nas fases iniciais de planejamento e definição do escopo, resultarão em prováveis mudanças de escopo ao longo do projeto ou dificuldades para aceitação dos resultados no final do projeto. Como consequência, haverá clientes insatisfeitos e possibilidade de conflitos internos na organização traduzindo-se em fracasso do projeto.

3.7.1 Processos de gerenciamento do escopo do projeto

O gerenciamento do escopo do projeto é constituído por cinco processos, de acordo com o PMI (2000): iniciação, planejamento, definição, verificação e controle de alterações do escopo.

A **iniciação** consiste na autorização formal de um novo projeto ou de uma nova fase. No caso de um novo projeto, a iniciação é conduzida com base em informações do planejamento estratégico da organização, informações históricas sobre produtos similares, entre outras, resultando em um plano resumido do projeto (necessidade comercial do projeto e descrição do produto), gerente designado, restrições e premissas. Nota-se que parte das atividades e resultados do processo de iniciação integra os trabalhos que ocorrem no planejamento estratégico da organização. No caso de autorização de uma nova fase do projeto, o processo de iniciação segue as mesmas diretrizes, considerando em detalhes os resultados das fases anteriores.

O **planejamento do escopo** consiste no processo em que se elabora e documenta o trabalho do projeto (escopo do projeto) necessário para gerar o produto do projeto (escopo do produto). Esse processo começa com as informações resultantes do processo de iniciação e por meio de ferramentas de análise do produto e da relação custo-benefício, e de identificação de alternativas e opinião de especialistas. Nesse processo buscam-se os seguintes resultados: declaração do escopo do projeto, detalhes auxiliares e plano de gerenciamento do escopo. Na análise do produto são empregadas técnicas como engenharia de sistemas, decomposição do produto, engenharia de valor, análise da função e desdobramento da função qua-

lidade, com o propósito de obter uma melhor compreensão do produto a ser desenvolvido. Na análise da relação custo-benefício, busca-se uma estimativa dos custos tangíveis e não-tangíveis (gastos), bem como dos benefícios (retorno) das alternativas de produto e projeto, empregando-se indicativos financeiros como retorno do investimento (*payback*). A identificação de alternativas consiste no uso de técnicas de criatividade, como *brainstorming*, analogias, entre outras discutidas no Capítulo 6, visando desenvolver alternativas viáveis de idéias para o projeto. Nota-se que, nesse momento, as alternativas para o projeto são desenvolvidas a partir de uma visão abrangente, estabelecendo um conceito geral para o produto, diferentemente das soluções desenvolvidas na fase de projeto conceitual, em que são pesquisados e propostos princípios de solução, em detalhes, para cada uma das funções técnicas do produto.

Dentre os resultados esperados desse planejamento, a declaração do escopo consiste na documentação formal do projeto com itens como a justificativa do projeto, o produto do projeto, os principais resultados esperados (subprodutos) e os objetivos do projeto, servindo de base para futuras decisões durante sua execução. Associados a essa declaração podem acompanhar dados auxiliares contendo restrições e premissas a respeito do projeto, orientando a gerência no processo de planejamento, execução e controle. Por último, o plano de gerenciamento do escopo estabelece como este será gerenciado e como as possíveis alterações serão tratadas e integradas ao longo do projeto.

A **definição do escopo** consiste em desdobrar o trabalho em componentes menores e mais facilmente gerenciáveis visando melhorar as estimativas de custo, tempo e recursos para o projeto, definir uma base para medição e controle do desempenho do projeto e facilitar a definição de responsabilidades. A principal ferramenta empregada para auxiliar esse processo é a EDT (Estrutura de Desdobramento do Trabalho), tratada em maiores detalhes no item 3.7.2.

A **verificação do escopo** consiste em estabelecer a aceitação formal do escopo do projeto pelos interessados. Deve ser verificado o atendimento de todos os interesses no projeto. Com base em atividades de análise para verificar o atendimento aos requisitos do projeto por meio do escopo estabelecido, busca-se, ao final da verificação, a aceitação formal do escopo.

Finalmente, o processo de **controle de alterações do escopo** visa, quando necessário durante a execução do projeto, promover a concordância das partes sobre as mudanças no escopo, determinar que houve

alterações no escopo e gerenciar essas alterações. Esse processo deve estar integrado aos demais processos de controle do projeto. Dele resultam modificações no escopo efetuadas mediante concordância de todos, o que requer ajustes no cronograma, custos e qualidade do projeto. Também se inserem nesses resultados as ações corretivas que se façam necessárias para que o desempenho do projeto esteja de acordo com o planejado (ou replanejado). Deve-se, ainda, procurar estabelecer as causas das mudanças, registrando-as como lições aprendidas para futuros projetos.

3.7.2 Estrutura de Desdobramento do Trabalho – EDT

A Estrutura de Desdobramento do Trabalho – EDT (*WBS – Work Breakdown Structure*) – constitui uma importante ferramenta para o processo de definição do escopo do projeto. Por meio de seu uso, procura-se desdobrar apropriadamente o projeto em pacotes de trabalho mais facilmente gerenciáveis e, assim, definir melhor o tempo das atividades, os recursos, as responsabilidades, os riscos, entre outros elementos do plano de projeto. Os pacotes de trabalho são conjuntos de atividades no mais baixo nível da EDT; o resultado de sua realização será o produto ou determinada entrega parcial do projeto. Em alguns tipos de *software* os pacotes de trabalho são conhecidos como atividades-resumo. A elaboração de um relatório de ensaio, a construção de um protótipo e a simulação de um componente são típicos resultados parciais do processo de desenvolvimento de produtos, para os quais podem ser definidos pacotes de trabalho.

A EDT também é conhecida como Estrutura Analítica do Projeto (EAP) ou Plano Estruturado do Projeto (PEP). Sua definição, ou grau de desdobramento, depende do porte do projeto. Projetos de maior porte exigirão o desdobramento em mais níveis de estruturação, podendo-se empregar as categorias, conforme Kerzner (2001), representadas na Tabela 3.8.

Em geral, os elementos da categoria gerencial, conforme a Tabela 3.8, são aqueles definidos na ocasião da contratação do projeto (ou de sua proposta). Os demais elementos, no nível técnico, são os estabelecidos internamente como base para o desenvolvimento do plano do projeto, incluindo informações sobre o tempo, recursos, riscos, responsabilidades, entre outros, após a aprovação da proposta do projeto.

O desdobramento do projeto pode dar-se sob diferentes abordagens e representações. Quanto à representação, em geral, ela ocorre na forma

de árvores ou diagramas de blocos hierárquicos, conforme a Figura 3.8, mas também podem ser empregadas tabelas.

Tabela 3.8 Níveis típicos do desdobramento do trabalho (Kerzner, 2001)

Categoria	Nível	Descrição
Gerencial	1	Programa
	2	Projeto
	3	Tarefa
Técnico	4	Subtarefa
	5	Pacote de trabalho
	6	Nível de esforço ou atividades

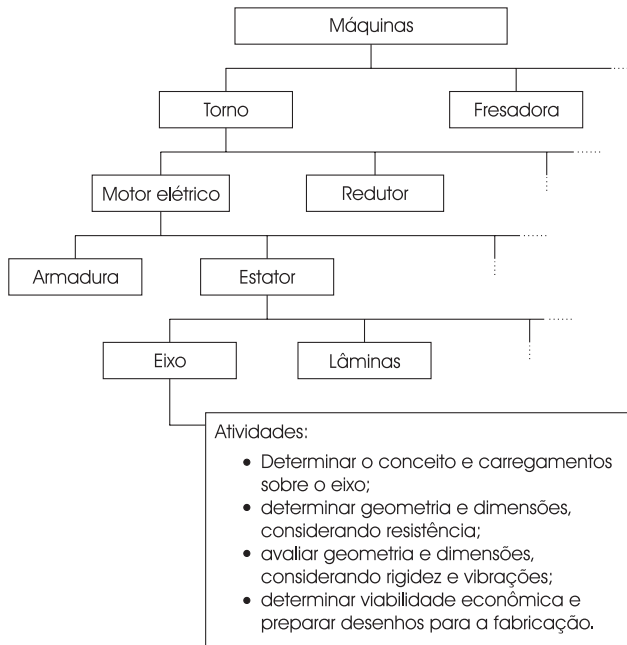


Figura 3.8 Exemplo parcial de estrutura de desdobramento do produto.

O tipo de abordagem no desenvolvimento da EDT depende, em parte, do tipo de projeto e pode ser funcional ou por produto. A abordagem funcional é aquela em que o desdobramento do trabalho é realizado com base nas atividades. Na abordagem por produto, também conhecida como EDP (Estrutura de Desdobramento do Produto), o desdobramento se dá identificando-se, em cada nível, os resultados físicos do projeto, como sis-

tema, subsistema, conjuntos e componentes a serem desenvolvidos. Nesse caso, no último nível serão estabelecidas as atividades necessárias para a realização do projeto, conforme é exemplificada na Figura 3.8.

De acordo com Verzuh (2000), a elaboração da EDT deve começar listando-se os principais resultados ou tarefas de mais alto nível do projeto, que se encontram estabelecidos na declaração do escopo. Por exemplo, no caso do desenvolvimento de um produto, em sua fase de projeto, poder-se-ia iniciar a elaboração da EDT, para um problema em particular, conforme as abordagens mostradas na Figura 3.9.

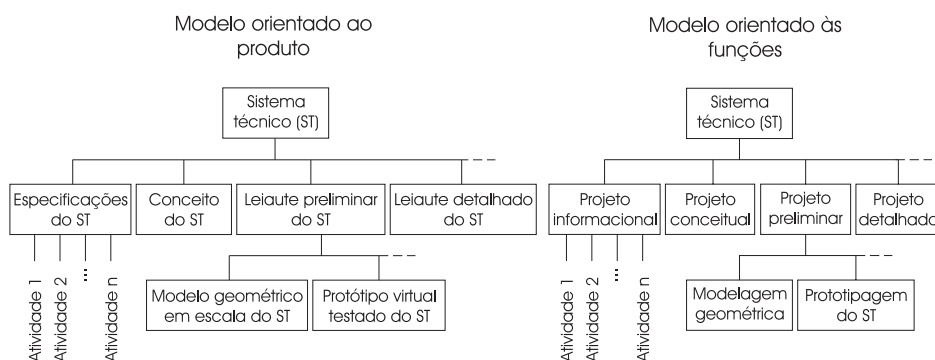


Figura 3.9 Exemplos de abordagens na elaboração inicial da EDT.

A próxima etapa na elaboração da EDT é desdobrar as tarefas ou atividades necessárias para alcançar os elementos de seus níveis superiores. Nessa etapa, principalmente para projetos de grande porte e multidisciplinares, recomenda-se consultar especialistas ou os responsáveis pela execução das tarefas para proceder no desdobramento. Isso propicia a obtenção de estruturas de trabalho mais precisas, bem como estimula o comprometimento com os resultados do projeto. Com relação ao desdobramento das tarefas, nos níveis inferiores da EDT, para o exemplo da Figura 3.9, poder-se-ia ter o desdobramento, conforme mostrado na Figura 3.10.

No desenvolvimento de uma EDT deve-se procurar por conhecimentos ou estruturas já realizadas em outros projetos da organização que possam ajudar neste processo. A metodologia empregada pela organização para resolver determinado tipo de problema também deve ser uma fonte inicial para definir os elementos da EDT. Esta última foi o caso empregado para os exemplos das Figuras 3.9 e 3.10, considerando-se as fases e atividades do processo de projeto, conforme modelo da Figura 2.14.

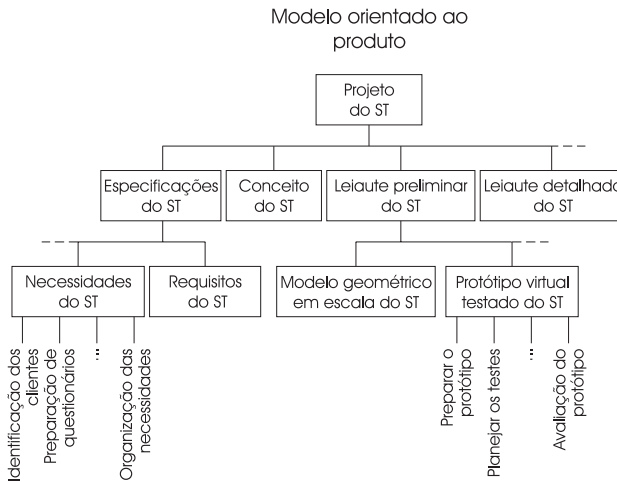


Figura 3.10 Exemplos de desdobramentos adicionais na elaboração de uma EDT.

Uma das questões típicas no desenvolvimento de uma EDT é até onde deve ser realizado o desdobramento do trabalho, ou seja, quantos níveis devem ser desenvolvidos. Recomendações práticas nesse sentido, segundo Verzuh (2000), são:

- regra 8/80: as tarefas não devem ter menos do que 8 horas de trabalho e mais do que 80, ou seja, a duração das tarefas deve ficar entre 1 e 10 dias;
- definir as tarefas levando em conta o período de avaliação: se este for semanal, evitar que as tarefas tenham tempos maiores do que uma semana para sua execução. Isso evita relatos de trabalho executado como 25%, 40% ou 68%, por exemplo;
- a necessidade de desdobrar ou não uma dada tarefa também deve ser pensada em função da maior ou menor facilidade nas estimativas de tempo, custo e recursos, da clara definição do(s) responsável(is) pela tarefa e pela maior ou menor facilidade de controle da tarefa (resultados tangíveis).

3.7.3 Considerações gerais sobre o gerenciamento do escopo

Segundo Raz e Globerson (1998), entre os elementos essenciais na definição do escopo do projeto encontram-se os pacotes de trabalho, que

consistem no trabalho requerido para completar um processo ou negócio específico, tal como um relatório, uma concepção, um desenho, um protótipo, entre outros. A determinação do tamanho e do conteúdo dos pacotes de trabalho é de grande importância para um apropriado gerenciamento do projeto e, assim, os autores propõem uma lista de verificação para avaliar se há necessidade de desdobramento adicional dos pacotes de trabalho, conforme mostrado a seguir:

- a. A precisão da estimativa dos custos e da duração das atividades deve ser melhorada?
- b. Existe mais do que um colaborador responsável por dado conteúdo de trabalho?
- c. O conteúdo de trabalho inclui mais do que uma atividade?
- d. É necessário conhecer precisamente a duração das atividades internas de dado pacote de trabalho?
- e. É necessário definir os custos das atividades internas dos pacotes de trabalho?
- f. Existem dependências entre atividades internas de um pacote de trabalho com outros pacotes de trabalho?
- g. Os recursos alocados aos pacotes de trabalho mudam com o tempo?
- h. Existem critérios de aceitação aplicáveis antes da finalização de um pacote de trabalho?
- i. Existem entregas intermediárias que podem ser usadas para gerar fluxo de caixa positivo?
- j. Existem riscos específicos que necessitam atenção específica?

Caso o número de respostas positivas para as questões anteriores seja grande, configura-se a necessidade de desdobramento adicional dos pacotes de trabalho. Além da lista de verificação do desdobramento dos pacotes de trabalho em uma EDT, os autores sugerem uma estrutura genérica para registrar as informações mais relevantes de cada pacote de trabalho (Figura 3.11).

3.8 Tempo e custo do projeto

O tempo e o custo do projeto estão entre as variáveis mais importantes para o seu sucesso. Para tratá-las existem processos e ferramentas sob o

contexto do gerenciamento do tempo e do custo, cujos principais aspectos serão vistos a seguir.

Definição de pacotes de trabalho				
Identificação:				
Nome do projeto: _____		Código do projeto: _____		Gerente do projeto: _____
Nome do pacote de trabalho: _____		Código do pacote de trabalho: _____		Proprietário do pacote de trabalho: _____
Entregas: _____				
Revisão n°: _____		Data: _____		Revisão anterior: _____
Requisitos de recursos:				
Recursos humanos	Quantidade	Outros recursos	Quantidade	Custo
Engenheiro	_____	Fornecedor	_____	_____
Editor	_____	Equipamento	_____	_____
Programador	_____	Materiais	_____	_____
Outro	_____	Instalações	_____	_____
Orçamento total do pacote de trabalho: _____				
Dependências:				
Entradas requeridas: _____				
Coordenação requerida: _____				
Critério de conclusão: _____				
Sucessores imediatos: _____				
Riscos: _____				
Cronograma:				
Duração (dias/semanas): _____				
Tempo de início: _____		Início tardio: _____		Início do cronograma: _____
Tempo de término: _____		Término tardio: _____		Término do cronograma: _____
Controle do progresso:				
Critérios para medição de desempenho: _____				
Marcos internos/datas esperadas: _____				
Aprovação:				
Responsável:	Nome: _____	Assinatura: _____	Data: _____	
Cliente:	Nome: _____	Assinatura: _____	Data: _____	
Gerente:	Nome: _____	Assinatura: _____	Data: _____	

Figura 3.11 Estrutura genérica de registro de informações de pacotes de trabalho (Raz e Globerson, 1998).

3.8.1 Gerenciamento do tempo do projeto

Segundo o PMI (2000), o gerenciamento do tempo do projeto envolve os seguintes processos: definição, seqüenciamento e estimativa de duração das atividades e elaboração e controle do cronograma. Os quatro primeiros são aqueles processos básicos do planejamento do projeto (Figura 3.5) e serão descritos a seguir, com as respectivas orientações e ferramentas de suporte.

A **definição das atividades do projeto** consiste no desdobramento dos trabalhos necessários para alcançar os resultados especificados para o pro-

jeto. Nessa definição, as atividades devem ser identificadas e documentadas, estando de acordo com os objetivos e o escopo do projeto e os elementos da EDT.

A definição das atividades do projeto ocorre em geral sob duas situações principais. A primeira, em que o projeto sendo planejado é similar a outros projetos já executados pela organização. Por exemplo, o projeto de construção de um edifício, uma vez que a empresa já construiu vários outros edifícios similares. No segundo caso, a definição das atividades deve ser realizada para novos projetos, sem similares na organização. Por exemplo, o projeto de desenvolvimento de um novo produto que não faz parte da linha de produção atual da empresa.

No primeiro caso, a definição das atividades é fortemente influenciada pelo histórico dos projetos anteriores, como fonte primária de informações para o planejamento. O uso dessas informações se torna apropriado para a definição das atividades, mas também para decidir se certas atividades são realmente necessárias e importantes nesse novo projeto, com base nos resultados dos projetos anteriores.

No segundo caso, de novos projetos para a organização, ou mesmo quando se está implantando sistemáticas de gerenciamento de projetos, a experiência do pessoal de planejamento, bem como um modelo de desenvolvimento de produtos, são elementos essenciais para orientar a definição das atividades do projeto. O modelo de desenvolvimento de produtos fornece grande parte dos elementos da EDT na forma de fases, atividades e tarefas a serem executadas para o desenvolvimento do produto, que são logicamente definidas e estruturadas. A experiência dos planejadores, por sua vez, orienta a definição e decisão sobre certas atividades do projeto, baseado principalmente em analogias com projetos já executados. As Tabelas A.1 a A.4 dão uma boa orientação para a definição das atividades e tarefas, considerando as funções no processo de projeto de máquinas.

Verzuh (2000) recomenda os seguintes procedimentos para auxiliar na definição das atividades do projeto:

- a partir do escopo do projeto, listar todos os resultados esperados da sua execução;
- listar todas as atividades necessárias para produzir os resultados esperados. Em seguida, deve-se desdobrar cada atividade em tarefas até se chegar a uma tarefa que não possa ou não necessite mais ser desdobrada;

- seqüenciar a estrutura de desdobramento do trabalho segundo as suas relações de dependência e a partir do nivelamento dos recursos disponíveis para o projeto (esse procedimento, em particular, será tratado mais adiante).

Segundo Hoffmeister (2003), a definição das atividades do projeto deve ser baseada em um modelo de desenvolvimento de produtos, principalmente na orientação de profissionais de planejamento pouco experientes. O autor recomenda as seguintes etapas para auxiliar nessa definição:

- pesquisa bibliográfica: coletar as informações necessárias sobre as ferramentas empregadas no processo de desenvolvimento de produtos e seus típicos resultados; listar os marcos de tomada de decisão com base nas fases do modelo de desenvolvimento de produtos e listar os principais resultados de cada marco;
- entrevista com especialistas: consultar os potenciais executores dos resultados identificados na etapa anterior para identificar em detalhes as atividades necessárias para sua execução;
- análise das informações: analisar criticamente as atividades listadas procurando definir os demais elementos necessários, como entradas e saídas, entre outros, de cada atividade para a completa definição dos trabalhos necessários, utilizando como base o padrão de modelagem IDEF0 (NIST, 1993);
- esboço inicial das atividades: revisar e listar as atividades resultantes das etapas anteriores como base para os demais processos de planejamento.

O **seqüenciamento das atividades** do projeto consiste na identificação e documentação das relações lógicas entre as atividades e forma a base para posterior elaboração do cronograma do projeto. Alguns métodos recomendados para a execução desse processo são: método do diagrama de precedência (PDM – *Precedence Diagram Method*) e Matriz de Estruturação do Projeto (MEP), esta última mais conhecida como DSM (*Design Structure Matrix*).

O PDM consiste em uma forma de rede para representar as relações de dependência entre as atividades, sendo que os nós da rede (caixas ou retângulos) representam as atividades, e as flechas, as dependências (Figura 3.12).

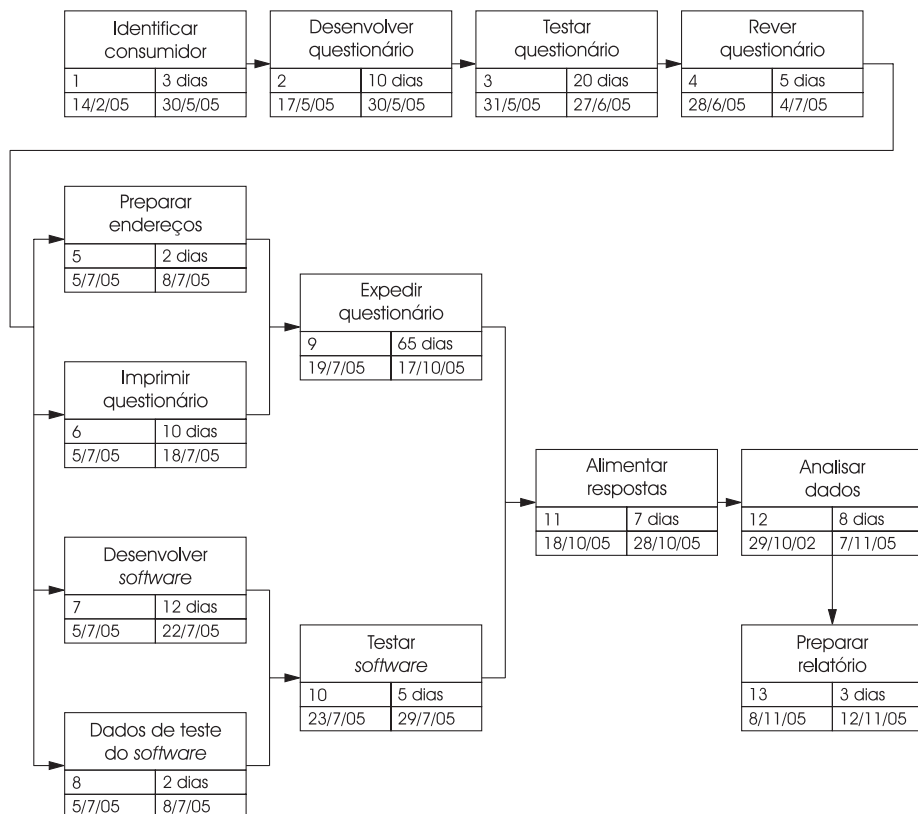


Figura 3.12 Exemplo de um PDM.

Observam-se, na Figura 3.12, além das dependências entre as atividades, o caminho crítico do projeto, definido pela seqüência de atividades onde o tempo de execução é maior, e as informações, como datas de início e fim e duração da atividade. Incluem-se aí também as atividades que podem ser executadas em paralelo. Nesse tipo de representação, entretanto, não se consegue visualizar as interações e realimentações entre as atividades de um projeto, as quais são típicas em projetos de desenvolvimento de produtos. Esse tipo de informação é mais bem apresentado em métodos como a MEP.

A MEP auxilia no seqüenciamento das atividades de projeto de forma compacta, sendo as dependências entre as atividades estabelecidas de acordo com a escala de relacionamento adotada. Nesse método as atividades de projeto são dispostas em uma matriz, em suas linhas e colunas (Figura 3.13).

	A_1	A_2	...	A_n
A_1	a_{11}	a_{12}	...	a_{1n}
A_2	a_{21}	a_{22}	...	a_{2n}
...			...	
A_n	a_{n1}	a_{n2}	...	a_{nn}

Figura 3.13 Representação genérica de uma MEP.

Os relacionamentos na diagonal da matriz, ou seja, entre as próprias atividades, são nulos. Os demais relacionamentos podem ser estabelecidos de duas formas principais:

1. Se a atividade A_j fornece informações para a atividade A_i , então o relacionamento é $a_{ij} = 1$ e representa uma dependência do tipo seqüencial término para início.
2. Se a atividade A_j não fornece informações para a atividade A_i , então o relacionamento é $a_{ij} = 0$ (para $i \neq j$) e representa uma dependência do tipo paralela.

Empregando-se essas definições para o exemplo mostrado na Figura 3.12, obtém-se uma representação das dependências entre as atividades de projeto conforme mostrado na Figura 3.14.

Há três tipos principais de relacionamentos entre as atividades de projeto, que podem ser representados nos métodos PDM e MEP. A definição desses relacionamentos e suas típicas representações são comparativamente mostradas na Figura 3.15. No relacionamento em paralelo as atividades estão desacopladas, isto é, a atividade A é independente da atividade B, e vice-versa, o que é representado por zero, na matriz. Nesse caso, as duas atividades podem ser desenvolvidas em paralelo. O relacionamento seqüencial, com representação em série para as atividades, indica que A está desacoplada de B, mas B é dependente de A, indicado por 1 na matriz. O relacionamento acoplado A e B é interdependente, requerendo, nesse caso, um desenvolvimento simultâneo.

A decisão sobre o tipo de dependência entre atividades de projeto depende de certos fatores, dentre os quais a natureza das entradas e saídas das atividades é um dos mais importantes. O PMI (2000) aponta algumas categorias de dependências que podem ajudar na definição desses relacionamentos:

Atividades		A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11	A12	A13
		Identificar o consumidor	Desenvolver questionário	Testar questionário	Rever questionário	Preparar endereços	Imprimir questionário	Expedir questionário	Desenvolver software	Dados de teste do software	Testar software	Alimentar respostas	Analisar dados	Preparar relatório
A1	Identificar o consumidor	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
A2	Desenvolver questionário	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
A3	Testar questionário	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
A4	Rever questionário	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
A5	Preparar endereços	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
A6	Imprimir questionário	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
A7	Expedir questionário	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0
A8	Desenvolver software	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
A9	Dados de teste do software	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
A10	Testar software	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0
A11	Alimentar respostas	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0
A12	Analisar dados	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
A13	Preparar relatório	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0

Figura 3.14 Exemplo de aplicação de uma MEP

Tipos de relacionamentos entre atividades																														
Relacionamento	Paralelo	Seqüencial	Acoplado																											
Representação gráfica de PDM																														
Representação de MEP 1 e 0	<table border="1"> <tr><td></td><td>A</td><td>B</td></tr> <tr><td>A</td><td>A</td><td>0</td></tr> <tr><td>B</td><td>0</td><td>B</td></tr> </table>		A	B	A	A	0	B	0	B	<table border="1"> <tr><td></td><td>A</td><td>B</td></tr> <tr><td>A</td><td>A</td><td>0</td></tr> <tr><td>B</td><td>1</td><td>B</td></tr> </table>		A	B	A	A	0	B	1	B	<table border="1"> <tr><td></td><td>A</td><td>B</td></tr> <tr><td>A</td><td>A</td><td>1</td></tr> <tr><td>B</td><td>1</td><td>B</td></tr> </table>		A	B	A	A	1	B	1	B
	A	B																												
A	A	0																												
B	0	B																												
	A	B																												
A	A	0																												
B	1	B																												
	A	B																												
A	A	1																												
B	1	B																												

Figura 3.15 Tipos de relacionamentos entre as atividades e suas representações.

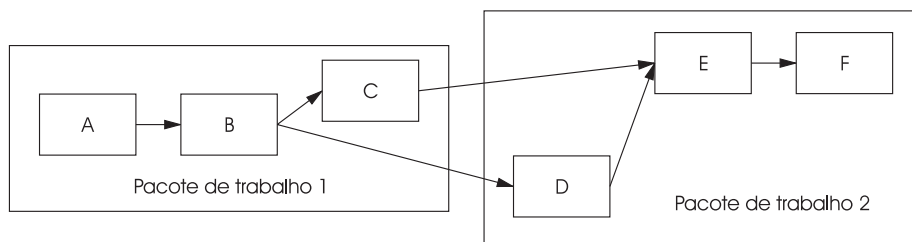
- dependências obrigatórias: inerentes ao trabalho que está sendo efetuado, não podem ser desconsideradas. Geralmente envolvem limitações físicas. Por exemplo, a construção de um protótipo precede seu teste;
- dependências arbitrárias: estabelecidas pela equipe de desenvolvimento do produto, geralmente de acordo com a experiência e melhores práticas numa dada área de aplicação. Por exemplo, uma equipe de desenvolvimento de produtos provavelmente não solicitará a produção de um lote piloto do produto sem antes ter construído e testado o protótipo do produto. Entretanto, dependendo da solução obtida, da complexidade do produto e da experiência da equipe, o lote piloto pode ser arbitrariamente solicitado sem os testes com o protótipo;
- dependências externas: relacionadas a fatores externos ao projeto. Um exemplo típico consiste no teste de um protótipo que depende de um equipamento que será fornecido por outra empresa.

Outro aspecto relacionado ao seqüenciamento das atividades de projeto refere-se ao nível em que esses relacionamentos devem ser construídos: atividades ou pacote de trabalho. Os pacotes de trabalho, por definição, segundo Raz e Globerson (1998), são as menores partes gerenciáveis de um projeto. Entretanto, cada pacote de trabalho consiste em um número de atividades e, se as dependências entre as atividades cruzam as fronteiras dos pacotes de trabalho, pode-se perder precisão nos relacionamentos, conforme o exemplo a seguir.

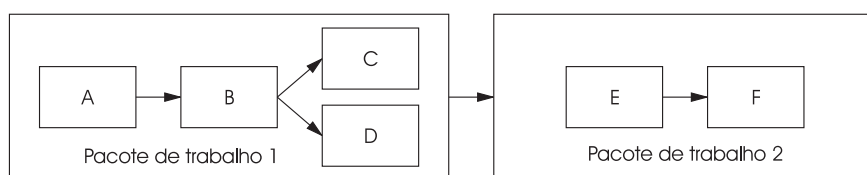
Na Figura 3.16a observam-se dois pacotes de trabalho, cada um constituído de três atividades. Os relacionamentos entre as atividades são seqüenciais, do tipo término para início. Na construção da rede de relacionamentos do projeto, deve-se definir os relacionamentos entre os pacotes de trabalho 1 e 2, fazendo o pacote de trabalho 1 preceder o 2. Quando isso é feito, tendo em vista os relacionamentos entre as atividades, perde-se a informação de que a atividade D pode ser executada paralelamente à atividade C. Uma solução que pode ser adotada, nesse caso, consiste em reorganizar as atividades dos pacotes de trabalho, conforme a Figura 3.16b, possibilitando construir uma rede mais precisa somente com relacionamentos do tipo término para início entre os pacotes de trabalho.

Como orientação geral, as atividades que são altamente interdependentes devem ser reunidas em um mesmo pacote de trabalho, a fim de

reduzir o acoplamento entre os pacotes de trabalho e tornar mais fácil a construção da rede de relacionamentos do projeto.



a. Acoplamento entre atividades de diferentes pacotes de trabalho



b. Reagrupamento de atividades com redução de acoplamento

Figura 3.16 Efeito do conteúdo dos pacotes de trabalho na construção de uma rede de projeto.

A **estimativa de duração das atividades** do projeto, segundo PMI (2000), consiste na coleta de informações sobre o escopo e os recursos do projeto para calcular os tempos necessários das atividades como base para a elaboração do cronograma do projeto. Nesse processo, normalmente se recorre à pessoa ou ao grupo que executará determinada atividade para definir sua duração. Em grandes projetos, entretanto, esse procedimento pode ser inadequado. Nesses casos deve-se recorrer aos responsáveis pelas equipes executoras do projeto e de suas partes (gerências funcionais, líderes de equipes, entre outros).

A estimativa de duração das atividades é um processo progressivo e depende da qualidade e disponibilidade dos dados. Pela própria definição, a estimativa de tempo possui incertezas inerentes, as quais devem ser minimizadas através de uma adequada coleta e análise das informações sobre cada atividade. São muito importantes, nesse processo, os dados históricos e a experiência dos estimadores.

Segundo Kerzner (2001), existem três tipos de estimativas, com suas correspondentes precisões, aplicados à estimativa de custos. A primeira

delas é uma análise de ordem de grandeza, realizada sem o uso de dados detalhados. A precisão desse tipo de estimativa é de aproximadamente 35%. Um segundo tipo, de estimativa aproximada (ou *top-down*), também conduzida sem dados muito detalhados, apresenta uma precisão na faixa de $\pm 15\%$. Esse tipo de estimativa é baseado em analogias com projetos similares. Na estimativa definitiva ou detalhada, os valores são baseados em dados detalhados sobre o problema em questão, sejam estes históricos, de simulações, experimentos, entre outros, e sua precisão encontra-se em aproximadamente $\pm 5\%$.

A estimativa de duração de uma atividade depende dos recursos que serão alocados para sua execução. Entretanto, essa relação não é linear, pois depende, em muitos casos, de limitações físicas para a execução da atividade. Por exemplo, um projetista leva duas horas para modelar um componente num ambiente CAD. Se outro projetista for alocado para essa mesma atividade, não há garantia na redução do tempo pela metade, uma vez que podem existir restrições operacionais no uso simultâneo do *software* e do *hardware*.

O tempo de execução de uma atividade também é influenciado pela qualidade dos recursos alocados (pessoas, equipamentos, materiais etc.). Pessoas mais experientes tendem a desempenhar mais rapidamente determinada atividade em comparação aos menos experientes, assim como *software* e *hardware* mais modernos, após um treinamento adequado, contribuem para reduzir o tempo na modelagem e na simulação de componentes ou sistemas.

A natureza das atividades também tem influência em suas estimativas. Atividades mais rotineiras são mais facilmente previsíveis em comparação a atividades mais criativas. Pode-se, através de métodos de criatividade, suportar as atividades criativas, mas é pouco provável que se possa determinar um tempo preciso para ser criativo.

A importância em se determinar adequadamente a duração das atividades do projeto e, como consequência, a própria duração do projeto, está relacionada diretamente ao sucesso do produto no mercado. Várias pesquisas têm demonstrado que o atraso no lançamento de produtos no mercado em relação aos concorrentes provocam perdas nos lucros e aumento dos custos de produção.

Em geral, as melhores práticas para a estimativa da duração das atividades são:

- execução, pela pessoa ou equipe de projeto responsável pela realização da atividade, resulta em estimativa com menos influências e maior precisão do que uma pessoa avaliando todas as atividades, e compromisso em atender aos prazos. Em projetos grandes, esta prática torna-se difícil;
- usar, sempre que possível, o julgamento de especialistas apoiado em dados históricos;
- obter a participação de subcontratantes ou de fornecedores no que se relaciona à avaliação dos tempos de fornecimento de serviços, materiais, componentes, montagens ou equipamentos;
- executar estimativas por analogia a projetos semelhantes;
- executar estimativa por simulação, que envolve o cálculo de múltiplas durações com diferentes conjuntos de suposições.

Algumas orientações para a estimativa de tempo das atividades de projeto são sugeridas por Verzuh (2000):

- ao estabelecer a duração estimada de uma atividade é importante inserir todo o tempo necessário para executá-la, incluindo, por exemplo, tempos de espera, preparação, potenciais atrasos, entre outros;
- nas atividades em que são necessários conhecimentos específicos para executá-las, aumentar o número de pessoas nem sempre resulta em menor duração;
- evitar estimativas otimistas e prontamente apresentadas sem analisar os fatores de influência na execução da atividade;
- levar em conta as limitações pessoais e as restrições de recursos na estimativa de duração das atividades;
- deve-se defender apropriadamente as estimativas realizadas durante um processo de negociação, evitando distorções acentuadas no cronograma; em vista de pressões por menores prazos e custos, as reduções realizadas devem ser baseadas nos resultados do projeto e na produtividade dos recursos;
- realizar estimativas detalhadas por fase do desenvolvimento do produto, e de ordem de grandeza do processo restante, em vez de procurar uma estimativa precisa de todo o processo. Nesse caso, cada fase do desenvolvimento do produto é tratada como se fosse um projeto;
- todos os participantes do projeto devem ser responsáveis pelas estimativas do projeto, sejam de tempo ou de custo.

Outro aspecto interessante na estimativa de tempo das atividades de projeto, igualmente válido para a estimativa de seus custos, refere-se à seguinte questão: qual o nível de divisão do trabalho mais apropriado para as estimativas de tempo e de custos?

Segundo Raz e Globerson (1998), estimativas baseadas em pacotes de trabalho menores são, em geral, mais precisas. Entre os fatores de influência incluem-se: melhor base de informações para as estimativas e a natureza estatística dos erros envolvidos.

Com relação ao segundo fator, devido às incertezas inerentes no processo, cada estimativa possui um erro aleatório, podendo ser igualmente positivo ou negativo. Quando as estimativas são somadas, alguns dos erros são cancelados, resultando que o erro da soma das estimativas tem um valor menor comparado à soma dos erros das estimativas originais.

Em geral, aumentando-se o número de pacotes de trabalho e fazendo-os de tamanhos iguais, tanto quanto possível, contribui-se para aumentar a precisão nas estimativas totais de tempos e custos do projeto, desde que as estimativas sejam mutuamente independentes ou fracamente correlacionadas.

A **elaboração do cronograma do projeto** consiste, em essência, numa síntese dos resultados dos processos anteriores e de suas apresentações em forma gráfica, empregando-se, em geral, um diagrama de barras, o Gantt. Também são incluídas, nesse processo, as atividades relacionadas à determinação das datas de início e fim do projeto, cálculo do cronograma e nivelamento de recursos.

Entre os resultados desse processo está o próprio cronograma do projeto, mostrando as datas planejadas de início e fim de cada atividade. Esse cronograma pode ser apresentado em forma de resumo ou em detalhes. Os formatos mais usuais são: diagrama de rede (Figura 3.12), em que, além do relacionamento lógico entre as atividades do projeto, se observam datas de início e fim de cada atividade e o caminho crítico e gráfico de barras, conhecidos como gráfico de Gantt (Figura 3.17).

Também são resultados da elaboração do cronograma do projeto os documentos auxiliares que descrevem todas as premissas e restrições identificadas na programação, bem como a forma de gerenciamento do cronograma, principalmente de suas alterações.

O cálculo do cronograma consiste na aplicação de técnicas de programação visando otimizar a execução do projeto entre os limites estabele-

lado subtraindo a estimada duração da atividade do tempo mais tardio de término da atividade: $LSt = Lft - \text{tempo de duração}$.

Com base na definição desses tempos, aplicam-se as seguintes regras durante o processo de programação:

- regra 1: o tempo mais cedo de início (ESt) de uma atividade particular deve ser o mesmo, ou o valor do maior tempo mais cedo de término (EFt) de todas as atividades precedentes da (ou que terminam na) atividade particular. Ou seja, $ESt (\text{atividade } X) = \text{maior valor } [EFt (\text{das atividades que terminam em } A)]$. A Figura 3.18 mostra um exemplo parcial de aplicação dessa regra onde o tempo (ESt) da atividade L originou-se do maior tempo (EFt) das atividades I e J;

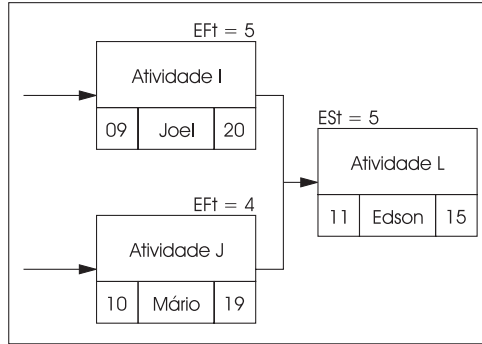


Figura 3.18 Exemplo parcial de aplicação da regra 1 na programação de um projeto.

- regra 2: o tempo mais tarde de término (Lft) de uma atividade particular deve ser o mesmo, ou o menor valor dos tempos de mais tarde início (LSt) das atividades que iniciam nesta atividade particular. Ou seja, $Lft (\text{atividade } X) = \text{menor valor } [LSt (\text{das atividades que iniciam em } A)]$. A Figura 3.19 mostra um exemplo parcial de aplicação dessa regra onde o tempo (Lft) da atividade L originou-se do menor tempo (LSt) das atividades I e J.

Com base nessas definições e regras, procede-se a elaboração do cronograma do projeto verificando a viabilidade em cumprir os prazos especificados, determinando as folgas do projeto e definindo o caminho crítico. As folgas do projeto devem ser, se possíveis, positivas para evitar atrasos na execução do cronograma e são calculadas pelas diferenças entre o tempo de término mais tarde e o tempo mais cedo de término e o tempo mais

tardio de início e o tempo mais cedo de início, ou seja: $F = LFt - EFt = LSt - ESt$.

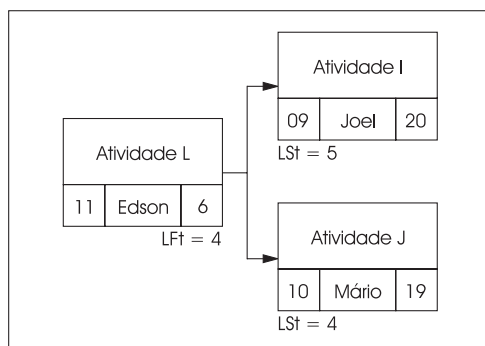


Figura 3.19 Exemplo parcial de aplicação da regra 2 na programação de um projeto.

Os tipos de *software* disponíveis para auxiliar no gerenciamento de projetos, em sua grande maioria, automatizam esses procedimentos tornando-se fácil e rápido promover simulações, considerando variações nos dados de cada atividade do projeto, como redução de seus tempos, alocação de mais recursos, entre outros. Em Verzuh (2000), tem-se uma boa descrição de várias recomendações para equilibrar um projeto e seu cronograma.

3.8.2 Gerenciamento de custos do projeto

Grande parte dos conceitos e orientações sobre estimativas de tempo e elaboração do cronograma do projeto se aplica, também, à estimativa dos custos das atividades de projeto e à elaboração de seu orçamento.

O gerenciamento de custos do projeto, segundo o PMI (2000), consiste em assegurar que ele será concluído dentro do orçamento aprovado. Os seguintes processos estão envolvidos: planejamento dos recursos e estimativa, orçamento e controle de custos. Na fase de planejamento, os três primeiros processos encontram-se em evidência e serão aqui descritos em maiores detalhes.

O gerenciamento de custos do projeto ocorre em diferentes momentos do desenvolvimento do projeto, desde o planejamento estratégico, passando pelo desenvolvimento do projeto, até o gerenciamento de custos do ciclo de vida do produto. No planejamento estratégico, por exemplo,

podem ser aplicados métodos para a análise de retorno de investimento de projetos candidatos a determinadas metas da empresa. No desenvolvimento do projeto, principal foco neste capítulo, busca-se definir e programar os recursos e seus custos para a execução do projeto, na forma de detalhamento do orçamento aprovado. Com relação ao gerenciamento de custos do ciclo de vida do produto, interessa verificar o efeito de decisões de projeto sobre os custos do uso do produto. Grande parte das atividades, sob esse enfoque, é própria do processo de projeto, seja na proposição e estimativa de custos de soluções conceituais para o produto, seja no detalhamento dos custos do ciclo de vida da solução desenvolvida para o produto. Essas atividades têm sido estudadas e aplicadas, por exemplo, sob a perspectiva de aspectos econômicos no processo de projeto do produto e projeto para a viabilidade econômica (Back, 1983, Blanchard e Fabrycky, 1990).

O processo de **planejamento de recursos** consiste na determinação de quais recursos e que quantidades devem ser usados para executar as atividades do projeto. Esses recursos são: financeiros; de mão-de-obra, o respectivo tipo individual ou especialidades; de equipamentos; de materiais; de facilidades; e outros insumos necessários, mas geralmente considerados de disponibilidade limitada.

O planejamento de recursos deve começar com base no escopo do projeto e nas atividades definidas na EDT. Segue-se com o uso de informações históricas sobre os típicos recursos utilizados em projeto similares e com a determinação da disponibilidade dos recursos. Este último aspecto deve ser confrontado com a definição das atividades e o cronograma do projeto. O principal resultado desse processo consiste numa descrição detalhada dos tipos e quantidades de recursos para cada atividade do projeto.

No planejamento de recursos para o projeto encontram-se várias recomendações para orientar os gerentes de projeto. Dentre elas, conforme Kerzner (2001), deve-se: constituir um núcleo de colaboradores, que atue no projeto desde seu início até o final; não subestimar os recursos quanto ao trabalho que eles podem executar; prever contingências; e empregar, sempre que possível, pessoal da própria organização, quando se requer conhecimento da empresa.

Um aspecto importante no planejamento de recursos consiste no que se denomina “nivelamento de recursos”. Em estruturas do tipo matricial, os gerentes de projeto negociarão recursos com os gerentes funcionais da

organização. Deve-se tomar cuidado para que, no processo de requisição e alocação de recursos ao projeto, as necessidades sejam o mais uniforme possível ao longo do tempo de projeto, evitando-se alocações excessivas em certos períodos de tempo comparado com alocações mínimas em outros. Essa desatenção provoca dificuldades de programação de recursos aos gerentes funcionais, o que ocasiona conflitos na organização. Algumas orientações para o nivelamento de recursos, segundo Verzuh (2000):

- identificar os períodos de pico do projeto, geralmente próximos às entregas parciais do projeto, para verificar se os recursos planejados são realistas;
- nos períodos de pico, procurar atrasar as atividades não críticas do projeto, ou seja, aquelas fora do caminho crítico com folga positiva;
- reavaliar as estimativas das atividades de projeto, verificando se é possível reduzir o número de pessoal em determinada tarefa, executando-as em um tempo maior. Nesse caso, os recursos disponíveis poderão ser alocados em outras tarefas.

Outro compromisso que deve ser analisado no planejamento de recursos ocorre entre a programação de atividades em paralelo e os recursos disponíveis. Atividades programadas em paralelo, de fato, ajudam a reduzir o tempo de execução do projeto. Nesse caso, parte-se do pressuposto de que todos os recursos estarão disponíveis para a execução das atividades. Deve-se verificar se nesse caso não haverá picos de recursos alocados no projeto e se os mesmos estarão disponíveis de fato, caso contrário, soluções conforme apresentadas na Figura 3.20 podem ajudar no nivelamento dos recursos.

O processo de **estimativa de custos do projeto** consiste em estimar os custos dos recursos necessários e alocados para completar as tarefas individuais do projeto. Enquanto processo de estimativa, segue as mesmas orientações estabelecidas anteriormente para a estimativa de duração das atividades do projeto. A execução desse processo contribuirá para definir quanto custará o projeto.

A estimativa de custo das atividades do projeto, tendo em vista seus objetivos, tempos, recursos alocados e os custos unitários dos recursos, também depende dos preços estabelecidos pela organização, que, por sua vez, podem estar de acordo com diferentes estratégias.

Segundo Kerzner (2001), dois tipos de projeto podem ser considerados: no tipo I, trata-se de projeto único, sem potencial de repetir-se ou de

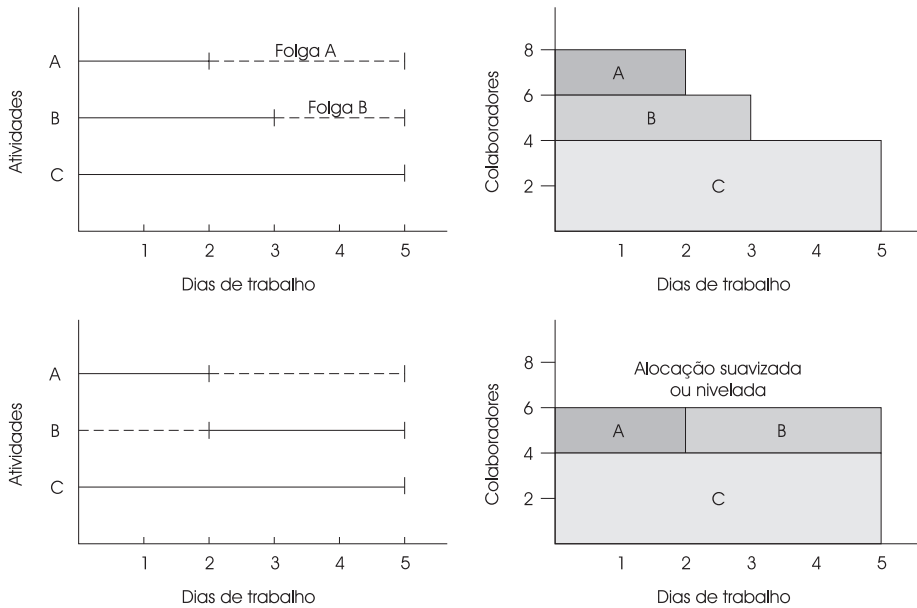


Figura 3.20 Exemplo de solução adotada para o nivelamento de recursos.

ocorrer outro projeto semelhante e com o mesmo cliente; no tipo II, trata-se de um projeto de penetração no mercado, ou seja, pode ser um caso de entrada para outros negócios, pode repetir-se em um maior número de projetos ou produtos semelhantes, ou obter um ponto de apoio em um mercado novo.

Nos projetos do tipo I, tem-se o objetivo de elaborar uma proposta vencedora e executar o projeto satisfatoriamente, com lucro, de acordo com os termos do contrato assinado. As estratégias de fixação de preço para esse projeto, e que influenciarão as estimativas de custos do projeto, são:

- desenvolver modelos e orientações de estimativa de custo e elaborar o projeto conceitual do produto para mínimo custo e atendimento mínimo dos requisitos de projeto;
- estimar realisticamente os custos para atendimento mínimo dos requisitos de projeto;
- revisar o projeto conceitual do produto e reduzir os custos desnecessários;
- obter o comprometimento dos participantes do projeto quanto aos custos estabelecidos;
- ajustar as estimativas de custos para os riscos do projeto;

- adicionar margens de lucro e determinar o preço do projeto;
- buscar informações da concorrência para comparações;
- apresentar a proposta somente se o preço for competitivo.

No tipo II, o objetivo é vencer o projeto e ter um bom desempenho para conquistar um ponto de apoio no mercado ou novos consumidores, em vez de obter lucros no primeiro projeto. Nesse caso, as estratégias recomendadas são:

- desenvolver o projeto básico do produto, apropriado para avaliar os custos, em conformidade com os requisitos do projeto mas com riscos mínimos;
- estimar os custos realisticamente;
- revisar o projeto básico e reduzir os custos desnecessários;
- determinar custos mínimos realistas e obter comprometimento dos participantes;
- determinar custos incluindo os riscos;
- comparar as estimativas com o orçamento do cliente ou de concorrentes;
- definir a margem de lucro para estabelecer uma proposta vencedora, podendo esta ser negativa;
- decidir se a margem de lucro é compatível com o desejo de vencer a proposta e cotar o preço de maior probabilidade para vencer a proposta;
- descrever, no caso em que o preço é menor do que os custos, quais as fontes de recursos disponíveis para cobrir eventuais prejuízos. Isso demonstra transparência e credibilidade no orçamento.

Nota-se que, para a aplicação dessas estratégias, faz-se importante o processo de estimativa de custos do produto, principalmente em suas fases iniciais de desenvolvimento. Conforme mencionado no início, trata-se do enfoque sobre análise econômica no projeto de produto, assunto que será tratado no Capítulo 8.

O processo de **orçamento de custos** trata da alocação dos recursos financeiros estimados aos itens individuais de trabalho, com a finalidade de estabelecer uma base de custo para medir o desempenho financeiro do projeto. Em geral, é apresentado na forma de planilhas, indicando as atividades e seus custos, numa linha de tempo, proporcionando a definição do fluxo de caixa do projeto.

Empregando-se *software* de auxílio ao gerenciamento de projetos, tendo definidos o cronograma, os recursos e os custos dos recursos, obtém-se automaticamente o fluxo de caixa do projeto, conforme exemplo da Figura 3.21.

	Maio	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Total
Identificar consumidor	R\$ 24,00							R\$ 24,00
Desenvolver questionário	R\$ 80,00							R\$ 80,00
Testar questionário	R\$ 8,00	R\$ 152,00						R\$ 160,00
Rever questionário		R\$ 8,00	R\$ 32,00					R\$ 40,00
Preparar endereços			R\$ 16,00					R\$ 16,00
Imprimir questionários			R\$ 80,00					R\$ 80,00
Desenvolver <i>software</i>			R\$ 96,00					R\$ 96,00
Dados de teste do <i>software</i>			R\$ 16,00					R\$ 16,00
Expedir questionário			R\$ 72,00	R\$ 176,00	R\$ 168,00	R\$ 104,00		R\$ 520,00
Testar <i>software</i>			R\$ 40,00					R\$ 40,00
Alimentar respostas						R\$ 56,00		R\$ 56,00
Analisar dados						R\$ 24,00	R\$ 40,00	R\$ 64,00
Preparar relatório							R\$ 24,00	R\$ 24,00
Total	R\$ 112,00	R\$ 160,00	R\$ 352,00	R\$ 176,00	R\$ 168,00	R\$ 184,00	R\$ 64,00	R\$ 1.216,00

Figura 3.21 Exemplo de fluxo de caixa de projeto obtido com auxílio de *software*.

Até aqui, apresentou-se a base conceitual de procedimentos e de métodos e ferramentas para o planejamento de projetos, considerando as variáveis de escopo, tempo e custo. Essas variáveis não são as únicas envolvidas no gerenciamento de projetos, mas são essenciais para a medida de seu sucesso.

Existe uma série de outras variáveis que também podem comprometer o sucesso de um projeto e para as quais são dedicados, em geral, estudos específicos ou áreas específicas do gerenciamento de projetos: qualidade, riscos, aquisições, comunicações, recursos humanos e integração.

Foge ao escopo deste capítulo o estudo em detalhes dos processos de gerenciamento associados a cada uma dessas variáveis. Esse conhecimento pode ser obtido em literatura especializada, conforme as referências bibliográficas apresentadas ao fim deste capítulo.

3.9 Execução, controle e encerramento do processo de desenvolvimento de produtos

Após o planejamento do projeto, iniciam-se os processos de execução e controle que, em conjunto com o próprio processo de planejamento, for-

mam um ciclo contínuo de atividade até o encerramento do projeto ou de uma de suas fases.

A execução do projeto consiste, em essência, em pôr em prática o que foi planejado, assegurando que os recursos estarão disponíveis e coordenando-os conforme foram programados. O controle do projeto procura assegurar que os objetivos estão sendo atingidos, monitorando e avaliando seu progresso e tomando as ações corretivas, quando necessário. O processo de encerramento do projeto, ou de uma de suas fases, consiste em atividades para formalizar a aceitação dos resultados do projeto e para encerrá-lo de forma organizada, incluindo as lições aprendidas.

Esses processos são amplamente descritos na literatura e não serão aqui tratados em detalhes. Seus princípios, atividades, métodos e ferramentas podem ser obtidos na literatura recomendada.

3.10 Resumo

1. *As condições atuais impõem vários desafios para as equipes que trabalham em processos de desenvolvimento de produtos, destacando-se, assim, a necessidade de conhecimentos em gerenciamento de projetos para facilitar a execução dos processos de desenvolvimento de produto da organização.*
2. *Os conhecimentos e práticas de gerenciamento, de modo geral, foram estabelecidos ao longo do tempo, sob diferentes visões. As principais são: clássica, empírica, comportamental, de decisão e sistêmica. No gerenciamento de projetos as duas últimas são normalmente as mais empregadas.*
3. *O gerenciamento de projetos consiste na aplicação de conhecimentos, habilidades, ferramentas e técnicas nas atividades de projeto, visando satisfazer os requisitos de projeto, sendo conduzido sob os processos gerais de iniciação, planejamento, execução, controle e encerramento.*
4. *No desenvolvimento de produtos, o gerenciamento de projetos consiste na aplicação, em um ambiente de projetos, de todos os elementos do gerenciamento de projetos (princípios, conhecimentos, processos, métodos e ferramentas) para desenvolver ações, visando obter o sucesso do produto e de seu desenvolvimento, desde o planejamento até a validação. O gerenciamento do desenvolvimento de produtos diferencia-se do gerenciamento de outros tipos de projetos principalmente pela natureza das atividades, muitas delas próprias do processo de projeto de produtos e da metodologia de projeto em-*

pregada, e pelos conhecimentos e tecnologias envolvidos com o produto e os processos de produção.

5. *A execução de projeto e seu gerenciamento dependem de uma forma apropriada de organização e a maioria das pesquisas tem apontado a estrutura matricial balanceada ou equilibrada como a forma mais efetiva para se obter os resultados esperados em uma organização que trabalha com ambientes de projetos. Entretanto, a escolha de um ou outro tipo de estrutura depende muito da natureza dos problemas de projeto.*
6. *A equipe de projeto deve estar devidamente organizada e posicionada com relação aos trabalhos do projeto. Em outras palavras, o papel de cada integrante da equipe deve estar devidamente estabelecido, por exemplo, por intermédio de uma matriz de responsabilidades.*
7. *O planejamento de projetos de desenvolvimento de produtos já começa, em essência, no planejamento estratégico e do porta-fólio de produtos da organização e segue com o planejamento do escopo, do tempo, custos, qualidade, comunicações, entre outros elementos importantes para o gerenciamento adequado do projeto.*
8. *Os projetos são definidos em linhas gerais tendo em vista o planejamento estratégico da organização, que inclui as metas da empresa para determinados períodos de tempo. Quando existem projetos alternativos para atender a determinada meta, procede-se à seleção das propostas mais promissoras para o crescimento da organização. Surgem então os projetos aprovados para determinado período e sob determinado orçamento, os quais precisam ser formalizados, designando-se uma gerência e, a partir daí, iniciando-se o processo de desenvolvimento.*
9. *Os escopos do projeto e do produto são inter-relacionados e estabelecem as dimensões do projeto (ou suas limitações) para efeito de negociação, desdobramento dos demais elementos do plano de projeto (cronograma, orçamento, riscos etc.) e decisões futuras sobre potenciais mudanças no escopo.*
10. *O gerenciamento do tempo do projeto envolve os processos de definição, seqüenciamento, estimativa de duração das atividades, elaboração do cronograma e controle do cronograma.*
11. *O gerenciamento de custos do projeto, segundo o PMI (2000), consiste em assegurar que o projeto será concluído dentro do orçamento aprovado. Estão envolvidos os processos de planejamento dos recursos, a estimativa dos custos, o orçamento de custos e o controle de custos.*

3.11 Problemas e temas de discussão

1. Liste e descreva brevemente as forças ou fatores sociais e econômicos que considera terem levado à necessidade do gerenciamento de projetos.
2. Discuta as vantagens e desvantagens do gerenciamento do projeto.
3. Quais são algumas das fontes de conflitos que o gerente de projeto deve considerar e se preocupar?
4. Discuta os deveres e responsabilidades do gerente de projeto e o quanto sua presença é crítica ou importante para o sucesso do projeto.
5. Numa organização matricial pode haver conflitos de opinião sobre quem contribui mais para os lucros, o gerente de projeto ou o gerente funcional?
6. Quais são os atributos que um gerente de projeto deve possuir? Pode um indivíduo ser treinando para tornar-se um gerente de projeto? Se uma empresa mudar de uma estrutura funcional para uma estrutura matricial, alguém da própria empresa pode ser promovido e treinado ou deve-se contratar um profissional externo?
7. Como você defende a declaração de que o gerente de projeto deve ajudar a si próprio?
8. Apresente as principais diretrizes ou guias para a escolha adequada da forma de organização de gerenciamento de um projeto.
9. Como você organizaria o gerenciamento de projetos dos seguintes tipos: implantação de um laboratório de pesquisa e desenvolvimento de uma empresa; sistema de transporte de uma cidade de 50.000 habitantes; campanha política do candidato a prefeito de Florianópolis; colhedora automotriz de cereais; edifício residencial.
10. Qual é o propósito da estrutura de desdobramento do trabalho ou do projeto? Como isso pode auxiliar o gerente de projeto na organização do projeto?
11. Deveria uma empresa aceitar um projeto que requer uma imediata reestruturação organizacional? Em caso de resposta afirmativa, quais fatores deveriam ser considerados?
12. Diversos autores afirmam que a tecnologia sofre atrasos numa organização que atua por projeto, pois não há um grupo responsável

pelo desenvolvimento tecnológico de longo prazo como na organização funcional. Por outro lado, em uma organização funcional há problemas de tempos e programações. Você concorda com essas afirmações? Justifique com exemplos.

13. Quais são os passos gerais de gerenciamento de um pacote de trabalho dentro de um determinado projeto?
14. Quais são as características que distinguem o escopo do projeto do escopo do produto?
15. Como são estimados os tempos das atividades?
16. As atividades do caminho crítico devem ser gerenciadas diferentemente das atividades fora do caminho crítico?

3.12 Referências bibliográficas

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR ISO 10006: Gestão da qualidade – diretrizes para a qualidade no gerenciamento de projetos. Rio de Janeiro, 2000, 18p.
- BACK, N. *Metodologia de projeto de produtos industriais*. Rio de Janeiro, Guanabara Dois, 1983.
- BLANCHARD, B. S.; FABRYCKY, W. J. *Systems engineering and analysis*. 2.ed. Englewood Cliffs, New Jersey, Prentice-Hall, 1990.
- CHIAVENATO, I. *Introdução à teoria geral da administração*. 3.ed. São Paulo, McGraw-Hill do Brasil, 1983.
- CODAS, M. M. B. “Development of project management in Brazil – a historical overview”. *International Journal of Project Management*. v.5, n.3, 1987, p.144-8.
- HOFFMEISTER, A. D. “Sistematização do processo de planejamento de projetos: definição e seqüenciamento das atividades para o desenvolvimento de produtos industriais”. Florianópolis, 2003. 120p. Dissertação (mestrado). PPGEM – UFSC.
- KERZNER, H. *Project management: a systems approach in planning, scheduling and controlling*. 6.ed. New York, John Wiley & Sons, 2001.
- LARSON, E. W; GOBELI, D. H. “Organizing for product development projects”. *Journal of Product Innovation Management*. v.5, n.3, 1988, p.180-190.

- LEWIS, J. P. *The project manager's desk reference*. 3.ed. New York, McGraw-Hill, 2000.
- MEREDITH, J. R.; MANTEL, S. J. Jr. *Project management: a managerial approach*. 4.ed. New York, John Wiley & Sons, 2000.
- MERWE, A. P. Van Der. "Project management and business development: integrating strategy, structure, processes and projects". *International Journal of Project Management*. v.20, n.5, 2002, p.401-11.
- National Institute of Standards and Technology (NIST). "Federal Information Processing Standards Publication 183, Integration Definition for Function Modeling (IDEF0)". *FIPS PUB 183*, 1993. Disponível em: URL: <http://www.idef.com/pdf/idef0.pdf>; acessado 24/1/2007.
- PINTO, J. K. *Project management handbook*. San Francisco, Jossey-Bass Inc. Publishers, 1998
- PMI – Project Management Institute. *A guide to the project management body of knowledge: PMBOK guide*. Pennsylvania PMI, 2000.
- RAZ, T; GLOBERSON, S. "Effective sizing and content definition of work packages". *Project Management Journal*. v.29, n.4, 1998, p.17-23.
- ROMANO, L. N. "Modelo de referência para o processo de desenvolvimento de máquinas agrícolas". Florianópolis, 2003. 266p. Tese (doutorado). PPGEM – UFSC.
- VALERIANO, D. L. *Gerência em projetos: pesquisa, desenvolvimento e engenharia*. São Paulo, Makron Books do Brasil, 1998.
- VARGAS, R. V. *Gerenciamento de Projetos*. Rio de Janeiro, Brasport, 2000.
- VERZUH, E. *MBA Compacto: gestão de projetos*. Rio de Janeiro, Campus, 2000.
- WIDEMAN, R. M. "First principles of project management". Vancouver, 2000. Disponível em: URL: http://www.pmforum.org/library/papers/2000/pm1stprn_wideman.pdf; acessado em 25/1/2007.

Parte II

Projeto informacional do produto

Capítulo 4

Planejamento de produtos

4.1 Introdução

A importância do planejamento de produtos reside na necessidade de as organizações atuarem em mercados cada vez mais competitivos. A competitividade tem sido promovida, em grande parte, pela inovação em produtos, que precisa ser contínua e rápida. Inclui-se aí a capacidade de prever futuros desenvolvimentos, tanto próprios como dos concorrentes.

O planejamento de produtos busca, em essência, responder à seguinte questão: **o que será desenvolvido em função das estratégias da organização?** Decorrentes dessa questão existem várias outras, envolvendo aspectos tecnológicos, de produção e financeiros. Com relação à tecnologia, por exemplo, deve-se investigar quais são as existentes e, dentre elas, as mais promissoras para determinado período; deve-se, igualmente, monitorar e avaliar seu impacto. Sobre a produção devem-se avaliar qual será o volume a ser produzido, quais as capacidades da organização para novos desenvolvimentos e, com relação aos aspectos financeiros, qual será o retorno do investimento, em quanto tempo ocorrerá, quais os riscos envolvidos etc.

De modo geral, essas questões têm sido investigadas, de forma mais ou menos abrangente, em diferentes abordagens, como as de planejamento estratégico, planejamento de porta-fólio de produtos, planejamento da tecnologia, planejamento de projetos (*projects*) e do próprio processo de projeto do produto (*design*) em suas fases iniciais. Essas abordagens

algumas vezes se superpõem e em outras se complementam, em seus princípios, processos, métodos e ferramentas.

Neste capítulo será dada ênfase ao planejamento de produtos, considerando processos, atividades, métodos e ferramentas para orientar e apoiar a identificação e a seleção de idéias de produtos inovadores, como base para os futuros projetos da organização.

No Capítulo 3, são apresentadas algumas relações entre os típicos resultados do planejamento estratégico e do planejamento de projetos. Nessa discussão, as estratégias são relacionadas aos potenciais projetos da organização para dado período, os quais precisam ser planejados, executados e controlados. Nesse contexto, o planejamento de produtos se insere como um processo para apoiar a definição de projetos que serão desenvolvidos em termos de idéias de produtos, tecnologias, volumes de produção, retorno de investimento, entre outros elementos necessários para efetivamente obter informações para a aprovação, ou não, do projeto. Essa relação pode ser visualizada na Figura 4.1, como uma extensão da Figura 3.6.

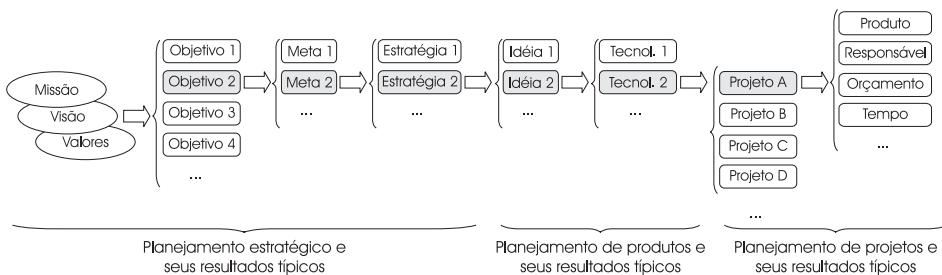


Figura 4.1 Contextualização do planejamento de produtos.

De acordo com a Figura 4.1, determinadas estratégias da organização direcionam os esforços para a busca de idéias de produtos, que deverão ser desenvolvidas e selecionadas. As idéias selecionadas poderão ser implementadas sob diferentes tecnologias. Quando essa definição for obtida em seus detalhes, considerando ainda informações do mercado e de produção, configura-se um projeto de desenvolvimento de produto, que deverá ser planejado, executado e controlado conforme os conhecimentos de gerenciamento de projetos.

Existem vários desafios no planejamento de produtos, alguns dos quais também se aplicam ao planejamento de projetos e a outras discipli-

nas de gerenciamento, bem como ao próprio processo de projeto. Entre os principais, encontra-se a definição da idéia do produto, o que envolve a identificação e a seleção dentre várias alternativas, trabalhando-se com informações insuficientes e, em geral, qualitativas. Além disso, deve-se avaliar as características e as incertezas associadas às novas propostas, servindo de base para a tomada de decisão da organização pela realização do projeto.

A Tabela 4.1 apresenta alguns desafios apontados para o planejamento de produtos, segundo Accept Software Corporation (2004).

Tabela 4.1 Desafios do planejamento de produtos (Accept Software Corporation, 2004)

Categoria	Desafios
Negócio	Assegurar o alinhamento estratégico: o alinhamento estratégico é um aspecto crítico para um gerenciamento balanceado e otimizado do porta-fólio de produtos, visando investimentos corretos de acordo com as estratégias, valores e riscos. Com os investimentos corretamente alocados, as empresas podem focar seus esforços na monitoração do porta-fólio e promover os ajustes necessários quando as mudanças ocorrem
	Assegurar decisões consistentes: o sucesso do planejamento de produtos é assegurado aplicando-se processos repetíveis e consistentes. Isso viabiliza o gerenciamento preciso das informações para apoiar a tomada de decisões, sob critérios bem definidos
	Alcançar metas de rendimento e lucratividade: aumentar a eficiência na maneira como os produtos são planejados, desenvolvidos e lançados no mercado
Mercado	Balanceamento das necessidades: desenvolver habilidades para entender as preferências do mercado e de consumidores para planejar produtos apropriados
	Respostas às mudanças: agilidade e responsabilidade diante de mudanças. Entender as mudanças e seus impactos no plano de produtos e promover os ajustes, quando necessários, são capacidades importantes para o sucesso
	Estabelecer expectativas realísticas do mercado: considerando todos os envolvidos (<i>stakeholders</i>), estabelecer expectativas claras e obteníveis, pois as mesmas influenciarão nas características dos produtos e em seu tempo de lançamento

continua

Tabela 4.1 Desafios do planejamento de produtos (Accept Software Corporation, 2004) (*continuação*)

Categoria	Desafios
Produto	Gerenciamento da complexidade do produto: considerar a mudança rápida nas tecnologias e as relações de dependência entre os produtos
	Melhorar a qualidade do produto: assegurar que os produtos sejam feitos para as demandas do mercado. Quanto melhor for a preparação dos requisitos de projeto, tanto melhor será a chance de sucesso do produto
	Gerenciar a compatibilidade e a obsolescência: buscar a compatibilidade de novos produtos com os produtos anteriores e os futuros lançamentos. Estar atento à obsolescência para evitar interrupção no mercado
Organização	Colaboração entre as equipes: desenvolver habilidades e infra-estrutura necessária para que haja colaboração entre as equipes, em um ambiente de projetos
	Alocação de recursos para máximo retorno: buscar o correto entendimento das necessidades de recursos para futuros desenvolvimentos
	Interfaces com os parceiros: promover participação ativa dos fornecedores-chave no desenvolvimento

Observa-se que, conforme os desafios apontados na Tabela 4.1, no planejamento de produtos deverão ser avaliadas muitas alternativas e tomadas decisões importantes com relação ao negócio da empresa, ao mercado, ao produto e à organização para o desenvolvimento. Essas decisões poderão determinar o sucesso ou o fracasso do empreendimento, sendo apropriado, portanto, o uso de metodologias e métodos de apoio à decisão para orientar o trabalho da equipe de planejamento.

Sob os aspectos anteriores, o presente capítulo discute o processo de planejamento do produto, seus conceitos e metodologias, visando auxiliar na obtenção de respostas sobre o que será desenvolvido e apresentando subsídios para vencer os desafios envolvidos nessa fase do desenvolvimento. Serão apresentadas definições sobre a idéia de produto, estrutura do processo de planejamento, metodologias e métodos de apoio ao planejamento, organização para a inovação e avaliação do impacto de tecnologias.

4.2 Idéia do produto

Entre os principais resultados do planejamento de produtos encontra-se a idéia do produto. A idéia de um produto pode apresentar-se de várias formas: descrição de características necessárias ao produto, descrição funcional do produto, descrição de seus princípios de funcionamento ou uma combinação das anteriores, na forma textual, gráfica ou em ambas. Em geral, nessa fase do processo de desenvolvimento, a descrição do produto não é completa e deve haver um esforço no sentido de torná-la mais clara possível para apoiar o processo de decisão.

A idéia, também conhecida como o conceito do produto, representa uma síntese das características do produto estabelecidas sob diferentes perspectivas, dependendo da visão e da linguagem. Na indústria automobilística, por exemplo, a idéia do produto pode se dar na forma da mensagem que o produto passa ao consumidor e pode ser estabelecida sob categorias de características ou atributos do produto conforme exemplos mostrados na Tabela 4.2.

Também são encontradas idéias de produtos na forma de visões de características futuras do produto, como pode ser observado na Figura 4.2, que representa uma parcela de um mapeamento tecnológico para futuros sistemas de transporte.

Certamente, as idéias de produtos expressadas nos exemplos anteriores não são informações suficientes para decidir ou orientar o processo de desenvolvimento do produto. São informações iniciais e importantes, mas outras serão necessárias para apoiar o processo de decisão na fase de planejamento do produto.

A idéia do produto é constituída de informações técnicas e de mercado. Essas informações também são chamadas de perspectiva tecnológica e comercial, conforme a Figura 4.3. A perspectiva comercial estimula prospectivamente o processo de inovação, geralmente na forma de necessidades e requisitos identificados. Já a perspectiva tecnológica impulsiona o processo de inovação pelas tecnologias disponíveis, obsolescência tecnológica dos produtos atuais da empresa ou produtos concorrentes inovadores. Deve haver um balanceamento apropriado entre essas perspectivas para que se obtenha idéias de acordo com estratégias, metas e contexto da organização.

Tabela 4.2 Conceitos de veículos em mercados norte-americano, europeu e japonês (adaptado de Clark e Fujimoto, 1991)

Categoria	EUA	Europa	Japão
Unidade/conjunto	Interior e exterior grandes	Compacto, uso eficiente do espaço	Compacto, uso eficiente do espaço
Estilo	Frente e traseira alongados, ênfase no tamanho	Formas arredondadas, frente e traseira curtas, ênfase na aerodinâmica e na eficiência do espaço	Influenciado pelos estilos europeu e americano
Motor/carroceria	Grandes carrocerias, motores de elevadas potências, estrutura pesada, resposta lenta	Pequenos motores, estrutura leve, ênfase na economia de combustível, resposta rápida	Pequenos motores, estrutura leve, ênfase na economia de combustível, resposta rápida
Dirigibilidade	Suave, confortável	Firme, controle preciso, ênfase no prazer do passeio	Dependente do segmento
Fontes de valor agregado	Opcionais	Equilíbrio total	Opcionais, equipamentos padronizados
Imagem geral	Para todos os propósitos, grande, confortável e potente	Uma máquina de dirigir precisa e sofisticada	Eclético e dependente do segmento

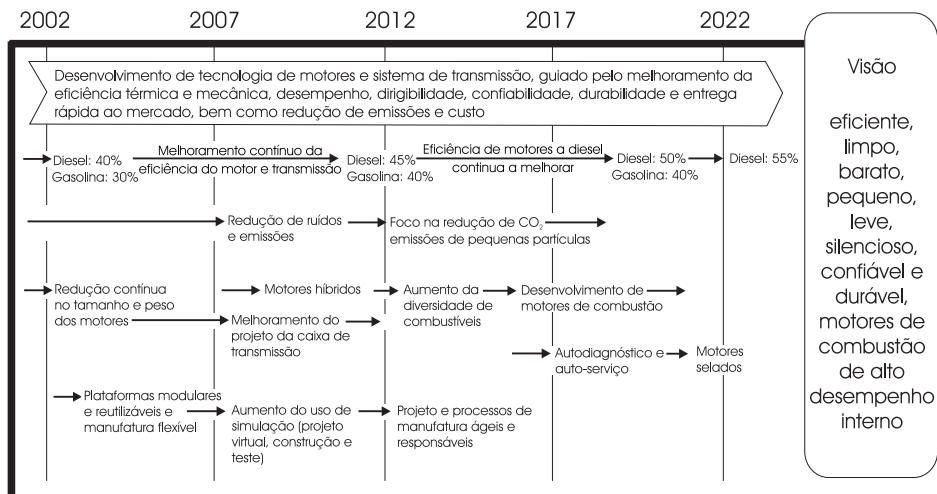


Figura 4.2 Visões futuras de subsistemas de veículos representando a idéia de produtos (adaptado de Phaal, 2002).

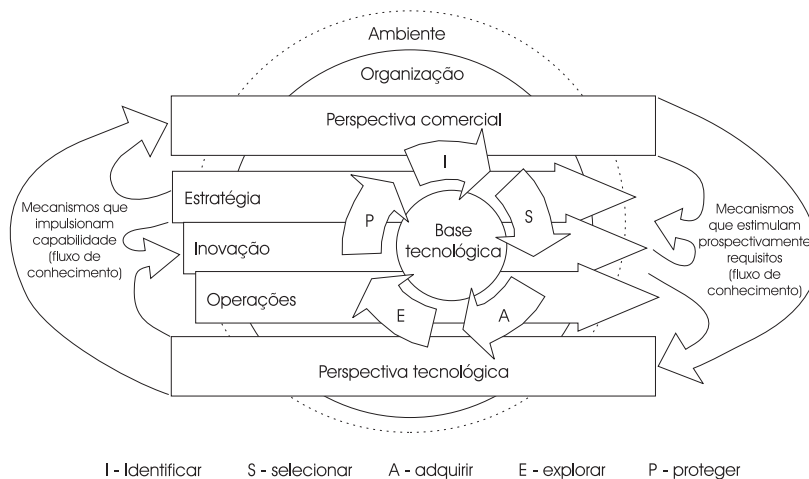


Figura 4.3 Perspectivas comercial e tecnológica no processo de inovação (adaptado de Phaal, Farrukh e Probert, 2004).

A idéia do produto também pode ser entendida como uma especificação de oportunidade, a qual deve conter uma idéia central chamada de benefício básico, ou seja, a vantagem que o consumidor perceberá ao adquirir o produto em relação aos concorrentes. A especificação da oportunidade também deve conter todos os fatores que determinarão o sucesso comercial do produto e deve ser devidamente justificada. A Figura 4.4 apresenta outros elementos para caracterizar a oportunidade.

Especificação da oportunidade		
Descrição	Justificativa	
<p>Preço</p> <p style="text-align: center;">Benefício básico</p> <p>Vantagens secundárias Outras vantagens comerciais</p>	Aspectos financeiros	Aspectos não financeiros

Figura 4.4 Elementos para a especificação de oportunidade (Baxter, 1998).

Para desenvolver a idéia do produto, como base inicial para os processos de planejamento do projeto (*project*) e processo de projeto, deve-se focalizar meios apropriados para entender o mercado e suas necessidades potenciais, bem como estudar as tecnologias potenciais para o desenvolvimento. O estudo do mercado envolve determinar, por exemplo, qual será o preço meta, o volume de produção, a posição e o segmento ocupados

no mercado, entre outros. Essas informações caracterizam a perspectiva comercial da idéia do produto. Já o estudo da tecnologia envolve o conhecimento necessário para o desenvolvimento do produto, em termos de seus princípios de operação, domínio da tecnologia, capacidade de produção, vida da tecnologia e grau de inovação. Assim, pode-se dizer que a fase do planejamento do produto, em termos operacionais, consiste em atividades, métodos e ferramentas, devidamente sistematizados, destinados a auxiliar a equipe de desenvolvimento na busca de informações sobre os valores dos atributos tecnológicos e de mercado para caracterizar idéias de produtos.

A busca por novas idéias e tecnologias de produtos não é um processo simples. Depende, em parte, da capacidade criativa da organização, mas também de processos e métodos sistemáticos de trabalho. Vários modelos têm sido propostos especificando atividades, métodos e ferramentas para auxiliar nesse processo e são apresentados como abordagens, desde as mais gerais, como gestão de conhecimentos, inteligência competitiva, gerenciamento do porta-fólio de produtos e gestão da tecnologia, até aquelas mais específicas, como métodos de apoio à criatividade. Nas próximas seções, algumas dessas abordagens serão descritas em seus principais conceitos e estruturas.

4.3 Processo de planejamento de produtos

O objetivo desta seção é discutir os processos e atividades do planejamento de produtos, visando um melhor entendimento dessa fase do desenvolvimento e obter subsídios para entender o uso de métodos e ferramentas de apoio ao planejamento, os quais serão apresentados nas próximas seções.

Segundo Roozenburg e Eekels (1995), o planejamento do produto se dá na fase inicial do processo de inovação, que é, de forma abrangente, o desenvolvimento e a introdução do produto no mercado. No planejamento do produto decide-se quando e quais produtos serão desenvolvidos. Em algumas empresas, emprega-se o termo “mix de produtos” para representar o conjunto de produtos potenciais para determinado período.

Sidén, Lindström e Pauli (2000) estabelecem um modelo genérico do planejamento de produtos, constituído de três componentes principais: processos, métodos/ferramentas e gerenciamento (Figura 4.5).

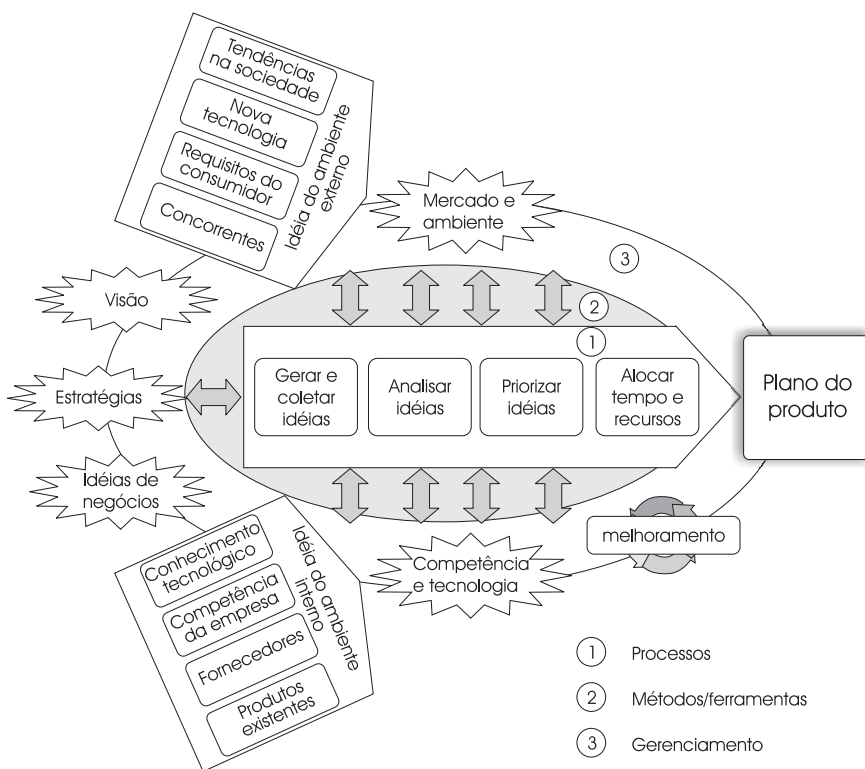


Figura 4.5 Modelo genérico de planejamento de produto (adaptado de Sidén, Lindström e Pauli, 2000).

O processo é o elemento central do modelo, estabelecendo as fases e atividades que devem ser executadas. É essencial que se promova, no processo, um grande fluxo de idéias, as quais deverão ser analisadas com base em fatos. Outra característica importante do processo é que ele prescreva maneiras de priorizar as idéias, de forma clara e objetiva. O processo também deve conter elementos, visando à alocação de tempo e recursos para o planejamento da implementação das idéias. Nesse caso, conforme descrito na introdução, esses elementos referem-se ao planejamento de projetos.

Os métodos e ferramentas são componentes operacionais de suporte às atividades do processo de planejamento. Cada atividade do processo de planejamento necessita de entradas, as quais serão transformadas em saídas adequadas ao desenvolvimento com o apoio de métodos e ferramentas apropriados. Algumas categorias de métodos para o planejamento de produtos são: os de geração de idéias, de monitoramento e de extrapolação de tendências.

O terceiro elemento no modelo é o gerenciamento, em que se inserem as estratégias da organização, a visão do mercado, as competências e a infra-estrutura necessária. As estratégias, por exemplo, são consideradas um guia para a geração de idéias e fornecem critérios para a seleção das mais adequadas. Também incluem-se aqui métodos e ferramentas para auxiliar na elaboração do plano de produto, em termos de tempo, recursos, riscos etc.

Planejar o produto consiste essencialmente em pesquisar idéias sistematicamente e selecionar aquelas mais promissoras. Inclui atividades para esclarecer o potencial da empresa, seu mercado e objetivos. Devem ser investigadas questões como: requisitos sócio-políticos, ambientais, limites de crescimento, condições econômicas, tecnologias, flutuações do mercado, redução no ciclo de vida dos produtos, previsão de incertezas etc. (Pahl e Beitz, 1996). Outra atividade é a descoberta de idéias de produtos como o foco do planejamento do produto. São recomendados, nesse caso, os métodos de criatividade descritos no Capítulo 6, bem como aqueles apresentados nas seções seguintes. A próxima atividade consiste na seleção do produto ou de idéias promissoras, visando filtrar o conjunto de idéias propostas. Na atividade de seleção deve-se efetuar, embora ainda em nível macro, um estudo da viabilidade técnica e econômica do produto. Por fim, a atividade de definição do produto envolve a especificação das características e dos requisitos mais importantes para o produto. Essas definições ou propostas serão submetidas à apreciação da gerência ou diretoria da empresa para análise e aprovação.

A Figura 4.6 apresenta uma visão do fluxo e das principais informações do planejamento do produto. De um lado encontra-se a necessidade de informações do mercado e de outro, a necessidade de conhecer o potencial da empresa. A reunião dessas informações leva à definição de um campo potencial de busca, a partir do qual devem ser geradas, selecionadas e definidas idéias de novos produtos.

O processo de planejamento do produto pode ser estabelecido, em linhas gerais, conforme as atividades e os elementos da Figura 4.7. Ele se inicia a partir de idéias, algumas das quais já existem e outras que deverão ser geradas. As idéias são coletadas e avaliadas, considerando os pontos de vista estratégico, econômico e técnico. As melhores idéias serão selecionadas e agrupadas em projetos de desenvolvimento de produtos, e a realização do produto começa com a decisão de aprovação de deter-

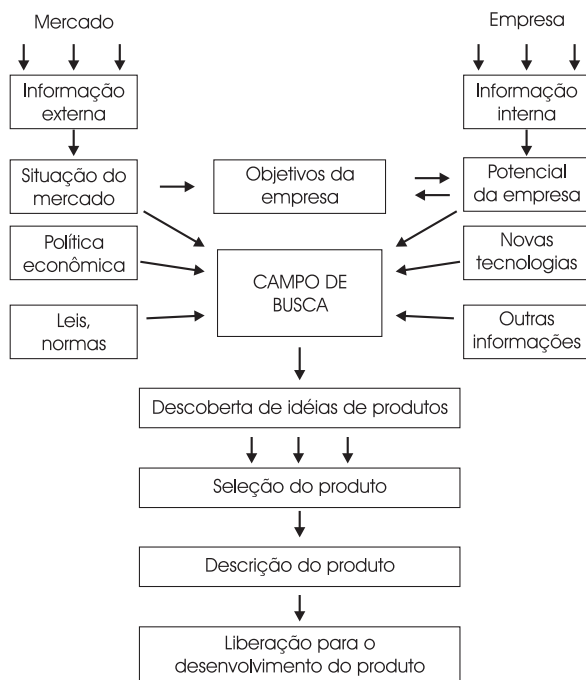


Figura 4.6 Informações e atividades do planejamento de produtos (adaptado de Pahl e Beitz, 1996).

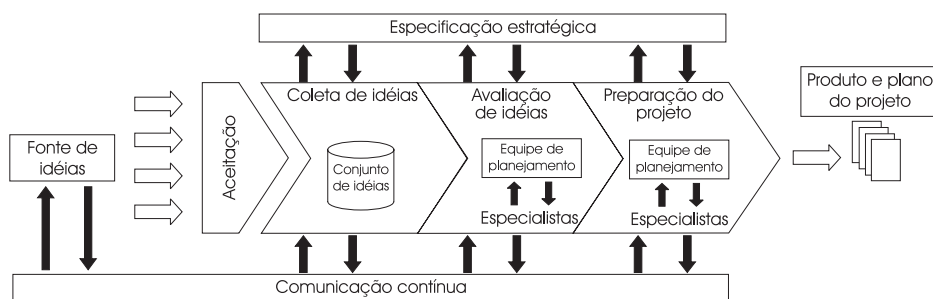


Figura 4.7 Principais atividades do processo de planejamento do produto (adaptado de Schachtner, 1999).

minado projeto estabelecido. Esses processos devem estar continuamente associados às estratégias e ao sistema de comunicação da organização.

As fontes de idéias (Figura 4.7) são as mais variadas, como consumidores, fornecedores, pessoal da gerência, pessoal de vendas, serviço ao consumidor, pessoal de marketing, setores de pesquisa e desenvolvimento da organização. Há a necessidade de estabelecer canais de comunicação bem

definidos entre potenciais fontes de idéias e a equipe de desenvolvimento, para incentivar e motivar a transmissão de idéias. Recomenda-se o estabelecimento de uma central de contato para a coleção de idéias, servindo de referência para as fontes potenciais.

Para a seleção de idéias, deve-se empregar um processo estruturado de avaliação, etapa por etapa, por meio do qual pode ser testado o potencial de cada idéia. Nessa fase, podem ser empregados os métodos descritos no Capítulo 9 para a avaliação de soluções alternativas geradas para o produto. É particularmente importante estabelecer a importância e o significado de mercado para determinada idéia, envolvendo, por exemplo, as vantagens para os consumidores potenciais e as relações com produtos concorrentes. Exemplos de estágios de avaliação e os correspondentes critérios são mostrados na Tabela 4.3.

Com as idéias selecionadas, na fase final do processo de planejamento do produto, devem ser definidos os produtos correspondentes e os projetos a serem realizados em dado período. Aqui, as idéias podem ser agrupadas por segmento de mercado ou categorias de necessidades. Os projetos sugeridos com base nas idéias selecionadas deverão ser avaliados considerando-se, por exemplo, os métodos apresentados no Capítulo 3, tanto do ponto de vista técnico quanto financeiro.

Tabela 4.3 Exemplos de estágios e critérios de avaliação de idéias (Schachtner, 1999)

Estágio	Critérios típicos
1° estágio	Conformidade com as metas estratégicas
2° estágio	<ul style="list-style-type: none"> • Benefícios ao consumidor • Lucratividade potencial • Potencial de realização eficiente
3° estágio	Priorização em função da situação concreta da organização (recursos disponíveis, por exemplo)
...	...

Conforme a Figura 4.7, tanto na fase de avaliação quanto na de definição de produto e projeto, deve-se considerar a formação de uma equipe multidisciplinar, bem como o envolvimento de especialistas de várias áreas, internos ou externos à organização. Por experiência, recomenda-se que a equipe seja configurada de forma matricial e sob princípios de engenharia simultânea, conforme discutido nos Capítulos 2 e 3, procurando

autonomia e agilidade no processo de decisão. Algumas empresas têm denominado essas equipes “comitê técnico do produto” (Vilarouca, 2004 e Alves, 2004), sendo este responsável pela avaliação e decisão dos projetos que serão desenvolvidos em dado período.

Leif (1997) apresenta em maiores detalhes as atividades do processo de planejamento de produtos (Tabela 4.4). O planejamento de produtos consiste em identificar quais tecnologias necessitam ser desenvolvidas e quais as informações de mercado necessárias para os produtos apresentarem as características desejadas. No Capítulo 2 isso foi tratado sob a macrofase de planejamento, inserida nos objetivos do plano de marketing da organização.

Tabela 4.4 Atividades do processo de planejamento de produtos (adaptado de Leif, 1997)

Atividades	Objetivos
Análise do mercado	Levantar a situação atual de produtos da empresa e concorrentes. Identificar aplicações alternativas ou segmentos de mercado, bem como seu tamanho. Investigar e descrever os problemas e as deficiências relacionados aos produtos da empresa. Avaliar o potencial e o nível de preço do mercado para produtos e peças de reposição
Análise das tecnologias	Levantar a situação atual das tecnologias dos produtos e de produção da empresa e dos concorrentes. Descrever problemas e deficiências relacionados às próprias tecnologias. Avaliar os potenciais e níveis de preço para novas tecnologias
Análise do consumidor	Identificar as necessidades (declaradas e implícitas) e os desejos dos consumidores. Levantamento das categorias de usuários. Métodos de apoio: <i>benchmarking</i> , QFD (ver Capítulo 5), DoE (ver Capítulo 12), análise conjunta, questionários, entrevistas
Análise dos concorrentes	Analisar os produtos concorrentes e a proteção dos produtos com relação aos aspectos de projeto, produção, mercado e finanças. Comparar com os produtos da empresa. Investigar e compilar a situação de patentes na área de produtos. Métodos de apoio: <i>benchmarking</i> , QFD

continua

Tabela 4.4 Atividades do processo de planejamento de produtos (adaptado de Leif, 1997) (*continuação*)

Atividades	Objetivos
Descrição dos requisitos	Identificar os requisitos do mercado e o potencial da empresa. Utilizar informações sobre os consumidores, mercado, os próprios produtos da empresa (novos e velhos), produtos concorrentes, patentes, requisitos específicos em diferentes mercados, legislação e normas
Integração dos conhecimentos	Avaliar a possibilidade de integrar novos conhecimentos àqueles existentes (na forma de sistemas e componentes)
Avaliação das idéias de produtos	Avaliar as idéias de mudanças que tenham sido propostas quanto às metas especificadas para o projeto e às metas e estratégias gerais da empresa. É importante avaliar a influência das idéias na lucratividade de todo o ciclo de vida
Estimar o valor para o consumidor	Fazer uma avaliação inicial do valor do produto para o consumidor
Avaliação da viabilidade	Calcular a lucratividade para a empresa. Calcular os custos variáveis e fixos associados ao produto, preço e volume esperados de venda. Avaliar o potencial para a realização comercial e financeira. Fazer uma análise de sensibilidade para o cálculo da lucratividade
Atualização do plano do produto	Analisar como o produto se enquadra no porta-fólio da empresa. É um produto certo no tempo certo? Sugerir alternativas e estimar o número de itens necessários
Avaliação da pós-venda	Levantar e avaliar os efeitos das idéias sugeridas com relação ao suporte pós-venda, na forma de informações, treinamento, equipamentos, serviços, peças de reposição, acessórios etc.
Mensagem do produto	Planejar o lançamento e a embalagem de marketing
Vendas do produto	Investigar as conseqüências e mercados potenciais das propostas lançadas
Necessidade de variantes	Investigar a necessidade de variantes e grupos de módulos adequados
Análise de mercado pós-venda	Fazer uma descrição (incluindo avaliação de preço) do serviço requerido e de níveis de montagem que as peças de reposição deverão ter

continua

Tabela 4.4 Atividades do processo de planejamento de produtos (adaptado de Leif, 1997) (continuação)

Atividades	Objetivos
Cálculo do valor para o consumidor	Estimar o valor do consumidor, isto é, quanto o consumidor pode economizar com a utilização do produto. Deve-se dar atenção aos custos totais do produto, incluindo custos de instalação, de operação e de serviços. O custo total do ciclo de vida do produto também deve ser considerado
Recomendação de viabilidade	Compilar as recomendações e decisões para resumir as propostas de produtos e suas possibilidades de realização
Avaliação do preço	Investigar alternativas de preço e de vendas
Avaliação da lucratividade	Avaliar a lucratividade, o lucro e os efeitos no emprego
Encerramento do planejamento	Compilar os custos de planejamento. Verificar metas e requisitos
Apresentação do plano para aprovação	Informar os resultados do planejamento e obter a aprovação do plano

Com base nas atividades da Tabela 4.4, os resultados típicos do planejamento do produto são: descrição dos desejos da empresa em um período previsível para satisfazer seus negócios, estratégias e metas; avaliação das necessidades dos consumidores; quais tecnologias devem ser desenvolvidas; o que os concorrentes farão; quais mercados poderão ser abertos; e os requisitos para o desenvolvimento de novos produtos, tanto técnicos como econômicos.

4.4 Metodologias gerais de apoio ao planejamento de produtos

O planejamento de produtos é um processo multidisciplinar e abrangente que requer informações e conhecimentos de várias áreas, sejam internos ou externos à organização. É um processo criativo e ao mesmo tempo sistemático para a geração e seleção de idéias, respectivamente.

O planejamento do produto é fortemente relacionado ao conhecimento e à capacidade da organização de transformar esse conhecimento. O planejamento também depende, na mesma intensidade, dos canais de co-

municação entre fontes potenciais de idéias e tecnologias e a equipe de desenvolvimento. Nesse sentido, algumas abordagens gerais tratam do modo como esses elementos podem ser empregados para apoiar o planejamento de produtos através de seus princípios e melhores práticas.

4.4.1 Gestão do conhecimento

A gestão do conhecimento (GC) pode ser vista sob diferentes enfoques. De maneira abrangente, compreende a gestão de todos os processos e recursos da organização para o desenvolvimento de seu negócio. De forma mais específica, ela consiste em princípios, processos, métodos para auxiliar na identificação, geração e seleção de idéias de produtos promissores.

A gestão do conhecimento é uma disciplina que vem sendo largamente estudada e estruturada de forma a suportar amplamente os processos da organização. Aqui se observará essa disciplina no aspecto dos processos e atividades do planejamento de produtos.

Nas atuais organizações do conhecimento, o principal fator de produção é o conhecimento das pessoas, e não apenas os recursos físicos. Nessas organizações, o diferencial competitivo está na maneira de executar as atividades e, portanto, na experiência dos colaboradores internos. No planejamento de produtos, tendo em vista a natureza qualitativa das informações e sua incipiência nas fases iniciais do desenvolvimento, bem como a necessidade de tomar decisões importantes sobre o desenvolvimento de um produto, o fator conhecimento se torna preponderante para o sucesso da empresa.

Com o objetivo de otimizar o uso dos recursos, é importante que todo aprendizado gerado seja documentado na forma de melhores práticas e experiências, para que a equipe de desenvolvimento possa aprender com as experiências passadas, evitando, assim, cometer erros em decisões futuras similares às documentadas.

O conhecimento é dividido na dimensão tácita (informal) e explícita (formal, documentada). Nonaka e Takeuchi (1997) afirmam que o conhecimento expresso em palavras e números (formalizados) é uma representação empobrecida do conhecimento tácito existente na mente humana. Quanto à conversão do conhecimento entre as duas dimensões anteriormente citadas, a mesma referência apresenta quatro processos: socialização (tácito para tácito – conversas); externalização (tácito para

explícito – escrita); combinação (explícito para explícito – reuniões); e internalização (explícito para tácito – leitura). Na prática, Santos (2003) considera que a GC engloba as seguintes etapas:

- identificar e mapear os ativos intelectuais ligados à organização (estrutura externa – clientes e fornecedores; estrutura interna – conceitos, patentes, modelos, normas e equipamentos da empresa; e a competência dos funcionários);
- gerar novos conhecimentos para oferecer vantagens competitivas no mercado;
- tornar acessíveis grandes quantidades de informações corporativas, compartilhando as melhores práticas e as tecnologias envolvidas, incluindo *groupware* (equipes) e *intranet* (redes internas), prática que deveria se tornar parte da maioria dos negócios.

Observa-se, portanto, que os objetivos dessas etapas estão bastante alinhados com os objetivos e atividades do planejamento de produtos. Trata-se da busca do conhecimento da empresa e do mercado e sua capacidade para o desenvolvimento de novos produtos. Também envolve maneiras de obter informações sobre tecnologias de produtos como fator-chave para o desenvolvimento de novas idéias. A Figura 4.8 relaciona alguns elementos da GC com o planejamento de produtos, dando ênfase às competências necessárias e ao registro dos conhecimentos gerados para reutilização futura.

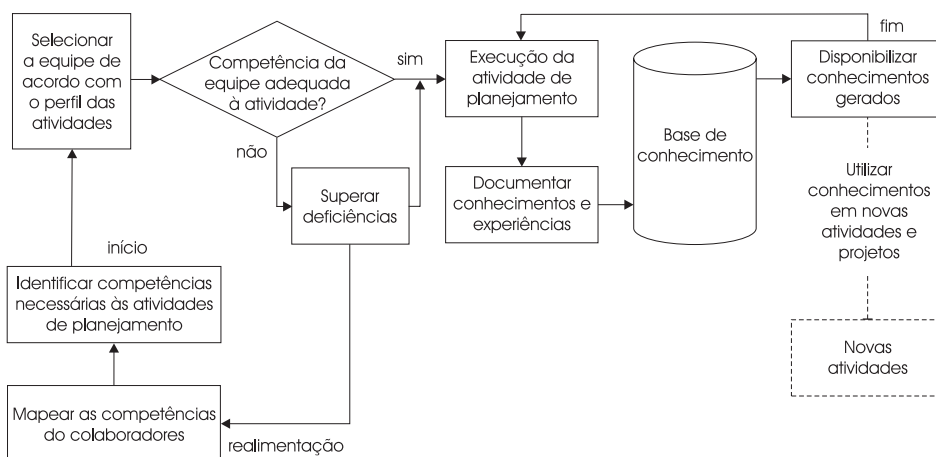


Figura 4.8 Elementos da GC relacionados ao planejamento de produtos (adaptado de Montanha Jr., 2004).

4.4.2 Inteligência competitiva

A inteligência competitiva pode ser entendida como processos essenciais de uma organização, os quais devem ser continuamente executados para alimentar novos negócios. De certa forma são processos também relacionados ao gerenciamento estratégico da organização, como a própria gestão do conhecimento.

O processo de inteligência competitiva, proposto por Kahaner (1996), consiste em quatro etapas (Figura 4.9): planejamento e decisão, coleta de informações, análise e disseminação de informações.

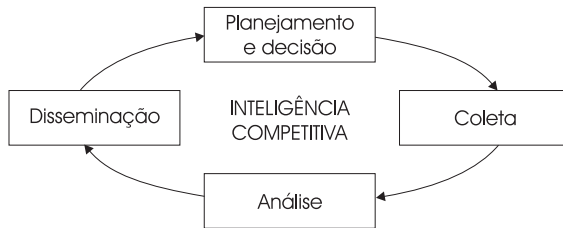


Figura 4.9 Processo de inteligência competitiva (Kahaner, 1996).

Na etapa de planejamento e decisão é necessária a compreensão clara das necessidades dos usuários. Essa compreensão pode ser conseguida através da proximidade com as pessoas que necessitam dos resultados do processo de inteligência competitiva. É nesse momento que se elabora o plano de coleta e análise de informações sobre os concorrentes.

A coleta consiste na obtenção de informações relevantes, considerando características das fontes de informação como o tipo (de domínio público ou não, principais ou secundárias), o prazo de obtenção (imediate, médio ou longo), a dificuldade de obtenção (fácil ou difícil), a confiabilidade e outros fatores. As fontes são as mais diversas: exposições, patentes, expectativas, imprensa, internet, relatórios governamentais e de associações.

A etapa de análise é considerada a mais difícil e criativa porque consiste na transformação da informação coletada em inteligência competitiva para a organização. Espera-se da análise a determinação do que acontecerá, quando acontecerá e o que isso significa para a empresa. Alguns possíveis caminhos para essa análise são:

- análise SWOT (*Strengths, Weaknesses, Opportunities and Threats*), pontos fortes, pontos fracos, oportunidades e ameaças do concorrente, ou seja, colocar-se na posição do concorrente;

- análise da missão, visão, objetivos do concorrente e sua evolução ao longo do tempo;
- obtenção de análises e opiniões de analistas independentes;
- estudo da posição acionária do concorrente;
- análise da personalidade dos dirigentes da concorrência;
- elaboração de cenários e simulações.

A disseminação dos resultados do processo deve ser contínua e direcionada a todos os possíveis interessados. Nota-se que esses caminhos aplicam-se igualmente ao planejamento de produtos, pois envolvem entendimento do mercado, coleta de idéias de produtos promissores, análise das idéias e disseminação destas pela organização na forma de potenciais projetos de desenvolvimento de produtos.

4.4.3 Gestão da inovação de produtos

O modelo conceitual de inovação, segundo o COTEC (1998), possui os elementos mostrados na Figura 4.10, sendo que o processo de inovação pode começar em qualquer elemento relacionado.

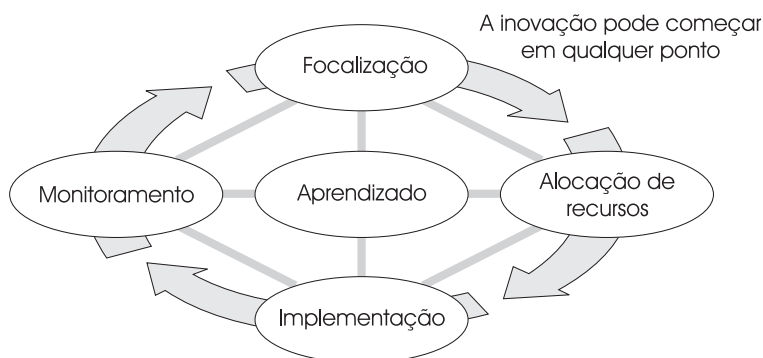


Figura 4.10 Elementos-chave do processo de inovação tecnológica (adaptado de COTEC, 1998).

Em linhas gerais, o **monitoramento** consiste em entender a natureza das ameaças e oportunidades que operam no ambiente onde a empresa atua com seus produtos por meio do monitoramento e da interpretação de sinais que sugiram mudanças potenciais no processo inovativo. As melhores oportunidades devem ser, então, selecionadas a partir daquelas identificadas, segundo as estratégias da empresa.

A **focalização** visa selecionar de forma estratégica os recursos que a organização poderá alocar no processo inovativo a partir de alguns “gatilhos” potenciais de inovação que, em muitos casos, são as próprias idéias e/ou tecnologias identificadas pelo monitoramento. Por isso, é uma atividade essencial para as tomadas de decisão estratégicas da empresa.

Na fase de **alocação**, os recursos previstos na focalização são efetivamente comprometidos no processo de inovação, em que a combinação do conhecimento externo com o existente na empresa é utilizada para solucionar problemas relativos à inovação. Isso pode ocorrer por meio do desenvolvimento interno ou da aquisição de conhecimento e/ou tecnologias necessários ao referido processo.

A **implementação** é o núcleo do processo de inovação. As entradas desse processo são o claro conceito de estratégia, juntamente com algumas idéias iniciais para realizar seu plano. Suas saídas são a inovação desenvolvida (implementada) e a escolha definitiva do mercado, pronto para o lançamento do produto ou processo.

A fase de **aprendizado** tem como objetivo realizar uma revisão com posterior reflexão a partir das experiências de sucesso e fracasso vivenciadas ao longo de todo o processo. Com isso, as entidades envolvidas com o processo inovativo podem aprender sobre a melhor maneira de gerenciar tal processo. Em linhas gerais, o aprendizado consiste no desenvolvimento de conhecimento e capacidade aperfeiçoados, para realizar atividades, e pode acontecer das seguintes formas: (I) desenvolvimento de capacidade técnica aperfeiçoada; e (II) desenvolvimento de um processo de gestão mais eficaz do processo de mudança tecnológica.

Observa-se que os elementos do modelo de inovação da Figura 4.10 estão diretamente relacionados a objetivos, processos e atividades do planejamento de produtos, principalmente com relação à definição das tecnologias associadas às idéias de novos produtos. Esses elementos são, em grande parte, desdobrados na forma de atividades, conforme descrito no item 4.3.

4.5 Métodos e ferramentas de apoio ao planejamento de produtos

Considerando-se tanto as atividades do processo de planejamento de produtos (Tabela 4.4) como as metodologias gerais de apoio ao planeja-

mento, vários métodos e ferramentas podem ser prescritos. Muitos desses métodos e ferramentas também são empregados em outras fases do desenvolvimento de produtos, tais como planejamento do projeto, projeto informacional e conceitual. Nessa seção será dada ênfase aos métodos e ferramentas orientados para a geração de idéias e gerenciamento da tecnologia.

4.5.1 Métodos e ferramentas para a geração de idéias de produtos

Na geração de idéias para o produto, as oportunidades serão descritas em termos técnicos e de marketing. É um processo criativo, em grande parte, mas também de coleta e classificação de idéias existentes. As empresas japonesas, segundo Burr (1989), por exemplo, dedicam boa parte de seus estudos à fase de planejamento, visando entendimento preciso das demandas do mercado e geração de idéias para satisfazer essas demandas. As empresas empregam métodos simples e práticos de apoio à geração de idéias, entre os quais se inclui a **matriz de tecnologias versus necessidades**, por exemplo (Figura 4.11).

		Necessidades (setores de mercado ou categorias de produtos)		
		Setor de consumo	Setor industrial	Setor de serviços
Tecnologias	Cerâmica inteligente	A - Piso de cores controláveis B - Pisos com controle de temperatura		H - Instrumentos de cirurgia
	Tela flexível	C - Livro eletrônico D - Painéis inteligentes		
	Nano-máquinas	E - Controlador de infecções F - Dosador interno de medicamentos	G - Fabricação inteligente de peças	

Possíveis produtos para a empresa

Figura 4.11 Matriz de necessidades versus tecnologias (adaptado de Burr, 1989).

As tecnologias, segundo Burr (1989), devem ser constantemente pesquisadas e disseminadas na empresa. Algumas empresas, por exemplo, possuem departamentos com o propósito de controlar o fluxo de informações sobre tecnologias na organização entre seus laboratórios de pesquisa e os setores de desenvolvimento de produtos. As principais atividades desses departamentos são: levar adiante temas de projeto para os laboratórios de pesquisa, promover conferências técnicas na organização, sugerir políticas gerais de pesquisa, formular estratégias e organizar as tecnologias disponíveis.

Outro método de apoio à geração de idéias é o **método de análise do estilo de vida** (Burr, 1989), também conhecido como clipagem (Montanha Jr., 2004). Trata-se de um método de coleta e organização de informações sobre o estilo de vida das pessoas com base num sistema de referência (Figura 4.12). O sistema de referência é constituído por palavras-chave que expressam situações possíveis do dia-a-dia das pessoas. Os principais passos para o uso desse método são:

1. Descrever as características do estilo de vida das pessoas, empregando-se palavras-chave (e suas inversas) como referência. Por exemplo, quente (frio) e ativo (passivo);
2. Coletar reportagens, fotografias, ilustrações, entre outras informações, e arranjá-las de acordo com as palavras-chave;
3. Organizar o estilo de vida, expressando-o em palavras e por categorias: homem/mulher/crianças/jovens/idosos, por exemplo;
4. Descrever, em cada mapa, cenas de situações características do estilo de vida das pessoas;
5. Esquematizar idéias de produtos para cada cena, selecionando os melhores exemplos uma por uma;
6. Apresentar as idéias desenvolvidas na forma de mapas, com o objetivo de escolher as situações potenciais de novos produtos.

Outro método bastante simples e prático empregado por empresas japonesas, segundo Burr (1989), é chamado de *Key-needs* (Figura 4.13). Consiste em sete etapas com os seguintes propósitos:

- etapa 1: palavras-chave: descrever os campos de pesquisa (baseados na política da empresa) em sentenças do tipo: “coisas que se deseja, mas não se pode fazer”;

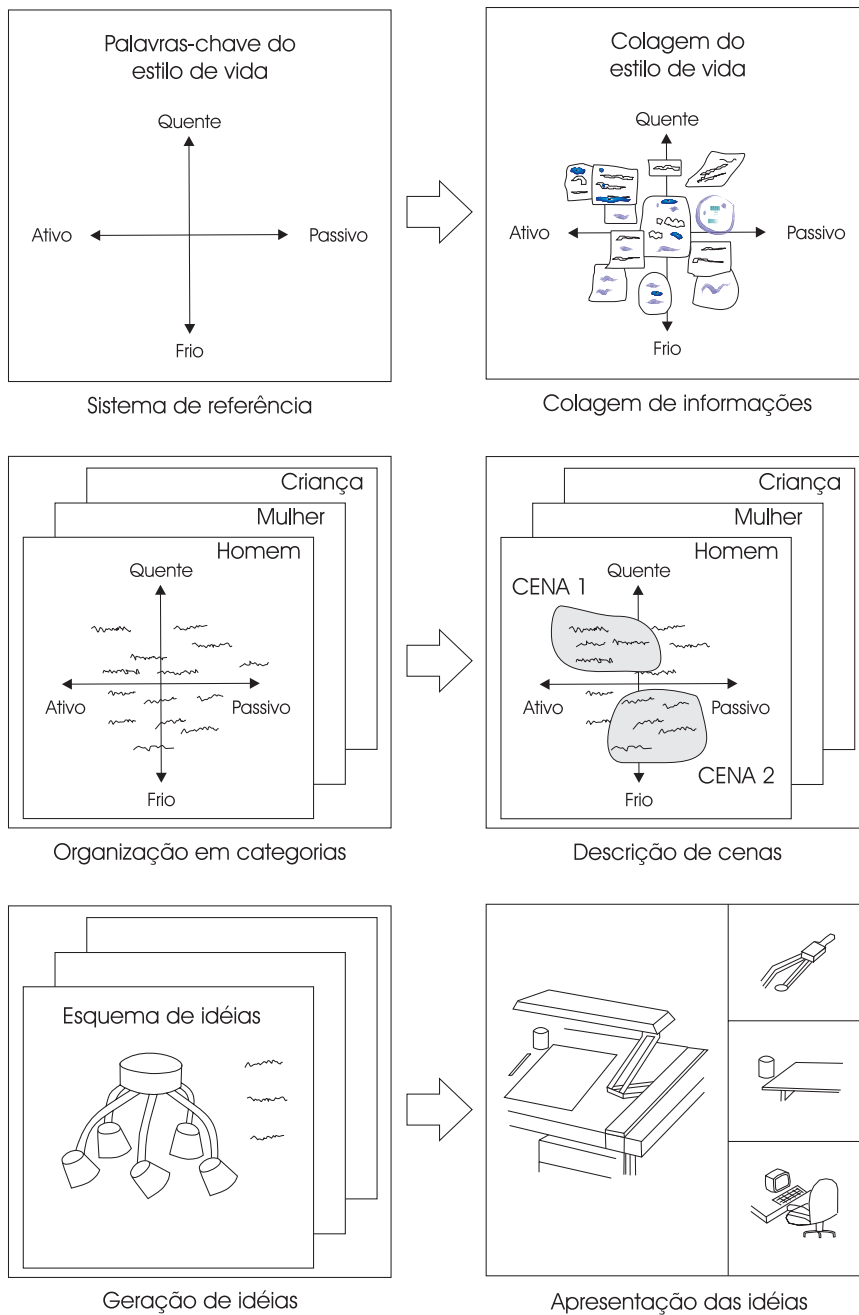


Figura 4.12 Resultados típicos do método de análise do estilo de vida (adaptado de Burr, 1989).



Figura 4.13 Resultados típicos do método Key-needs (adaptado de Burr, 1989).

- etapa 2: geração de problemas: sugerir problemas que se relacionem às palavras-chave. Procurar descrever vários problemas para cada palavra-chave;
- etapa 3: sugestão de razões: sugerir, para cada problema, as razões que dificultam sua solução;
- etapa 4: transformar razões em soluções: descrever pelo menos duas soluções para cada razão em cartões separados;
- etapa 5: geração de idéias: em uma planilha no centro, descrever o tema e as necessidades básicas. Tomar de forma aleatória os cartões com as soluções descritas na etapa anterior e discutir possíveis relações com o tema. Escrever novos cartões de idéias concretas de produtos comerciais e descrevê-los em forma de etiquetas;
- etapa 6: combinação de idéias: combinar duas a três idéias (de benefícios similares ou combinações forçadas) em idéias mais atrativas. Descrever desejos ou imagens associadas às novas idéias;
- etapa 7: definir conceito: selecionar conceitos atrativos e descrevê-los em formulário apropriado.

4.5.2 Métodos e ferramentas de apoio à gestão da tecnologia de produtos

Segundo Porter *et al.* (1991), os métodos de apoio à gestão da tecnologia podem ser classificados em cinco famílias: métodos para monitoramento; métodos baseados na opinião de especialistas; método de extrapolação de tendências; método de modelagem e métodos baseados em cenários.

Entre os métodos de monitoramento, incluem-se a vigilância tecnológica e a bibliometria, por exemplo. A **vigilância tecnológica** consiste na observação de um espectro amplo de informações para identificar eventos no ambiente da empresa que possam ser relevantes para a mesma (esquadrinhamento ambiental). As atividades de esquadrinhamento ambiental são particularmente úteis para identificar produtos e processos emergentes, os quais podem oferecer ameaças ou vantagens mercadológicas, e para identificar novos usos para tecnologias atuais ou em desenvolvimento. Existem outras formas de vigilância; a mais focalizada entre elas é o monitoramento tecnológico, proposto para desenvolvimentos técnicos específicos que foram identificados através do esquadrinhamento e do rastreamento,

que envolve um esforço concentrado no sentido de acompanhar os desenvolvimentos de maior importância para a empresa, como a potencial resposta competitiva ao lançamento de um novo produto ou a introdução de um novo produto por um concorrente.

A **bibliometria** baseia-se na análise de patentes e na análise de publicações científicas. O objetivo é medir e interpretar avanços tecnológicos utilizando como base a quantidade de patentes, publicações científicas ou citações disponíveis. A análise de patentes provê informações referentes às tendências tecnológicas e aos produtores de inovações. Os resultados desse tipo de análise podem levar a previsões mercadológicas antecipadas de 6 a 18 meses. O processo de análise de patentes tem as seguintes etapas: I) definição dos objetivos da análise; II) definição do domínio do problema; III) obtenção das patentes relevantes; e IV) análise e interpretação dos resultados.

Os métodos baseados na opinião de especialistas servem para coletar e organizar informações e conhecimentos especializados de determinado domínio. São métodos especialmente importantes quando não há dados históricos disponíveis, mas há forte influência de fatores éticos, morais ou políticos e necessidade de analisar temas complexos e com grande incerteza envolvida. Tais métodos compreendem desde procedimentos simples e corriqueiros, como entrevistas e aplicações de questionários, a métodos mais sofisticados, como o Delphi (ver item 6.2.2), métodos para a geração de idéias e o método dos grupos nominais.

Nas **entrevistas**, obtêm-se opiniões aprofundadas de especialistas com relação aos tópicos de interesse do planejamento. Nesse sentido, é importante que sejam adequadamente planejadas, de forma a abordar os assuntos de real interesse. São preferíveis as entrevistas pessoais às por telefone. A **aplicação de questionários** é um método similar à entrevista, com a diferença de que é mais estruturado. Tal estruturação pode ser boa para a padronização e tabulação dos resultados, mas pode prejudicar e direcionar os resultados.

Os métodos de análise de tendências consistem em coletar dados históricos referentes a determinados parâmetros e, com base nestes dados, projetar tendências. Na **extrapolação de tendências**, uma curva de melhor ajuste é obtida com base em dados históricos referentes a certo parâmetro. A partir dessa curva, é previsto o desempenho futuro do parâmetro.

As **curvas S** podem ser utilizadas para prever quando uma dada tecnologia atingirá seu limite, sob determinados parâmetros. O desempenho de

Um dado parâmetro descreve, em função do tempo, uma trajetória em forma de S (Figura 4.14). Os parâmetros técnicos têm limites, em função de leis físicas, por exemplo. Inicialmente, seu desempenho é lento, aumentando progressivamente com o desenvolvimento da tecnologia, até atingir certos limites. O limite X (tempo t_3) é aquele que pode ser alcançado, em relação à nova tecnologia, com maiores investimentos no desenvolvimento. Já o limite Y (tempo t_2) é aquele alcançado com a mesma taxa de investimento. Por fim, o limite Z (tempo t_1) é aquele obtido com investimento reduzido. A mudança para uma nova tecnologia significa a mudança para uma nova curva S (Tecnologia 2), a qual poderá apresentar maiores limites de desempenho dos parâmetros ao longo do tempo.

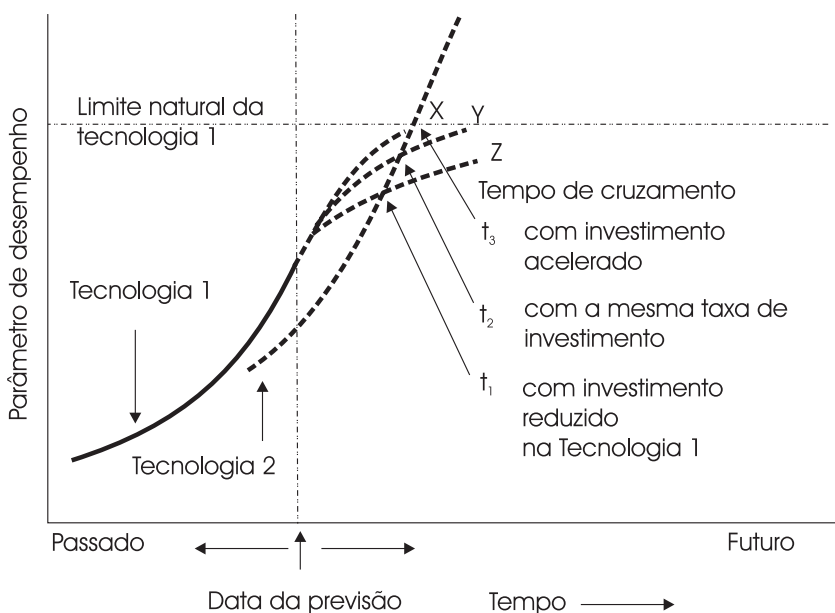


Figura 4.14 Curva S (adaptado de Burgelman e Maidique, 1988).

A **analogia histórica** consiste no estudo de dados históricos de outras empresas, concorrentes ou não, com a finalidade de prever resultados futuros a partir dos resultados passados. Uma forma utilizada para a obtenção dos dados se dá por meio de organizações que administram bancos de dados de informações históricas de empresas associadas, fornecidas pelas próprias empresas. A analogia histórica, da qual a análise da curva S pode ser considerada um caso particular, pode permitir previsões qualitativas.

Em geral, os métodos propostos consideram os eventos ou tendências de forma independente, ou seja, não levam em conta as relações entre eles ou os impactos mútuos. Um dos métodos que podem ser empregados nesse caso é o de **análise de impacto cruzado**. Esse método se inicia com a reunião da equipe de planejamento para gerar uma lista de temas (tendências e possíveis eventos futuros). Em uma matriz (Figura 4.15), cada tema é listado nas linhas e colunas, buscando-se nos cruzamentos os possíveis impactos entre os fatores envolvidos. A escala de impacto pode ser A para alto, M para médio, B para baixo e 0 para nenhum, com qualificadores + para positivo e - para negativo. Na Figura 4.15, pode-se ilustrar a primeira linha com as questões: “Qual é o impacto da redução da mão-de-obra no custo do trabalho? E no investimento de capital? E na tecnologia robótica?”. No exemplo da figura, é possível interpretar que a redução da mão-de-obra, influenciando a elevação do custo do trabalho e maior investimento de capital, conduziria a maiores investimentos no desenvolvimento da tecnologia robótica.

Os métodos baseados em cenários têm o propósito de buscar a previsão de múltiplas possibilidades que podem vir a realizar-se. A pergunta “como será o futuro?” é substituída por: “quais são os possíveis futuros?”,

	Redução da mão-de-obra (1)	Custo do trabalho (2)	Investimento de capital (3)	Tecnologia robótica (4)
Redução da mão-de-obra (1)		A ⁺	M ⁺	0
Custo do trabalho (2)	B ⁺		M ⁺	A ⁺
Investimento de capital (3)	B ⁻	B ⁺		A ⁺
Tecnologia robótica (4)	M ⁻	B ⁺	A ⁺	

Figura 4.15 Exemplo de uma matriz de impacto cruzado (Twiss, 1992).

“qual dos possíveis futuros é preferível?” e “sob que condições ocorrerá o futuro preferido?”. Das alternativas vêm as previsões, e destas, as estratégias (Millet e Honton, 1991).

Os cenários permitem a integração de informações de diversas fontes e tipos numa única previsão. Os resultados de uma extrapolação de tendências e opiniões de especialistas, por exemplo, podem fornecer subsídios para a criação de cenários, e estes podem ser uma forma interessante de integrar resultados de previsões obtidas por outros meios.

O **mapeamento tecnológico**, como método baseado em cenários, destina-se a suportar o planejamento e gerenciamento da tecnologia, especialmente pela exploração e comunicação das relações entre os recursos tecnológicos, objetivos organizacionais e mudanças no ambiente.

A abordagem mais comum, segundo Phaal, Farrukh e Probert (2004), é ilustrada na Figura 4.16. Ela consiste em um mapa referenciado no tempo com camadas ou categorias de informações de diferentes perspectivas. No exemplo, as categorias de informações tratam do mercado, produto e tecnologia.

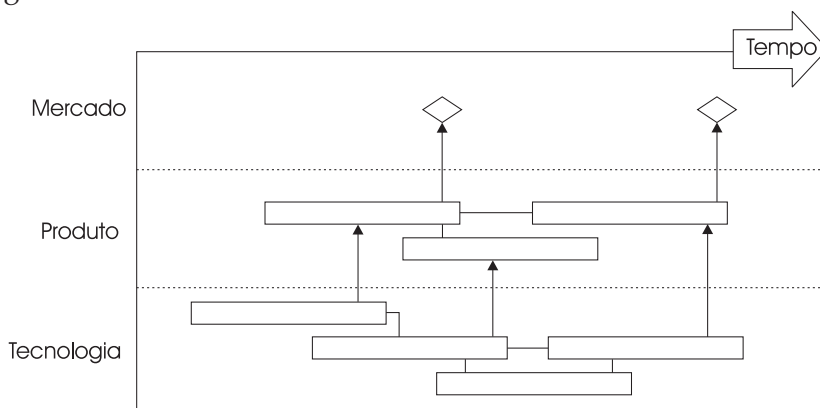


Figura 4.16 Esquema típico de um mapa tecnológico (Phaal, Farrukh e Probert, 2004).

Uma característica particular do conceito de mapeamento tecnológico é o uso de uma estrutura de trabalho baseada no tempo, de forma gráfica, para desenvolver, representar e comunicar planos estratégicos, em termos da evolução e desenvolvimento da tecnologia, produtos e mercados.

Existem vários tipos de mapas tecnológicos, dependendo da necessidade (Figura 4.17). Particularmente para o planejamento de produtos (Figura 4.17a), tem-se uma maneira de avaliar a inserção de tecnologias nos

produtos da organização. Trata-se da representação do relacionamento entre as tecnologias planejadas, ao longo do tempo, com os produtos sendo desenvolvidos ou planejados para o futuro. No caso da Figura 4.17b, tem-se um mapa do planejamento do processo, que suporta o gerenciamento do conhecimento focalizando em um processo particular (por exemplo, o desenvolvimento de um novo produto). Procura-se mostrar o fluxo de conhecimento necessário para facilitar o desenvolvimento do produto, incorporando as perspectivas técnica e comercial. Na Figura 4.17c, tem-se um mapa de planejamento de longo prazo, como forma de representar mercados e novas tecnologias ao longo de uma ampla faixa de tempo. Busca-se, com esse mapeamento, mostrar como o desenvolvimento tecnológico poderá convergir no futuro. Na Figura 4.17d, tem-se um mapa do planejamento da integração, em que o objetivo é mostrar a evolução da tecnologia do produto e sua combinação com os demais sistemas.

A execução de um mapeamento tecnológico se dá em etapas, na forma de *workshops* ou reuniões de trabalho, nas quais as camadas ou categorias de informações do mapa são sucessivamente preenchidas. Na Figura 4.18a, tem-se um exemplo das reuniões típicas que devem ser conduzidas na elaboração de um mapeamento tecnológico e, na Figura 4.18b,

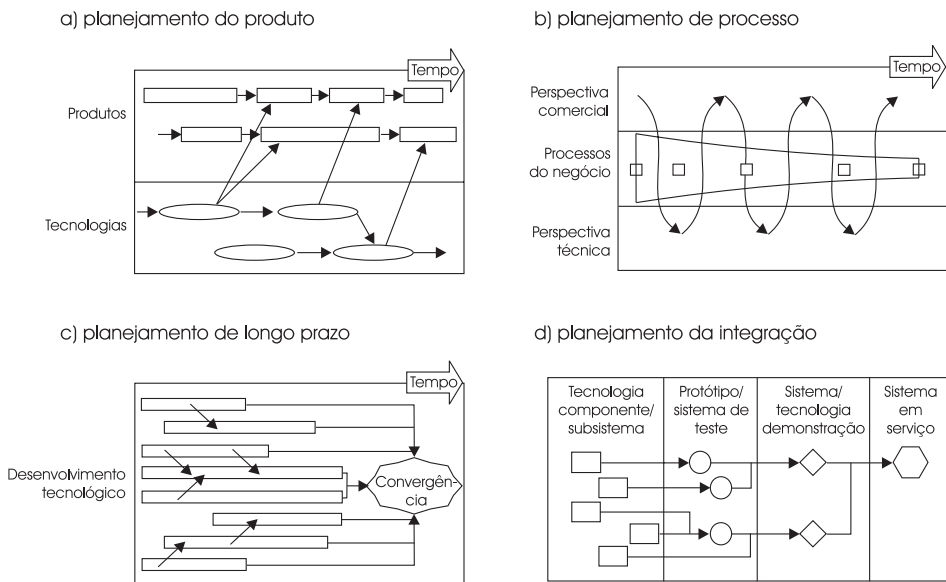
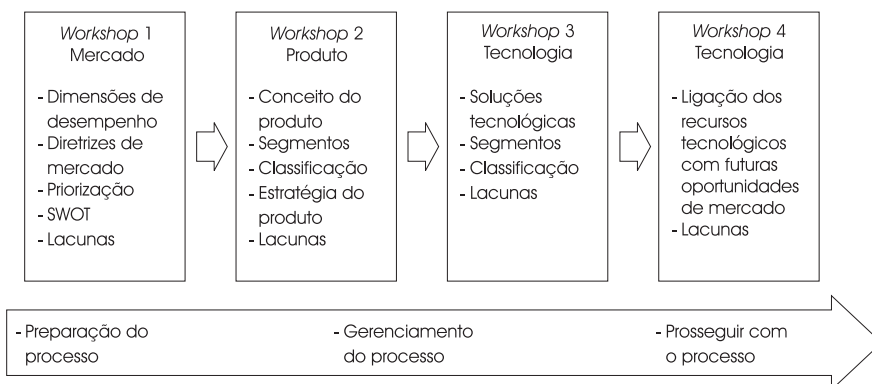


Figura 4.17 Exemplos típicos de mapas tecnológicos (adaptado de Phaal, Farrukh e Probert, 2004).

mostra-se como ocorre o fluxo de informações para a criação de mapas tecnológicos. Ao final, desenvolvem-se as relações entre as informações, procurando estabelecer base para a tomada de decisão sobre o desenvolvimento de produtos. Típicos resultados e um mapeamento tecnológico são mostrados na Figura 4.2.

a) do processo



b) das informações

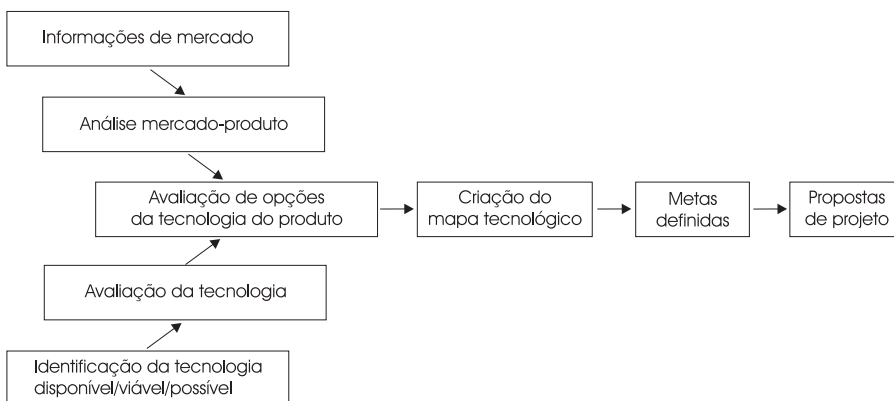


Figura 4.18 Esquema geral de execução de um mapa tecnológico (adaptado de Phaal, Farrukh e Probert, 2004).

A **análise de porta-fólio** também pode ser entendida como um método baseado em cenários, servindo para visualização e comunicação. Um exemplo é a matriz mostrada na Figura 4.19, na qual as categorias de “risco financeiro” e “desenvolvimento do mercado” são utilizadas para classificar os produtos de uma empresa em:

- “aposta segura”: produtos de baixo investimento em mercados emergentes;
- “carro-chefe do futuro”: produtos com alto investimento em mercados emergentes;
- “linha principal”: produtos com alto investimento em mercados maduros;
- “em declínio”: produtos com pequeno investimento em mercados maduros.

Risco financeiro (nível de novo investimento)	Alto	Alto risco, mas pode ser "carro-chefe" no futuro	Promissor, linha principal do negócio
	Baixo	Aposta segura	Produtos e serviços em declínio ("carro-chefe")
		Emergente	Maduro
		Desenvolvimento do mercado	

Figura 4.19 Matriz de análise de porta-fólio tecnológico (adaptado de Millet e Honton, 1991).

Tanto a escolha das características a serem utilizadas nas matrizes como a ordenação das mesmas são definições arbitrárias. O porta-fólio pode ser utilizado para antecipar aspectos financeiros de produtos e tecnologias, mas não para prever o desempenho tecnológico dos mesmos.

4.6 Organização e infra-estrutura para a inovação

Além do uso de métodos apropriados para o planejamento de produtos, a empresa precisa estar preparada para conduzir o processo. Uma empresa inovadora em tecnologias de produtos e processos produtivos, segundo a OECD (1998), é aquela que implementa produtos, processos (ou a combinação destes) com características tecnologicamente novas ou significativamente aperfeiçoadas. Tais empresas apresentam duas características principais:

- habilidades estratégicas: identificação e antecipação das tendências de mercado de forma adequada e utilização das informações tecnológicas obtidas;
- habilidades organizacionais: cooperação interna entre os departamentos e cooperação externa com parceiros, que podem ser clientes, fornecedores, distribuidores comerciais, consultores, entre outros.

Diante das habilidades citadas, tais empresas devem utilizar formas de geração de novos conhecimentos relevantes para o processo inovativo:

- atividades de pesquisa e desenvolvimento interno, através de experimentos;
- aquisição de tecnologias e conhecimentos externos;
- aquisição de tecnologias embutidas em equipamentos, métodos, ferramentas computacionais, entre outras formas.

Para facilitar a implementação do processo inovativo devem ser considerados alguns elementos relacionados à inovação, os quais são sugeridos pelo Manual de Oslo (OECD, 1998) (Figura 4.20). Tais elementos são: condições estruturais da organização; estrutura de pesquisa; fatores de transferência; e dinâmica da inovação.

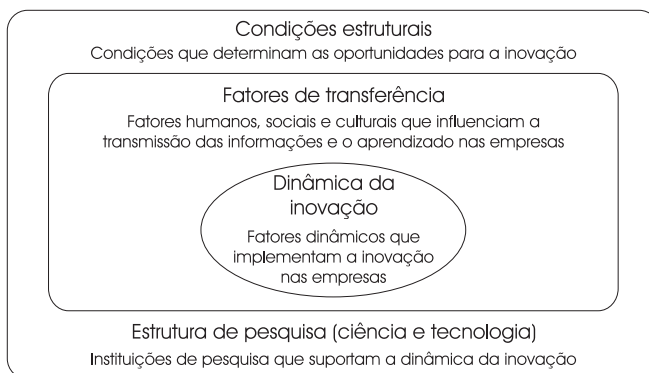


Figura 4.20 Elementos relacionados à inovação (adaptado de OECD, 1998).

Como condições estruturais, são citadas as seguintes:

- um sistema educacional que garanta um padrão mínimo de capacitação da equipe de trabalho em relação às tarefas a serem realizadas;
- existência de uma infra-estrutura de comunicação adequada ao processo inovativo, em termos de estradas, telefone, comunicação visual, eletrônica, entre outras;

- existência de instituições financeiras que permitam o acesso ao capital necessário ao processo;
- infra-estrutura jurídica que forneça apoio em termos de informações sobre patentes, leis, taxas, políticas governamentais, normas, entre outras;
- vias de acesso direto ao mercado consumidor (diálogo com os clientes);
- existência de estrutura industrial e parcerias que favoreçam a introdução de inovações.

A estrutura de pesquisa é apoiada pelas fontes de geração de novos conhecimentos para a inovação, citadas anteriormente. Tal estrutura é composta pelos seguintes elementos:

- sistema especializado de capacitação técnica;
- universidades;
- sistema de apoio à pesquisa básica;
- atividades de P&D direcionadas às atividades da sociedade;
- atividades estratégicas de P&D;
- apoio de parceiros tecnológicos em áreas de pouco domínio tecnológico e grande risco para a empresa.

Os elementos de transferência são aqueles que influenciam a transmissão de informações e aprendizado da empresa e são cruciais para a implementação da inovação na prática industrial:

- parcerias formais e informais entre parceiros, considerando grupos de empresas, clientes, fornecedores e instituições de pesquisa;
- presença de especialistas experientes nas tecnologias pretendidas, diminuindo o risco de insucesso da implementação das tecnologias;
- parcerias internacionais com especialistas/consultores externos da área tecnológica pretendida;
- aumento do grau de autonomia dos especialistas envolvidos com o processo de inovação, para acelerar o processo;
- facilitação do acesso da indústria às informações tecnológicas de domínio público, tais como patentes, normas, legislações etc.;
- documentação das experiências dos profissionais envolvidos no processo inovativo, para facilitar a difusão do conhecimento tecnológico;

- consideração dos aspectos relativos a ética, valores e filosofia de trabalho da comunidade, rede de colaboradores, para não prejudicar a comunicação entre as pessoas.

Quanto aos elementos da dinâmica da inovação, tem-se:

- estratégia, em termos de definição de objetivos para o processo inovativo;
- forma de atuação dos setores encarregados de realizar atividades de P&D;
- fatores não relacionados diretamente a P&D, como informações de vendas.

Considerando que os processos de inovação geralmente exigem significativos investimentos em termos de recursos financeiros, além dos demais recursos, a OECD (1998) sugere algumas fontes de financiamento:

- fundos próprios da empresa;
- fundos de empresas pertencentes ao mesmo grupo ou corporação;
- fundos de empresas de outros ramos de negócio, mas que estão envolvidas com o processo de inovação (parceiras);
- fundos derivados de incentivos das entidades governamentais;
- fundos oriundos de organizações internacionais ou nacionais, tais como União Européia, Mercosul etc.

Segundo Kelley e Littman (2001), as seguintes recomendações devem ser seguidas para o processo de inovação:

- ser visionário (os clientes podem ter boa vontade ao responder aos questionários, mas não têm a obrigação de ser visionários);
- criar listas de *bugs* e listas de “porque sim” e “porque não”, para identificar problemas e avaliar possibilidades de melhorias em produtos existentes;
- imergir no ambiente dos clientes (colocar-se na situação dos clientes, para criar empatia);
- localizar necessidades não satisfeitas e tendências;
- prestar atenção a grupos com necessidades específicas (crianças, idosos, deficientes etc.);
- envolver pessoal de diversas áreas e com diversas formações e experiências no processo de observação;

- identificar e observar pessoas que usam o produto de formas diferentes e para finalidades diferentes;
- considerar o lado humano do produto (aquilo que ele irá proporcionar ao cliente em termos emocionais);
- observar o todo da experiência de uso do produto (ver os produtos como verbos, em movimento);
- perceber as inovações que serão aceitas pelos usuários e as que terão de esperar ou ser introduzidas de forma gradativa;
- Fazer polinização cruzada, reaproveitando boas soluções de outros produtos, com tecnologias similares ou não.

4.7 Avaliação do impacto da tecnologia

A avaliação do impacto da tecnologia, como parte do processo de planejamento de produtos, consiste no estudo sistemático dos efeitos da introdução, extensão ou modificação de uma tecnologia em outras tecnologias e na sociedade. Em uma análise de impacto da tecnologia, deve ser dada ênfase aos efeitos não-intencionais, indiretos e retardados (Carvalho, 2007).

Tecnologias não existem isoladamente. Nenhuma tecnologia é independente de influências externas, e cada uma delas pode afetar uma tecnologia de diferentes formas. De acordo com Twiss (1992), tais influências podem ser genericamente classificadas como forças políticas e legais, econômicas, sociais e tecnológicas (Figura 4.21). Essas forças atuam entre si e sobre a empresa.

Por exemplo, a tendência social de urbanização tem influências significativas na indústria de transportes, exigindo sistemas de transporte coletivo mais eficientes. Os índices de criminalidade crescentes influenciam decisivamente a indústria de segurança.

A tecnologia também afeta a própria tecnologia. Um exemplo disso vem da informática: as empresas fabricantes de *hardware* desenvolvem máquinas cada vez mais rápidas e de maior capacidade, que permitem a criação de novas características no *software*, as quais, por sua vez, exigirão novas melhorias de desempenho do *hardware*.

A análise do impacto da tecnologia serve para subsidiar tomadas de decisão em P&D. Com base na análise, pode-se decidir, por exemplo, alon-

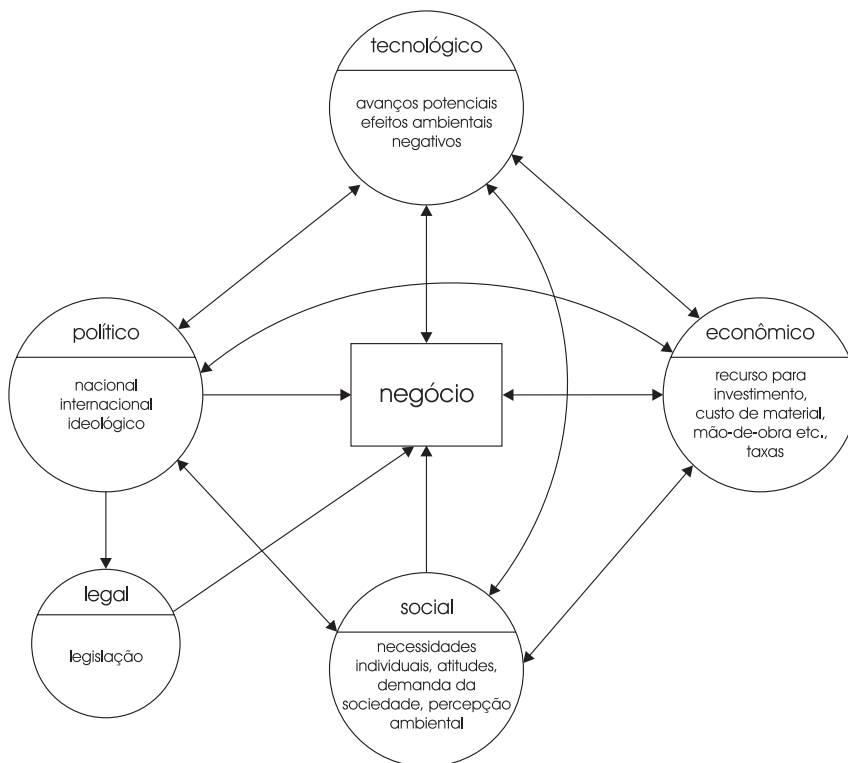


Figura 4.21 Ambiente da empresa e suas relações (Twiss, 1992).

gar o cronograma de desenvolvimento ou até interrompê-lo, estimular o desenvolvimento de medidas de contingência referentes aos efeitos adversos da tecnologia etc.

O processo de avaliação do impacto da tecnologia consiste nas seguintes etapas (Carvalho, 2007):

- *identificação dos impactos*: nesta etapa, devem-se identificar os impactos mais ou menos importantes. Para esta etapa, podem ser usados métodos como *brainstorming*, *checklists* ou árvores. Um *checklist* útil considera impactos em tecnologia, saúde, instituição, sociedade, política, economia, cultura, indivíduo, ambiente e segurança;
- *avaliação dos impactos*: definição de quais impactos são prováveis e qual a magnitude potencial dos mesmos. Definição dos impactos mais importantes. Esta etapa e a próxima podem ser realizadas de forma menos estruturada por meio de procedimento similar à avaliação de ocorrência, gravidade e detecção utilizada na FMEA;

- *análise dos impactos*: quantificação dos impactos considerados mais importantes. Estimativa das implicações em termos de custos, riscos, benefícios, entre outros, e faixas esperadas para cada valor.

4.8 Resumo

1. *A importância de um bom planejamento de produtos tem sido destacada na atualidade em decorrência de mercados cada vez mais competitivos. A empresa precisa conhecer melhor e decidir, com riscos calculados, o que deve ser desenvolvido em dado período;*
2. *Entre os principais desafios do planejamento de produtos encontra-se a definição de idéias de produtos, tendo em vista as várias alternativas possíveis. Essa definição deve ser conduzida sob informações incipientes nessa fase do desenvolvimento. Isso sugere o uso de metodologias e métodos de apoio para reduzir as incertezas no processo de planejamento.*
3. *A idéia do produto consiste numa síntese das características técnicas e de mercado, que mostram sua viabilidade e servem de base às tomadas de decisão. A busca por idéias de produtos depende da capacidade criativa da organização e de processos e métodos sistemáticos de trabalho;*
4. *Existem vários modelos de planejamento de produtos, desde os mais gerais até os mais específicos. Em geral, as principais atividades são: definição de idéias, seleção e classificação das idéias promissoras, especificação das idéias e decisão sobre quais idéias serão desenvolvidas;*
5. *Para apoiar essas atividades existem também várias metodologias e métodos de trabalho. Entre as metodologias gerais consideram-se: gestão do conhecimento, inteligência competitiva e gestão da tecnologia. Os métodos de apoio podem ser classificados como destinados à geração de idéias e aqueles de apoio à gestão da tecnologia;*
6. *Além de possuir metodologias e métodos, a empresa precisa estar preparada e organizada para a inovação diante do planejamento de produtos. É necessário desenvolver habilidades, competências e infra-estrutura. Também se faz necessário, diante do planejamento de produtos, avaliar o impacto das tecnologias propostas, seja interno ou externo;*
7. *Em linhas gerais, o planejamento de produtos é a fase do desenvolvimento que subsidia a tomada de decisão da empresa sobre seus futuros desenvolvimentos.*

4.9 Problemas e temas de discussão

1. Discuta sobre os principais desafios do planejamento de produtos e descreva meios para superá-los.
2. Estabeleça as principais relações entre o planejamento de produtos, o planejamento estratégico e o planejamento de projetos da organização.
3. Liste e descreva brevemente os principais resultados de um planejamento de produtos.
4. Como a idéia de um produto pode ser representada e comunicada? Proponha formas alternativas dessa representação.
5. Quais são as principais fases do processo de planejamento de produtos e suas típicas entradas e saídas?
6. O que deve ser considerado para o desenvolvimento de um modelo de planejamento de produtos tendo em vista as características da organização?
7. Como a gestão do conhecimento se relaciona com os processos e atividades de planejamento de produtos?
8. Quais são as relações entre a gestão da tecnologia e o planejamento de produtos?
9. Além dos métodos de apoio à geração de idéias de produtos, que outros métodos você conhece e como eles podem ser empregados? Cite exemplos de aplicações.
10. Discuta sobre os requisitos necessários de infra-estrutura e da equipe de planejamento de produtos. Quais são os fatores determinantes para o sucesso do planejamento de produtos?

4.10 Referências bibliográficas

- Accept Software Corporation. 2004. Disponível em: URL: <http://www.acceptsoft.com>; acessado em 13/01/2005.
- ALVES, G. P. "Um sistema de informação na gestão de projetos num ambiente de engenharia simultânea em uma indústria de equipamentos de telecomunicações". Florianópolis, 2004. Dissertação (mestrado). PPGEP – UFSC.

- BAXTER, M. *Projeto de produto: guia prático para o desenvolvimento de novos produtos*. São Paulo, Edgard Blücher, 1998.
- BURGELMAN, R. A.; MAIDIQUE, M. A. *Strategic management of technology and innovation*. Boston, Irwin, 1988.
- BURR, J. *Mechatronics design in Japan: a study of japanese design methods and working practice in japanese companies*. Institute for Engineering Design. Technical University of Denmark, Lyngby. 1989. 100p.
- CARVALHO, M. A. de. "Metodologia IDEATRIZ: uma proposta para a ideação de novos produtos". Florianópolis, 2007. Tese (doutorado). PPGEP – UFSC.
- CLARK, K. B.; FUJIMOTO, T. *Product development performance: strategy, organization and management in the world auto industry*. Boston, Harvard Business School Press, 1991.
- COTEC – Fundación COTEC para la Innovación Tecnológica. "Temaguide: a guide to technology management and innovation for companies". 1998. Barcelona: Cotec. Disponível em: URL: <http://www.cotec.es>; acessado em 23/1/2007.
- KAHANER, L. *Competitive intelligence: how to gather, analyse and use information to move your business to the top*. New York, Kane and Associates, 1996.
- KELLEY, T.; LITTMAN, J. *A arte da inovação: lições de criatividade da IDEO, a maior empresa norte-americana de design*. São Paulo, Futura, 2001.
- LEIF, J. "Implementing DFM in nordic industry. 1997. Capítulo 4: The Product Planning Process: The Swedish Institute of Production Engineering Research (IVF)". Disponível em URL: <http://www.sintef.no/units/matek/projects/dfm/4kap.htm>; acessado em 28/10/2004.
- MILLET, S. M.; HONTON, E. J. *A manager's guide to technology forecasting and strategy analysis methods*. Columbus, Battelle Press, 1991.
- MONTANHA JR., I. R. "Sistemática de gestão de tecnologia no processo de projeto de produtos: um estudo dedicado às micro e pequenas indústrias metal-mecânicas". Florianópolis, 2004. Dissertação (mestrado). PPGEM – UFSC.
- NONAKA, I.; TAKEUCHI, H. *Criação de conhecimento na empresa*. Trad. Ana Beatriz Rodrigues e Priscilla Martins Celeste. Rio de Janeiro, Campus, 1997
- OECD – Organisation for Economic Co-operation and Development. Oslo manual: the measurement of scientific and technological ac-

- tivities – proposed guidelines for collecting and interpreting technological innovation data. European Commission. Eurostat: OECD. 2.ed. 1998. 1.ed.: 1992. Disponível em: URL: <http://www.oecd.org>; acessado em 17/02/2006.
- PAHL, G.; BEITZ, W. *Engineering design: a systematic approach*. Glasgow, Springer Verlag, 1996.
- PHAAL, R. "Foresight vehicle technology roadmap: technology and research directions for future road vehicles". Centre for Technology Management, Institute for Manufacturing, University of Cambridge. 2002. Disponível em: URL: <http://www.ifm.eng.cam.ac.uk>; acessado em 3/8/2004.
- PHAAL, R.; FARRUKH, C. J. P.; PROBERT, D. R. "Technology roadmapping: a planning framework for evolution and revolution". *Proceedings of Technological Forecasting and Social Change*. v.71, North Holland, 2004, p.5-26.
- PORTER, A. L. et al. *Forecasting and management of technology*. New York, John Wiley & Sons, 1991.
- ROOZENBURG, N. F. M.; EEKELS, J. *Product design: fundamentals and methods*. Chichester, England, John Wiley & Sons, 1995.
- SANTOS, N. *Inteligência competitiva*. Notas de aula da disciplina de Inteligência Competitiva, do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção e Sistemas. UFSC, Florianópolis, 2003.
- SCHACHTNER, K. "Information and communication structures in the planning of market-oriented product innovations". *Information Management Magazine*. v.3. Ludwig-Maximilians, Universität Munich. 1999.
- SIDÉN, J.; LINDSTRÖM, P.; PAULI, M. "Strategic product planning: a case study exploring the process and its development". *Proceedings of International Design Conference – DESIGN 2000*, Dubrovnik, 2000. 6p.
- TWISS, B. C. *Forecasting for technologists and engineers: a practical guide for better decisions*. Stevenage, Peter Peregrinus, 1992.
- VILAROUCA, M. G. "Sistematização do conhecimento da manufatura para uso na revisão formal de projeto: uma aplicação no domínio de componentes plásticos". Florianópolis, 2004. Dissertação (mestrado). PPGEM – UFSC.

Capítulo 5

Especificações de projeto do produto

5.1 Introdução

Após a realização das tarefas de pesquisa de informações e a definição do produto a ser desenvolvido, conforme descrito no Capítulo 4, no âmbito da etapa de projeto informacional do PRODIP, o passo seguinte é o estabelecimento das especificações de projeto.

Essa atividade é extremamente importante pois, além de propiciar o entendimento e a descrição do problema na forma funcional, quantitativa e qualitativa, formalizando a tarefa de projeto, fornece a base sobre a qual serão montados os critérios de avaliação e de todas as tomadas de decisão realizadas nas etapas posteriores do processo de projeto.

A atividade de elaboração das especificações de projeto, principal resultado da fase de projeto informacional, tem recebido uma grande atenção de pesquisadores e de profissionais de projeto e vem sendo, às vezes, denominada de engenharia de requisitos (*requirements engineering*), principalmente no desenvolvimento de produtos do domínio de sistemas computacionais (Harwell *et al.*, 1993, Karlsson, Nellore e Söderquist, 1998, Mckay, Pennington e Baxter, 2001). Foram propostas metodologias que transformam, sistemática e progressivamente a partir do planejamento do produto, as necessidades dos consumidores em requisitos dos consumidores e estes em requisitos e especificações de projeto do produto, como mostra esquematicamente a Figura 5.1, cujas definições serão apresentadas no item 5.2.

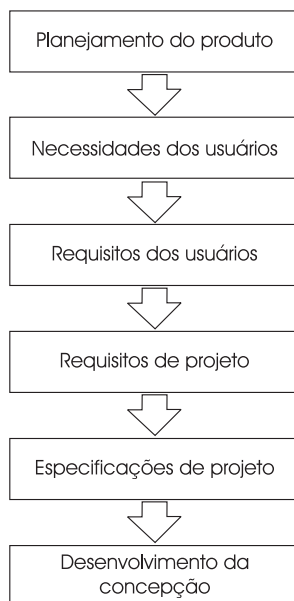


Figura 5.1 Processo de transformação das necessidades dos usuários em especificações de projeto.

Essa sistematização trouxe vários benefícios ao processo de desenvolvimento de produtos, dentre eles:

- principalmente, a obtenção de especificações de melhor qualidade em termos de precisão e completeza;
- vários métodos e ferramentas foram desenvolvidos e podem ser adotados nas diversas atividades de coleta e transformação das informações pertinentes;
- a sistematização leva a equipe de projeto a um estudo mais aprofundado e a um maior entendimento das necessidades de todos os envolvidos no ciclo de vida do produto;
- as especificações assim obtidas reduzem custos e tempos de desenvolvimento, constituem a base de todas as decisões a serem tomadas e facilitam o desdobramento funcional e o planejamento das atividades de projeto e dos testes do produto.

Uma inadequada definição dessas especificações de projeto ou uma determinação imprópria de certos aspectos do problema poderá causar uma seqüência de decisões que fará emergir uma solução para um problema diferente do requerido. Ou seja, obter-se-á a solução de um proble-

ma definido erroneamente e que não satisfaz as necessidades dos usuários ao longo do ciclo de vida do produto.

Dessa forma, no item 5.2, serão apresentados os conceitos fundamentais relacionados ao processo de desenvolvimento das especificações de projeto; no 5.3, será descrita a metodologia e os correspondentes métodos e ferramentas adotados no processo de elaboração das especificações, e no 5.4, serão apresentadas especificações típicas de produtos industriais e será discutida a caracterização das mesmas.

5.2 Conceitos fundamentais relacionados à elaboração das especificações de projeto

Na Figura 5.1 foi mostrada uma seqüência de transformações de necessidades em requisitos de usuários e, estes, em requisitos e especificações de projeto.

O termo **usuário** será usado para representar todas as pessoas e organizações que de alguma forma têm interesse ou que serão afetadas pelo produto ao longo de seu ciclo de vida. Aqui devem ser considerados os usuários envolvidos no uso do produto e no processo de produção do mesmo. Assim, o conceito de usuário do produto é bem amplo, compreendendo: consumidores; operadores; pessoal de assistência técnica; compradores; revendedores; bancos; agências financiadoras; órgãos de governo; comunidades; órgãos reguladores; possíveis vítimas; empresas de reciclagem etc. Como usuários do processo de produção tem-se: a equipe de projeto; fabricantes; fornecedores de matérias-primas e de componentes; colaboradores envolvidos na fabricação, embalagem e manipulação; sindicatos; empresários e acionistas. Na literatura em português são usados outros termos, entre estes consumidor e cliente. Em inglês, atualmente, o termo *stakeholders* é muito freqüente para denominar esse conjunto amplo de possíveis envolvidos ao longo do ciclo de vida de um produto.

A primeira atividade propriamente dita de projeto do produto é a identificação e coleta das necessidades dos usuários do produto. É também a atividade mais crítica de todo o processo, pois essas necessidades são a voz do consumidor, a qual deve ser atendida como primeira prioridade. As demais atividades e decisões são decorrências. Assim, a **necessidade do usuário** é a palavra ou a frase que expressa o que o consumidor

precisa, sua vontade, desejos e expectativas. Essas necessidades são, geralmente, expressas numa linguagem natural e livre dos consumidores, sem nenhuma padronização de termos e classificações.

As necessidades dos usuários, para serem de fácil visualização e adoção pelos planejadores e membros da equipe de projeto, devem ser transformadas, resumidas, agrupadas e classificadas numa linguagem apropriada para expressar atributos de qualidade do produto que são denominados de **requisitos do usuário** (Figura 5.1). Os requisitos dos usuários são, geralmente, expressos na forma qualitativa. Como exemplos, tem-se: o produto deve ser seguro; ter aspecto atraente; ser de fácil operação e manutenção; ter baixo custo etc.

Quando os requisitos dos usuários são transformados e ou desdobrados, e aos mesmos são atribuídas dimensões, os resultados dessa conversão serão denominados de requisitos de projeto. **Requisito de projeto** é uma qualidade, um atributo com grandezas definidas do produto. Por exemplo, o requisito de usuários por fácil manutenção pode ser convertido nos seguintes requisitos de projeto: tempo médio (horas) entre manutenções preventivas ou corretivas; x (horas) de manutenção preventiva ou corretiva por hora de operação do sistema e y (R\$) de custo médio de manutenção corretiva.

Quando são atribuídas grandezas a um atributo ou qualidade de um produto, estas deverão ser passíveis de mensuração. O conjunto de atributos assim definidos, adicionados os modos e as grandezas para avaliação de conformidade estabelecidas, e com prioridades de atendimento, denominar-se-á **especificações de projeto do produto**. Essas especificações de projeto são o ponto de partida para a concepção do produto e o meio de verificar se o projeto atende ou não às necessidades do usuário. A metodologia de elaboração desse conjunto de especificações será descrita no próximo item.

5.3 Metodologia de desenvolvimento das especificações de projeto do produto

Todo o desenvolvimento de produto ou de serviço se inicia com o estabelecimento das especificações de projeto. É muito freqüente observar que idéias são transformadas, às pressas, em produtos que não atendem os usuários. As especificações do produto são incompletas ou então

superdimensionadas. No primeiro caso tem-se um produto abaixo das necessidades do usuário e, no segundo, o produto apresenta certas características acima das exigências, tornando, então, o custo de produção muito elevado. A elaboração das especificações de projeto, ao seguir uma metodologia predefinida e ao investir tempo nesse processo, traz benefícios, como já foi apontado anteriormente. Cada projeto ou produto a ser desenvolvido tem suas próprias características. Assim, o tempo investido, a profundidade e a extensão de aplicação da metodologia devem ser dosados para cada caso, mas recomenda-se seguir todos os procedimentos da sistemática apresentada nos próximos itens.

Esse procedimento sistemático permite uma definição progressiva das especificações de projeto que expressam o que o produto deverá fazer, baseando-se na identificação, avaliação, quantificação, priorização e documentação das necessidades dos usuários e encorajando a inovação pelo uso das melhores práticas.

5.3.1 Apresentação do problema de projeto

O processo de elaboração das especificações de projeto se inicia com a apresentação do problema que vai ser resolvido e que foi formulado no planejamento do produto conforme descrito no Capítulo 4. Como consta na Figura 2.16, tem-se, como saída da fase de planejamento, um plano de desenvolvimento do produto. Recomenda-se que a apresentação desse plano seja efetuada formalmente, marcando o início do projeto com a presença, no mínimo, do gerente e da equipe de projeto. Esse plano deve conter: a declaração do escopo; estrutura de decomposição do projeto; riscos do projeto; lista de atividades do projeto; recursos físicos, planejamento organizacional; cronograma; plano de gerenciamento das comunicações de suprimentos, da qualidade; a política de segurança; restrições de projeto; a prioridade; e a periodicidade de reuniões.

Nessa apresentação, devem também ser esclarecidas dúvidas de diversas naturezas, entre as quais:

- tipo de projeto: se é um projeto de um produto totalmente novo, de evolução de um produto já produzido ou se é um produto novo para a empresa, já existente no mercado, e que deverá ser submetido a um processo de engenharia reversa;
- volume de produção: se é um produto ou um sistema único a ser fornecido sob encomenda ou será produzido em larga escala;

- quais informações históricas estão disponíveis na empresa e qual é a extensão do levantamento já realizado de necessidades dos usuários.

Essas são informações importantes para orientar a equipe na busca detalhada das necessidades dos usuários do projeto e do produto.

Quanto ao tipo de projeto, tem-se, na literatura, várias formas de classificação e denominação. Os critérios mais comuns adotados para a classificação de projetos de produtos levam em consideração a inovação ou originalidade, a novidade para a empresa ou, no mercado, a complexidade, o porte, os domínios de conhecimento do projeto e o uso do produto. Para os objetivos de busca das necessidades e da elaboração das especificações de projeto, serão considerados os seguintes tipos:

- projeto de inovação: apresenta alto grau de originalidade conceitual. É uma invenção resultante de uma pesquisa com potenciais aplicações em novos produtos ou então que requer um produto para atender a uma nova necessidade ou operação ainda não atendida por produtos existentes. Esse é o caso mais complexo e, para a apresentação do projeto, provavelmente haverá menos informações pois não há um produto de referência e não se tem conhecimentos históricos sobre os potenciais usuários e mercados;
- projeto de evolução: enquadram-se aqui vários casos de reprojeto de produtos existentes. Em primeiro lugar tem-se a atividade de introduzir melhoramentos no projeto de um produto existente e que já vem sendo produzido pela empresa. As razões para realizar um reprojeto são falhas no projeto anterior, necessidade de introduzir novas tecnologias ou reduzir custos de produção para fazer frente à concorrência. Para a apresentação, tem-se considerável quantidade de informações do projeto anterior, assim como dados históricos de problemas de fabricação, da assistência técnica e do mercado;
- projeto de variação: semelhante ao anterior, este é um caso em que em um projeto de produto existente, são introduzidas, variações dimensionais, de arranjos, ampliações ou adaptações para atender a novas operações ou ampliar capacidades solicitadas pelos usuários. Geralmente não há alterações na função nem nos princípios de solução. Para o lançamento e apresentação do projeto à equipe de desenvolvimento, tem-se à disposição consideráveis informações do produto que será adotado para a avaliação ou adaptação às novas necessidades;

- projeto reverso: são os casos em que a empresa pretende produzir um produto já existente no mercado. Para a empresa é um projeto novo, um processo de cópia ou, de forma mais elegante, um processo de engenharia reversa; é desenvolvido o projeto de um produto já produzido por outros fabricantes. Sendo um produto sem proteção de patentes, esta é uma prática legal, como será discutido no Capítulo 10. Neste caso, para a apresentação na reunião de lançamento do projeto, pode-se dispor de modelos de produtos de outros fabricantes.

Com o conhecimento do tipo de projeto e produto a ser desenvolvido, do volume de produção e das informações já disponíveis, a equipe pode programar a análise desses dados, definir o ciclo de vida, identificar os usuários e levantar dados adicionais, conforme descrito nos próximos itens.

5.3.2 Definição do ciclo de vida do produto

Cada tipo de produto tem o seu ciclo de desenvolvimento. A Figura 5.2 dá uma visão geral do mesmo. A espiral interna indica o contato que o setor de marketing da empresa deve manter continuamente com o mercado ou os usuários. Na espiral externa está representado o contato que a equipe de desenvolvimento manterá com os diferentes usuários que atuarão nas fases do ciclo de vida do produto, para elicitar informações necessárias ao processo de transformação do problema de projeto em especificações de projeto.

No caso do desenvolvimento do projeto de inovação de um sistema técnico de domínio multidisciplinar, tem-se um exemplo mais geral (Figura 5.2). Tem-se aqui, no processo de desenvolvimento, todas as 8 fases do modelo de desenvolvimento integrado de produtos, descritas no item 2.4 do Capítulo 2. Considerando-se automóveis, máquinas-ferramenta ou eletrodomésticos, por exemplo, além das fases de projeto, o produto passa pela fabricação, montagem, embalagem, transporte, uso, manutenção, desativação e reciclagem. Na manutenção, devem-se prever a manutenção preventiva e corretiva, peças de reposição e de reparo. No outro extremo, tem-se o desenvolvimento de produtos simples, tais como componentes mecânicos ou eletrônicos, nos quais, caso haja uma falha, são descartados e substituídos. Assim não é necessário prever facilidades para manutenção

e reparos. Em projetos de inovação como esse devem ser elicitadas informações dos usuários que atuam em todas as fases de desenvolvimento.

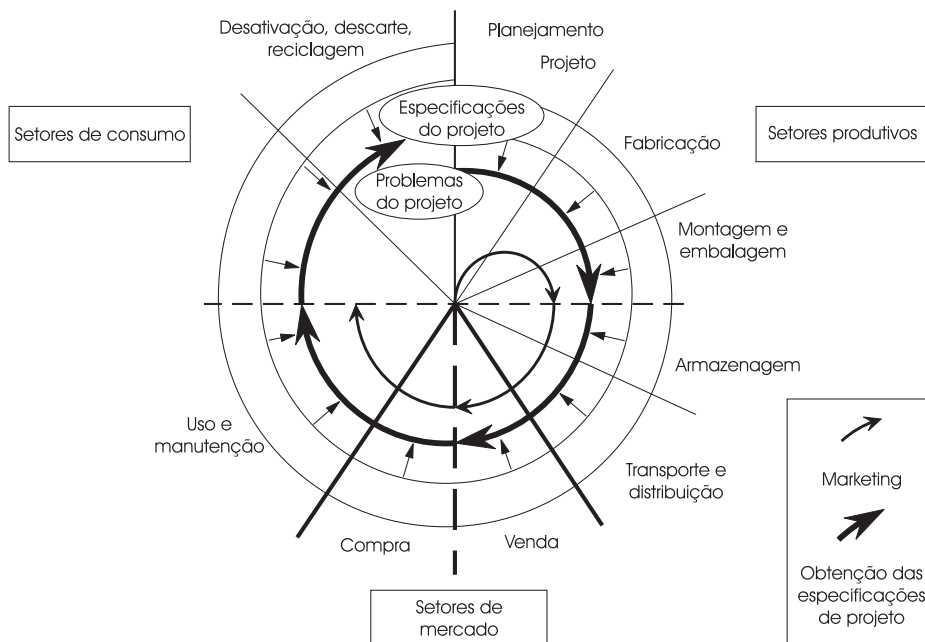


Figura 5.2 Espiral do desenvolvimento (adaptado de Fonseca, 2000).

No que diz respeito a projetos de evolução e de variação, o ciclo de vida em geral é reduzido nas fases de projeto. Às vezes, são introduzidas modificações somente de partes, de componentes ou subsistemas que venham apresentando muitas falhas ou sejam de tecnologias obsoletas. Nesses tipos de projetos já existem informações da maioria dos usuários que desenvolvem atividades ao longo do ciclo de vida do produto.

Havendo uma grande variedade de tipos, portes e complexidades de produtos no mercado e, ainda, considerando projetos novos ou reprojeto, cada caso deve ser analisado e as atividades e os correspondentes usuários durante o ciclo de vida, determinados.

5.3.3 Identificação dos usuários do projeto e do produto

O termo usuário já foi definido no item 5.2. Ele engloba todas as pessoas, órgãos ou instituições que têm interesse, direito de opinar, impor exigências ou expressar necessidades que venham a afetar de alguma forma

as características ou os atributos do produto a ser desenvolvido. Esses usuários podem ser classificados como externos, intermediários ou internos.

Os usuários externos são as pessoas ou organizações que irão usar ou consumir o produto e devem ser considerados prioritariamente. Nessa classe são incluídos todos os que exercem atividades nos setores de consumo ou que são influenciados, direta ou indiretamente, pelo produto. No caso do projeto de um sistema técnico, os usuários diretos seriam os operadores do equipamento, o pessoal de manutenção e assistência técnica, os envolvidos na desativação, no descarte e na reciclagem. No que diz respeito a um veículo de transporte coletivo, ter-se-ia, ainda, os usuários indiretos, que são os órgãos reguladores, os passageiros, os pedestres e os moradores da comunidade, que seriam afetados pelos serviços e pela poluição sonora e do ar.

No setor de mercado há os usuários intermediários que correspondem àqueles responsáveis pela distribuição, promoção, marketing e vendas do produto. Nessa classe são enquadrados os bancos ou agências de financiamento, órgãos coletores de impostos, representantes, revendedores e lojas de departamentos.

Como mostra a Figura 5.2, os usuários internos são aqueles envolvidos nos setores produtivos, compreendendo as atividades de planejamento, gerência, projeto, fornecimento, fabricação, embalagem, manipulação e transporte do produto. Da mesma forma, são incluídos, na classe de usuários internos, empresários, acionistas, sindicatos de trabalhadores, a comunidade onde está instalada a unidade fabril etc.

É interessante destacar que a discussão apresentada sobre os usuários leva a classificá-los em usuários do processo e usuários do produto resultante do processo. As pessoas e organizações envolvidas nos setores produtivos são usuários do processo de produção e as envolvidas nos setores de mercado e consumo são usuários do produto.

5.3.4 Elicitação das necessidades dos usuários

É muito freqüente dizer ou escutar que a voz do usuário se constitui no principal e mais crítico passo para alcançar a qualidade ou a competitividade de produtos. E mais: a qualidade só pode ser definida pelos usuários, e estes só ficarão satisfeitos com produtos e serviços que atendam ou ex-

cedam as suas necessidades e desejos, por um preço que represente valor de uso. Isso significa que as empresas devem entender o que os usuários realmente querem. Chega-se a afirmar que o papel de definir a excelência do produto é dos usuários e não mais da gerência e da equipe de desenvolvimento do produto.

Como já foi mencionado no item anterior, existem muitos usuários ou clientelas a ser satisfeitos e que os mesmos têm linguagens e entendimentos diferentes entre si especialmente em relação à linguagem da empresa. A busca da voz do usuário tem sido objeto de muitos estudos e diversas práticas e métodos para alcançar as reais necessidades do ambiente de desenvolvimento e uso dos produtos foram aprimoradas.

Dentre as melhores práticas que apóiam a elicitação das necessidades dos usuários, podem ser citadas as seguintes:

- análise das necessidades em que se utilizam métodos para garantir a identificação dos corretos ou reais desejos, vontades e expectativas dos usuários;
- no uso do produto e na análise dos perfis dos usuários podem-se documentar, em escala de tempo, todas as funções que o produto e o usuário devem desempenhar, considerando os diferentes ambientes ou missões. Esses perfis são chamados de cenários, casos de usos, análise de tarefas, seqüências de funções, fluxos de trabalho, perfis de ambientes ou de missões;
- previsão da capacidade tecnológica, de curto e longo prazo, para garantir que o projeto seja atualizado quando se iniciar a fabricação do produto. A previsão tecnológica é uma forma de verificar a disponibilidade de tecnologias no tempo certo para serem aplicadas no projeto, os níveis esperados de desempenho e as capacidades de manufatura necessárias quando o projeto estiver pronto para ser fabricado;
- a realização de estudos das capacidades da empresa e de *benchmarking* que avaliam as competências da empresa e da concorrência, identificam as melhores práticas e auxiliam na definição das especificações de projeto e de fabricação;
- o uso da prototipagem virtual e do método de desdobramento da qualidade que sistematizam a identificação das necessidades dos usuários e o desenvolvimento das especificações de projeto do produto.

Os métodos desenvolvidos para a busca das necessidades dos usuários existem em número elevado e os mais recomendados para a captura e documentação das mesmas são os seguintes:

Entrevistas estruturadas com usuários: a gravação e a transcrição dessas entrevistas com os reais usuários fornecem uma informação textual e mantêm a essência da voz do consumidor enquanto necessária. Geralmente essas entrevistas são estruturadas, preparadas e baseadas em atributos típicos do produto objeto da pesquisa.

Na preparação das entrevistas, Swanson e Hauser (1995) recomendam que seja efetuada uma série de questionamentos, entre os quais:

Qual o tipo indicado de entrevista? As entrevistas individuais são mais eficientes do que as em grupos. Há tendências potenciais e aspectos de dinâmica de grupo que prejudicam a obtenção de dados, em maior profundidade e detalhes, quando focada em grupos de usuários.

Quantas entrevistas devem ser feitas? Um número de 20 ou 30 entrevistas num grupo homogêneo de usuários pode garantir que 90% ou mais das necessidades sejam identificadas. No entanto, o tópico e o entrevistado também devem ser considerados; caso sejam mais complexos, pode-se necessitar de mais entrevistas.

Quem deve conduzir a entrevista? Membros da equipe de desenvolvimento do projeto podem obter maior visão dos usuários ao ouvi-los discutirem seus problemas e preocupações. Ao menos a equipe de projeto deve assistir ou ver os vídeos das entrevistas. Isso não significa que os membros da equipe de desenvolvimento devam realizar as entrevistas. Às vezes, membros da equipe de desenvolvimento podem adotar linguagem e posições de tendências típicas da empresa, prejudicando a busca pelas reais necessidades dos usuários. O mais conveniente é capacitar, especialmente para essa função, pessoas da empresa para realizar as entrevistas, pois elas têm um conhecimento privilegiado da empresa em questão.

O que o entrevistador deve falar? Deve ser organizado um plano para os entrevistadores para garantir um bom fluxo e um entendimento dos tópicos de interesse. Os usuários frequentemente apresentam soluções quando o objetivo da entrevista deve ser o levantamento de necessidades que os levaram a pensar nessas soluções. Por exemplo, usando “por que” como a palavra-chave da entrevista, pode ser perguntado: Por que baixo custo é um referencial importante neste projeto? Por que deve ser priorizada a segurança independente do custo?

O que deve ser feito ao concluir a entrevista? Os analistas devem ler e destacar as transcrições das entrevistas para extrair as necessidades dos usuários que serão submetidas ao processamento, como descrito mais adiante.

Parcerias ou alianças no projeto: a participação de usuários na realização do projeto também é uma forma de conhecer suas necessidades. Atualmente é muito freqüente o envolvimento de fornecedores no desenvolvimento do produto, especialmente no que concerne aos componentes, subsistemas ou materiais dos quais serão fornecedores. No caso de equipes, num ambiente de engenharia simultânea, normalmente já participam representantes da fabricação, uso e manutenção ou assistência técnica.

Consultores e especialistas: profissionais em mercadologia são capacitados na identificação das necessidades dos usuários e podem ser contratados ou consultados. O método de Delphi é uma forma sistemática de buscar informações dessa natureza junto a especialistas sobre um produto ou tecnologia objeto do desenvolvimento.

Sessões de *brainstorming*: este método solicita entradas que encorajam a geração de idéias inovadoras que fujam do ordinário e mudem os conceitos do tipo de produto em estudo.

Experiências pessoais e da empresa: trazem necessidades de sucessos e de falhas de produtos passados, ou planilhas e modelos de referência desenvolvidos para identificar necessidades ou atributos típicos do produto.

Pesquisa em material publicado: revistas, jornais, leis, projetos de lei, normas e patentes, incluindo o uso da internet, fornecem dados e diretrizes de necessidades dos usuários do produto.

Previsão da capacidade tecnológica: ao prever o futuro baseando-se em dados históricos de produtos e tecnologias, identificam-se necessidades dos usuários.

Análise de mercado e *benchmarking* da concorrência: essa análise identifica os melhores na classe e idéias inovadoras.

Prototipagem e realidade virtual: essas técnicas podem ser empregadas para estudar respostas de usuários e promover recomendações à equipe de projeto.

Método do desdobramento da função qualidade: esse método foi inicialmente apresentado por Akao (1990), no fim dos anos 1960. É conhecido como o método QFD (*Quality Function Deployment*). O QFD é fundamentado na preocupação de que os produtos devem ser projetados para refletir os desejos, gostos e expectativas dos usuários (ou a voz do

consumidor) que devem ser considerados de alguma maneira no processo de desenvolvimento do produto. Adicionalmente, profissionais de mercado, engenharia e fabricação devem trabalhar integrados desde as fases iniciais do desenvolvimento. Os propósitos gerais do método QFD são: tornar efetivo o uso de métodos sistemáticos para o desenvolvimento de produtos; propiciar a solução de problemas pela atividade em grupo; tornar a atividade em grupo eficiente; e capacitar o grupo com ferramentas simples e práticas.

É também conhecido como método das matrizes; no método completo tem-se um desdobramento de quatro matrizes, mas, para o objeto do presente capítulo, adotar-se-á somente a primeira matriz, conhecida como a *casa da qualidade* (Figura 5.3).

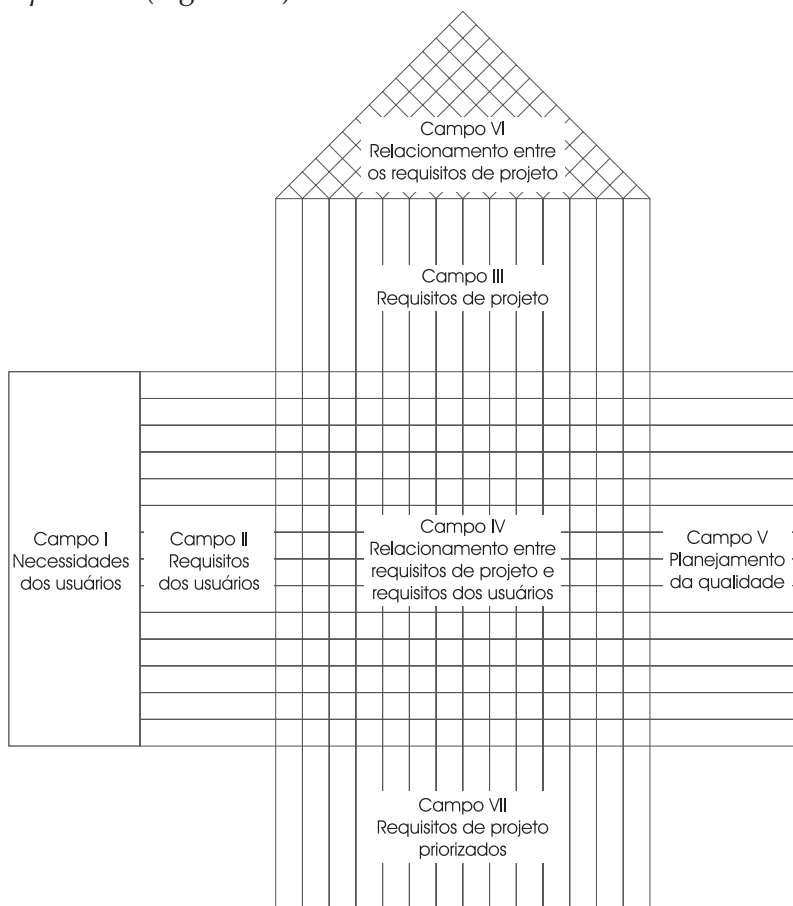


Figura 5.3 Forma e principais elementos da *casa da qualidade*.

Esse método tem recebido especial atenção entre pesquisadores e profissionais da indústria e o desdobramento da primeira matriz, *a casa da qualidade*, é adotado como uma sistemática que abrange a maioria do processo de elaboração das especificações de projeto. O método do QFD não é um método de elicitação das necessidades propriamente ditas, mas é usado para a documentação e visualização das necessidades levantadas pelos métodos anteriormente descritos e como auxiliar no processamento das mesmas e suas transformações sucessivas em requisitos de usuários e de projeto, priorização dos requisitos de projeto e sua transformação final em especificações de projeto, como proposto na metodologia deste capítulo, ao preencher os sete campos da *casa da qualidade*.

Como já foi dito anteriormente, as informações levantadas com usuários encontram-se em uma linguagem natural e bastante diversa, tendo em vista os inúmeros usuários com diversos perfis, formações, culturas e interesses. Assim, essas informações devem ser triadas, classificadas e agrupadas de modo a formar as necessidades que sejam representativas e que expressem vontades, desejos ou qualidades que o usuário quer no produto. Essas declarações de necessidades são, então, usadas para preencher o Campo I da *casa da qualidade* (Figura 5.3). Elas serão transformadas nos chamados requisitos de usuários, como descrito no próximo item.

5.3.5 Transformação das necessidades em requisitos de usuários

Para o desenvolvimento do processo é conveniente que as necessidades sejam desdobradas ou agrupadas nos requisitos dos usuários. As necessidades dos usuários são transformadas ou traduzidas para os requisitos de usuários usando-se uma linguagem mais compacta e apropriada ao entendimento geral da equipe de desenvolvimento. Essa conversão pode ser feita com base em atributos de qualidade do produto.

Considerando-se a variedade de produtos de forma geral, os atributos de qualidade podem ser classificados de diversas formas: qualitativos ou quantitativos; obrigatórios ou preferenciais; do ciclo de vida ou específicos.

Aqui será adotada a última classificação (Tabela 5.1), em que os atributos de qualidade podem ser obrigatórios ou preferenciais e quantitativos ou qualitativos. Na tabela tem-se uma amostra de atributos típicos de sis-

temas técnicos que podem ser utilizados como um dicionário de tradução das necessidades de usuários do Campo I para os requisitos de usuários a serem registrados no Campo II.

5.3.6 Planejamento da qualidade desejada

No desenvolvimento de um produto, envolvem-se várias pessoas que se constituem em usuários com diferentes interesses. Em tese, todos os usuários expressarão seus interesses como sendo os mais importantes. Ocorre, entretanto, que essa importância poderá ter seu valor alterado (diminuído ou aumentado) se forem considerados outros parâmetros de avaliação. A análise comparativa das necessidades ou dos requisitos dos usuários em conjunto com o estudo de produtos concorrentes é denominada de planejamento da qualidade desejada. O objetivo dessa análise é a determinação dos fatores de importância e as metas dos requisitos dos usuários registrados no Campo II da *casa da qualidade*. Os resultados serão registrados no Campo V da *casa da qualidade*.

À importância de cada requisito de usuário pode ser atribuído um valor numérico, o qual indica, com base em uma dada escala, como aquele requisito deverá ser analisado pela equipe de desenvolvimento durante a solução do problema. Hauser e Clausing (1988) recomendam que sejam estabelecidos valores relativos para cada requisito através do julgamento da própria equipe de desenvolvimento. Também citam o emprego de técnicas para expressar as preferências dos usuários com relação a produtos existentes ou hipotéticos. Akao (1990), por sua vez, apresenta um método para calcular o valor dos requisitos dos usuários, chamados pelo autor de *peso da qualidade demandada*, considerando-se a análise de produtos concorrentes, o potencial para vendas e a taxa de melhoramento da demanda. Segundo o autor, o método proposto, conforme a Figura 5.4, leva em conta as políticas da empresa com relação a determinadas demandas.

O método de Akao (1990) tem início pela determinação do grau de importância de cada requisito de usuário. Esse valor pode ser atribuído pelos próprios membros da equipe, respondendo a questões do tipo: “qual será a importância deste requisito para o usuário?” Outra forma é perguntar diretamente ao usuário como ele considera determinado requisito. Para cada item de julgamento é elaborada uma questão e indicada uma escala para o usuário escolher o valor mais apropriado. Esse método parece

Tabela 5.1 Atributos típicos de produtos industriais (adaptado de Fonseca, 2000)

Classes de atributos	Atributos	Comentários
Atributos básicos	Funcionalidade	Funções, operações, desempenho, eficiência
	Ergonomicidade	Ergonomia de uso
	Esteticidade	Aparência, estilo, cores
	Segurança	Princípios de segurança, proteção, atos inseguros
	Confiabilidade	Taxas de falhas, redundâncias
	Legalidade	Atendimento às leis de segurança, comércio
	Patenteabilidade	Inovação passível de privilégio
	Normalização	Atendimento às normas internas, de transporte e de comércio
	Robustez	Pouco sensível aos fatores do meio ambiente
	Impacto ambiental	Atende a normas ambientais, poluição, conservação
Atributos do ciclo de vida	Fabricabilidade	Fácil, precisa e de baixo custo
	Montabilidade	Manutenção fácil e econômica
	Embalabilidade	Embalagem fácil, compacta, econômica e segura
	Transportabilidade	Adequado aos meios de transporte e manipulação
	Armazenabilidade	Conservação, ambientes, manipulação
	Vendabilidade	De fácil venda e exposição
	Usabilidade	Fácil operação, aprendizado
	Mantenabilidade	Manutenção fácil, rápida e segura
	Reciclabilidade	Produto, componente, resíduos recicláveis
	Descartabilidade	Descarte sem contaminação ou dano ao ambiente
Atributos específicos	Geometria	Forma, arranjo, dimensão, espaço
	Cinemática	Movimentos, direção, velocidade, aceleração
	Forças	Direção, magnitude, frequência, rigidez, peso
	Energia	Fontes, potência, rendimento, armazenamento
	Materiais	Propriedades físicas e químicas, contaminações
	Sinais	Entrada, saída, forma, apresentação, controle
	Automação	Manual, índice de automação
	Tempo	Tempo de desenvolvimento, data de entrega

ser o mais adequado. Entretanto, os itens de julgamento são estabelecidos pela equipe e não pelos próprios usuários. Há, de certa forma, nesse caso, uma espécie de indução de desejos pelos questionários formulados. A escala do grau de importância a ser atribuído aos requisitos de projeto é de $g_i = 1$ a 5, que é registrado na primeira coluna do Campo V, como mostra a Figura 5.4.

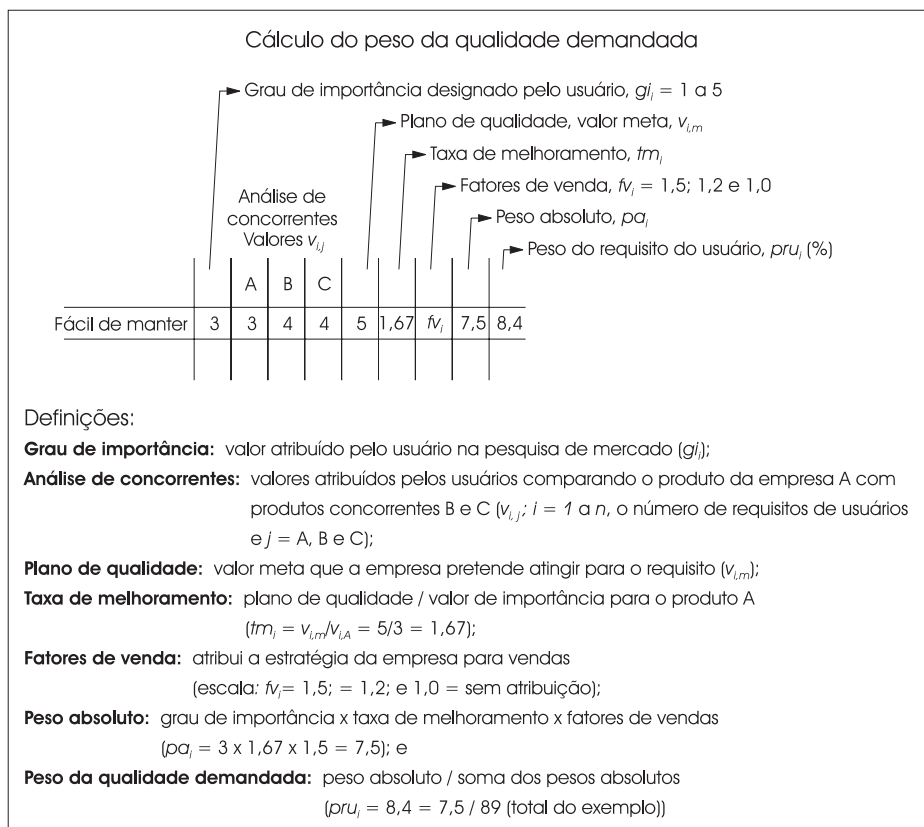


Figura 5.4 Método para o cálculo da importância dos requisitos dos usuários (adaptado de Akao, 1990).

Na seqüência do método são valorados o produto da empresa e os possíveis produtos concorrentes. Essa valoração também pode ser realizada por questionários aplicados diretamente ao usuário. Com questões e escalas de valores apropriadas, pede-se que ele atribua o valor correspondente ao que pensa do produto da empresa e dos produtos concorrentes. Esse tipo de questionamento pode se tornar ineficiente se os usuários selecionados tiverem pouco conhecimento do mercado e dos produtos de es-

tudo. É recomendado, também, que a valoração de produtos da empresa e de concorrentes seja feita pela própria equipe. Perguntas do tipo “quanto a empresa está fazendo para atender a esse desejo?” e “como o concorrente está atendendo esse desejo?” podem auxiliar nessa tarefa. Para cada um dos requisitos de usuários e para o produto da empresa e dos concorrentes são realizadas valorações $v_{i,j}$ para as quais foi adotada também a escala de 1 a 5. No exemplo da Figura 5.4, foram atribuídos os valores 3 para o produto da empresa e 4 para os dois produtos concorrentes. Esses valores serão determinados para todos os requisitos de usuários e registrados nas três colunas seguintes do Campo V.

O plano de qualidade, ou o valor meta atribuído $v_{i,m}$, para dado requisito do usuário, determina até onde a empresa pretende chegar para satisfazê-lo. Isso depende de uma série de fatores, incluindo as próprias políticas da empresa. Esse valor é atribuído pela equipe de trabalho e é necessário para que seus integrantes, ou pelo menos parte deles, conheçam as diretrizes ou o planejamento estratégico da empresa. Esse valor também expressa uma certa realidade do que é ou não possível de ser atendido com os recursos disponíveis. Os valores serão registrados na quarta coluna do Campo V.

A taxa de melhoramento tm_i é um resultado direto dos valores anteriormente atribuídos, ou seja, da divisão do valor meta pelo valor atribuído ao produto da empresa, $tm_i = v_{i,m}/v_{i,A}$. Esta taxa dá uma idéia de quanto o produto da empresa poderá ser melhorado com relação a determinado requisito. Trata-se de um valor intermediário para o cálculo final da importância relativa do desejo do usuário e de um indicativo do conjunto de requisitos que podem ser melhorados.

Os fatores de venda fv_i de um dado requisito determinam, com base em uma dada escala (Akao (1990) recomenda os valores de $fv_i = 1,5; 1,2$ e $1,0$) e na comparação entre o produto da empresa e os dos concorrentes, qual será a estratégia de vendas da empresa com relação àquele requisito de usuário. Ou seja, valores altos, decorrentes, por exemplo, de produtos concorrentes com importâncias maiores, indicam que aquele requisito deverá apresentar um bom potencial para a venda do produto. Entretanto, essa análise também deve ser feita com base nas facilidades da empresa para esse fim. Não adianta atribuir um alto valor para fatores de venda se a empresa não tiver condições de atender a eles (caso dos recursos para propaganda, por exemplo).

Finalmente, com base nos resultados anteriores, calcula-se um peso absoluto pa_i e um peso relativo pru_i para cada requisito de usuário. Esses valores são calculados pelas seguintes equações:

$$pa_i = gi_i \times tm_i \times fv_i \quad (5.1)$$

e

$$pru_i = \frac{pa_i}{\sum_j pa_j} \quad (5.2)$$

Nota-se que as atribuições de valores, seja para cada requisito, para os produtos concorrentes, para o produto da empresa ou para os fatores de venda, dependem muito dos conhecimentos, experiências, intuição e debates entre os membros do grupo de trabalho. Trata-se de valorações com pouco ou nenhum embasamento teórico. Entretanto, segundo Akao (1990), as aplicações práticas daquele método têm apresentado bons resultados e sua validade vem sendo aceita gradualmente.

A valoração dos requisitos dos consumidores é uma atividade básica para os demais processamentos efetuados na *casa da qualidade*. Com os valores estabelecidos, é calculada, por exemplo, a ordem de importância dos requisitos de projeto registrados no Campo III, os quais, por sua vez, formarão base para a escolha de alternativas de solução para o produto ou suas partes. Assim, se essa tarefa for subestimada e seus resultados forem duvidosos, estes serão “transferidos” para as demais informações de desenvolvimento do produto e poderão conduzir a soluções inadequadas. Portanto, todo o esforço possível para o entendimento, análise e valoração dos requisitos dos usuários deve ser considerado como meta e podem ser adotados ou desenvolvidos métodos alternativos para auxiliar nessa tarefa.

5.3.7 Conversão dos requisitos de usuários em requisitos de projeto

Após a sistematização e valoração dos requisitos dos usuários, a equipe de desenvolvimento inicia a tarefa que trata do estabelecimento das características de engenharia do produto. Essas características expressam, conforme Reich (1996), a “voz da engenharia”. São, em essência, os

atributos do produto que podem ser manipulados (modificados, retirados, incluídos, ampliados, diminuídos etc.) para satisfazer os requisitos dos usuários. Essa atividade é denominada, conforme Hauser e Clausing (1988), de tradução dos requisitos do usuário em características de engenharia. Para o termo *características da engenharia* também são encontradas diversas outras denominações, tais como elementos da qualidade (Akao, 1990), requisitos de engenharia (Ullman, 1992), ou atributos mensuráveis do produto (Reich, 1996). No presente texto adotar-se-á o termo de requisitos de projeto, como já definido no item 5.2, que serão registrados no Campo III da *casa da qualidade*.

A palavra *tradução* é empregada para designar uma forma de interpretação de cada requisito de usuário e expressar o resultado numa linguagem técnica orientada ao objeto de estudo, os chamados requisitos de projeto, que devem ser, na medida do possível, parâmetros mensuráveis. Na forma como a *casa da qualidade* se apresenta, ou vem sendo utilizada, o objeto de estudo é, em geral, o reprojeto ou o melhoramento de produtos existentes (ou de suas partes), visando adequá-los às necessidades ou aos desejos dos usuários e torná-los competitivos diante dos concorrentes. Nesse caso, as características de engenharia ou os requisitos de projeto são declarações a respeito de parâmetros, grandezas físicas, funções e restrições, entre outros, de um produto conhecido que pode ser melhorado. A tradução dos requisitos de usuários em requisitos de projeto não é feita um a um, pois um requisito de usuário pode ser expresso por vários parâmetros, dimensões ou requisitos de projeto. Da mesma forma, um requisito de projeto do Campo III pode englobar mais de um requisito de usuário do Campo II.

Na tradução dos requisitos dos usuários em requisitos de projeto, cujas declarações apresentam algumas das propriedades anteriormente mencionadas, devem ser consideradas as seguintes questões:

- sobre a interpretação de um dado requisito do usuário: o que significa e que princípios ou métodos podem ser empregados para esse fim?;
- sobre o propósito de declarações técnicas: por que estabelecer uma lista de declarações técnicas do produto em estudo?

A interpretação de qualquer informação depende do sistema de valores, conhecimentos e experiências de quem o faz. Isso quer dizer que dife-

rentes equipes de projeto proverão diferentes características de engenharia para um mesmo conjunto de desejos dos usuários. Por outro lado, um determinado desejo do usuário, e conseqüente requisito, poderá ter sido declarado com diferentes conotações, o que conduzirá, provavelmente, a interpretações equivocadas de seu significado. Buscar o entendimento das reais necessidades dos usuários e traduzi-las em atributos do produto é imprescindível para a obtenção de resultados adequados com a *casa da qualidade*.

As características de engenharia ou requisitos de projeto, quando adequadamente formulados, terão papel relevante para a solução dos problemas e satisfação dos usuários. Na realidade, essas características da engenharia podem ser entendidas como os próprios problemas de projeto a serem resolvidos. São elas que vão orientar a equipe de projeto na busca de soluções alternativas e na avaliação das mesmas. Elas têm o propósito de estabelecer os parâmetros, grandezas, funções, restrições, entre outros atributos do produto, os quais “mapeiam” os problemas técnicos de um dado contexto.

Em geral, cada requisito de projeto também possui uma unidade de medição e um sinal qualificador da modificação desejada. Por exemplo, “+ peso do produto (kg)” estabelece que a característica peso do produto (ou da parte) é medida em quilogramas e que sua magnitude deve ser aumentada (+) pela solução adotada. Para unidades de medição, deve ser empregado o Sistema Internacional de Unidades (SI). Entretanto, nem sempre se consegue definir uma característica de engenharia por meio de grandezas de base do SI ou suas derivadas e, nesses casos, nenhuma unidade é adotada ou uma unidade percentual (qualitativa) é considerada. Já com relação ao qualificador (+ ou -), ou seja, o que se deseja sobre dado requisito de projeto, pode-se ter diferentes implicações.

Aumentar o peso de um produto, por exemplo, implica maior quantidade de material e maiores custos, os quais podem ser características conflitantes entre si do ponto de vista do desenvolvimento global do produto. Além disso, dependendo do tipo de produto, ou da parte estudada, pequenas variações de massa (peso) poderão comprometer o desempenho da sua função (balanceamento/desbalanceamento de rotores, por exemplo). Portanto, deve-se tomar cuidado e avaliar adequadamente o significado e as implicações dos qualificadores das características de engenharia e o compromisso decorrente deles. Essa análise será mostrada mais adiante,

no item que trata dos compromissos estabelecidos no “telhado” da *casa da qualidade* (Campo VI).

O resultado da tradução dos requisitos dos usuários constitui-se, em geral, numa lista de características de engenharia, ou seja, os requisitos de projeto, que serão dispostos verticalmente nas colunas da matriz, em sua parte superior no Campo III. Esses requisitos também podem ser agrupados e sistematizados para facilitar o entendimento e sua manipulação.

Vários autores têm tratado a tradução dos desejos dos consumidores em características de engenharia, porém são poucos os métodos práticos diretamente aplicáveis a esse fim. Encontra-se mais literatura sobre “o quê” fazer do que “como” fazer. Entre as várias alternativas de práticas para obter essa tradução, apresentam-se as seguintes:

- uso de glossário: lista de termos, atributos de produtos (Tabela 5.1), cujas definições são baseadas no consenso da organização a respeito de cada um dos requisitos de projeto;
- amostras: partes de produtos, filmes de vídeo, fitas de áudio, entre outros, para que os membros da equipe tenham o “sentimento das coisas” e para facilitar a declaração de suas características;
- organizações especiais: constituição de grupos de trabalho específicos (internos ou externos), para tarefas dedicadas às traduções dentro da empresa;
- padronização: forma de caracterização comum de objetos de estudo, utilizando códigos, siglas, palavras e frases, entre outros;
- medição: exprimir as coisas através de números de valores de medidas, para o que a modelagem e/ou experimentação são necessárias;
- análise do caráter crítico: tem por finalidade identificar poucas características, porém vitais (um conjunto mínimo) para prosseguir com o desenvolvimento do produto. Os critérios empregados para esse fim são: características essenciais à segurança; restrições legais; características essenciais à vendabilidade; características que exigem altos investimentos; características que exigem continuidade; características que prolongam o *lead time*; características de áreas eticamente sensíveis; e características relacionadas à instabilidade do produto;
- questionamentos: de acordo com o proposto por Blanchard e Fabrycky (1990), perguntas típicas que auxiliam na tradução dos requisitos de usuários em requisitos de projeto são: o que o produto

deve realizar em termos de características de desempenho funcional e operacional (faixa de operação, capacidade, fluxo, potência, consumo etc.); qual é a vida útil esperada para o produto?; como o produto será usado em termos de horas de operação por dia, número de ciclos por mês etc.?; como o produto será distribuído?; quais as características relativas à eficiência que o produto deverá exibir?; custo, disponibilidade, confiabilidade, manutenibilidade etc.?; quais as características relacionadas ao meio ambiente que o produto deverá possuir (temperatura, umidade, vibrações etc.); em que ambiente o produto deverá operar?; como o produto será transportado, armazenado e manipulado?; como será o descarte do produto?; o produto, ou partes dele, pode ser reciclado?; quais os efeitos sobre o meio ambiente?

Observa-se que a conversão dos requisitos de usuários em requisitos de projeto se constitui na primeira decisão sobre as características físicas do produto sendo projetado. Essa ação definirá parâmetros mensuráveis, associados às características finais que terá o produto sob análise, razão pela qual essa etapa constitui-se em um momento importante para o processo de projeto em geral. É conveniente investir tempo e esforços nesta tradução, usando as alternativas de práticas descritas acima.

5.3.8 Priorização dos requisitos de projeto

Uma vez definidos os requisitos de projeto, a atividade seguinte dentro do processo de desenvolvimento das especificações de projeto é a classificação dos mesmos, ou seja, procura-se identificar a prioridade que se deve dar, no desenvolvimento do projeto, à busca de soluções que atendam a um requisito em detrimento de outros, se as ações forem de efeitos contrários.

A primeira tarefa que a equipe de desenvolvimento deve realizar é a análise dos requisitos de projeto e dos requisitos de usuários. Essa tarefa é realizada na parte central da *casa da qualidade* (matriz de relacionamentos, conforme Hauser e Clausing 1988), onde ocorre a interseção entre linhas e colunas da matriz (Figura 5.3). Cada interseção corresponde a um relacionamento entre um requisito de projeto e um requisito de usuário.

O relacionamento entre entidades pode ser de vários tipos. Isso normalmente é realizado pela comparação entre os atributos das entida-

des consideradas. Os valores designados para o relacionamento podem ser quantitativos ou qualitativos. Valores qualitativos são expressos por adjetivos ou qualidades, que indicam quanto um dado atributo é ou não melhor do que o outro. Isso é feito com base no conhecimento, na experiência e intuição de quem estabelece as relações. Assim, quando se relaciona qualitativamente um objeto A com um objeto B, relativo ao atributo cor do produto, por exemplo, obter-se-á um resultado do tipo: a cor de A é melhor do que a cor de B. Relacionamentos quantitativos, por outro lado, dependem de dados mensuráveis, meios de medição e métodos de modelagem e análise. Isso nem sempre é possível devido à natureza das informações disponíveis, principalmente quando o produto ou suas partes ainda não existem ou são pouco conhecidos.

No caso do relacionamento entre as necessidades dos usuários com as características de engenharia, trata-se de informações de projeto ou declarações que estabelecem as expectativas dos usuários e as descrições técnicas a respeito de um dado produto, respectivamente. Para que um relacionamento seja possível entre essas informações é necessário, em primeiro lugar, identificar quais são os atributos do objeto formulados nas declarações.

Para tornar mais fácil o entendimento, considera-se o exemplo em que um requisito do usuário, registrado no Campo II, seja de fácil e econômica manutenção ou de alto grau de manutenibilidade. Supondo-se que no Campo III houvesse os registros de requisitos de projeto seguintes: (-) tempo médio entre falhas x (h); (-) tempo médio de manutenções corretivas y (h); (+) peças normalizadas z (%); (+) precisão de posicionamento i (μm); (-) peso do equipamento de j (kg); e (-) mínimo número de peças k (un.). Neste caso esses dados poderiam ser colocados na *casa da qualidade*, como mostrado na Figura 5.5. Para analisar o relacionamento entre os dois tipos de requisitos, verifica-se se os requisitos de projeto representam ou expressam algum parâmetro ou se são uma forma de medir e avaliar o requisito de usuário. Se o requisito de projeto tem um relacionamento forte, médio, fraco ou nulo com um requisito de usuário.

Considerando-se os requisitos de projeto, a precisão de posicionamento e o peso do equipamento, o mais provável é que não haja relação ou que a manutenibilidade não seja afetada, quando se pode valorar esse relacionamento com o valor zero. O número de peças já pode afetar ou melhorar a manutenibilidade. Com menos peças, geralmente, ocorrem me-

		Requisitos de projeto											
		Outros	(-) Tempo médio entre falhas x [s]	(-) Tempo médio de manutenção corretiva y [s]	(+) Peças normalizadas z [%]	(+) Precisão de posicionamento / [mm]	(-) Peso do equipamento de / [kg]	(-) Mínimo número de peças k [unidade]	Outros				
Necessidades usuários	Requisitos de usuário												
	Outros												
	Fácil manutenção		3	5	3	0	0	1					
	Outros												
	Outros												

Figura 5.5 Casa da qualidade com requisitos de usuários e de projeto parcial.

nos falhas, o estoque de peças de reposição é menor e menos peças serão desmontadas e remontadas nos casos de falha. O valor de relacionamento poderia ser 1, designando um grau fraco. Uma solução onde se procura adotar o maior número de peças normalizadas, em geral, melhora a manutenibilidade. Componentes normalizados apresentam melhor precisão, maior confiabilidade, fornecimento mais rápido ou maior disponibilidade no mercado e redução de ferramentas especiais. Nesse caso, o valor do relacionamento pode ser avaliado em 3. Da mesma forma poderia ser avaliado o relacionamento do tempo médio entre falhas e manutenibilidade. Mesmo que o tempo médio entre falhas seja pequeno, se o diagnóstico de falhas for fácil e rápido, ensejando uma simples reposição, ainda se obtém uma razoável facilidade de manutenção. O valor do relacionamento, também, poderia ser 3, como exemplifica a Figura 5.5. Por último, o requisito de projeto de tempo médio de manutenção corretiva afeta consideravelmente a manutenibilidade. O tempo médio de correção elevado necessita de muita mão-de-obra e torna alto o custo da manutenção corretiva, sendo 5 o valor deste relacionamento. Essa análise de relacionamento é completada quando todas as células do Campo IV estiverem preenchidas.

Em geral, a atribuição de relacionamentos depende do consenso dos integrantes da equipe de desenvolvimento do produto. Esse consenso é

obtido pela análise e por debates sobre cada uma das atribuições individuais. Estas últimas dependem, entretanto, do “sentimento” de cada pessoa a respeito dos parâmetros considerados.

As respostas dos consumidores, ou dados experimentais, também podem ser utilizadas para atribuir valor a esses relacionamentos. Akao (1990) salienta que, se possível, devem ser buscadas formas para efetuar os relacionamentos com base em fatos ou análise estatística. Entretanto, caso isso não seja possível, dependendo da natureza das informações e dos meios disponíveis, o autor recomenda que sejam diferenciados, na matriz, aqueles relacionamentos obtidos pela experiência, intuição, julgamento próprio, entre outros, daqueles realizados pela análise de fatos ou experimentação. Isso pode ser feito, por exemplo, com símbolos de diferentes tipos.

Além das dificuldades para estabelecer as relações entre as declarações dos requisitos de usuários e as características de engenharia (os requisitos de projeto), existe também perda de informações que ocorre após efetuado o relacionamento. Seja pelo debate do grupo, pela experiência de seus integrantes, pelos resultados de sessões de *brainstorming* ou pela análise de fatos ou dados experimentais, a relação obtida é representada através de um valor numérico (ou por um símbolo), o qual atribui um grau de relacionamento. Esse número (ou símbolo) parece insuficiente para expressar todo o processo de raciocínio ou discussão que houve para chegar ao resultado. Na mente de quem atribuiu um dado valor, provavelmente tenha passado uma grande variedade de relações, analogias, processos e alternativas, as quais não estão expressas naquele valor. Isso, de certa maneira, é uma perda de informações sob dois aspectos: primeiro, aquelas informações pensadas poderiam levar a diferentes alternativas ou encaminhamentos para o problema e, segundo, elas dificilmente serão capturadas por outra pessoa que examine os relacionamentos da *casa da qualidade*, mas não tenha participado de seu processo de elaboração. Portanto, métodos e meios para registrar e recuperar informações derivadas do processo de raciocínio realizado para avaliar uma dada relação parecem ser um importante problema potencial para futuros estudos ou tomadas de decisão ao longo do processo de projeto do produto.

Não há regras genéricas que determinem o valor de um tipo de relacionamento ou digam como se evitar as perdas de informações. Respostas a esses problemas não são triviais pelo simples fato de que existem muitos

tipos de objetos, atributos e parâmetros que são tratados na engenharia e de maneiras pelas quais as pessoas expressam suas necessidades ou desejos.

O propósito para o relacionamento entre os desejos dos usuários e as características de engenharia é a obtenção de indicativos (valores) de quanto cada necessidade ou desejo do usuário afeta ou é afetado por um dado parâmetro de engenharia. Esse valor é usado para quantificar outras informações na *casa da qualidade*, como a importância dos requisitos de projeto. Os resultados dos relacionamentos assim obtidos e realizados na matriz da *casa da qualidade* poderão auxiliar, também, em outras conclusões a respeito do problema que está sendo estudado. Hauser e Clausing (1988), por exemplo, estabelecem alguns princípios ou regras pelas quais podem ser obtidas conclusões sobre os resultados dos relacionamentos efetuados:

- se um requisito de projeto (característica de engenharia) não afeta nenhum requisito de usuário, ou seja, todas as células da coluna têm valor nulo, então esse requisito de projeto pode não ter significado ou ser um parâmetro desnecessário;
- no caso de um produto sendo reprojetoado ou no caso de engenharia reversa, e se todas as células de uma coluna estiverem vazias, a equipe de elicitação das necessidades pode ter esquecido de questionar certo tipo de usuário;
- a simples soma dos valores dos relacionamentos em uma coluna do Campo IV dá uma ordenação da importância dos requisitos de projeto para atender às necessidades dos usuários;
- efetuado o somatório, em cada coluna, do produto entre o valor do relacionamento e o peso de importância porcentual do requisito do usuário (Figura 5.4) tem-se uma ordenação de prioridade dos requisitos de projeto de acordo com a importância atribuída pelo usuário às suas necessidades e com a taxa de melhoramento pretendida pela empresa. Esses resultados serão registrados nas células da primeira linha do Campo VII da casa da qualidade.

Com base nas discussões desse tópico, nota-se que relacionar desejos dos usuários com as características de engenharia é uma tarefa com diversas implicações e é fortemente dependente da experiência e dos conhecimentos dos integrantes da equipe de desenvolvimento. Não são muitos, considerando-se a importância dos resultados dessa atividade, os méto-

dos, orientações ou regras que podem ser empregados para esse fim. Se não houver consistência nos relacionamentos efetuados, as decisões tomadas poderão comprometer as demais tarefas da *casa da qualidade* e a própria qualidade das soluções obtidas para o problema.

5.3.9 Análise do relacionamento entre requisitos de projeto

No item anterior foi mencionada a importância da análise do relacionamento entre os requisitos dos usuários e os requisitos de projeto. Igualmente importante é analisar as possíveis relações dos requisitos de projeto, o que é efetuado pela análise do Campo VI, ou o chamado “telhado” da *casa da qualidade* (Figura 5.3).

O processo de relacionamento efetuado no “telhado” da *casa da qualidade* é semelhante àquele realizado entre os requisitos dos usuários e os requisitos de projeto. Neste caso, entretanto, os objetos do relacionamento são as próprias características de engenharia e os parâmetros nelas estabelecidos. O propósito, aqui, é estabelecer o compromisso que existe entre as características de engenharia. Esse compromisso, determinado pelo grau de relacionamento, define quanto a alteração de um dado requisito de projeto influenciará outro.

A Figura 5.6 reproduz o Campo VI (“telhado” da *casa da qualidade*) para que se analise os principais conceitos e problemas a ele relacionados.

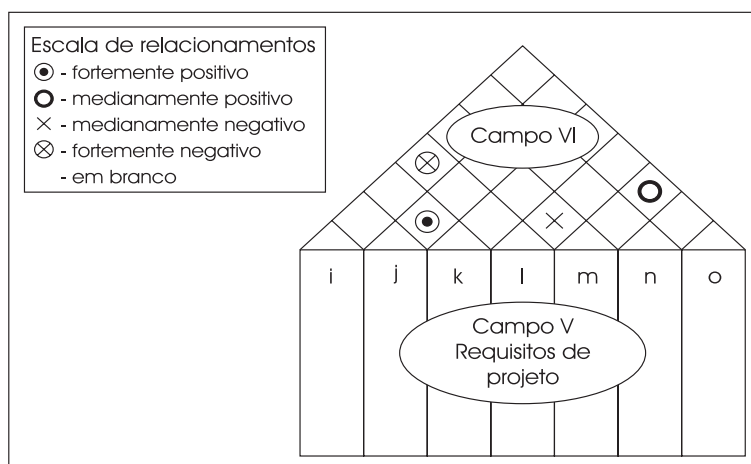


Figura 5.6 Representação dos relacionamentos entre requisitos de projeto no “telhado” da *casa da qualidade*.

De acordo com a Figura 5.6, será adotada uma escala de relacionamento conforme os seguintes casos:

⊙ - **fortemente positivo:** indica que, quando se efetua uma variação para melhorar um requisito de projeto j , também melhorará fortemente o requisito de projeto k . Por exemplo, se a qualidade de fabricação das peças for melhorada, deverá haver, também, uma boa melhora na montagem das mesmas.

○ - **medianamente positivo:** similar ao anterior, entretanto, uma melhora em um requisito m melhora o requisito de projeto o com menos intensidade. Trata-se de um valor intermediário de relacionamento, ou que define uma intensidade menor do relacionamento entre os parâmetros. A maior ou menor intensidade do relacionamento atribuído dependerá da experiência da equipe e de análises que possam ser efetuadas entre os parâmetros considerados.

⊗ - **fortemente negativo:** este é um caso em que, se forem adotadas medidas que melhoram o requisito de projeto i , deverá ocorrer uma considerável piora no requisito de projeto l , ou seja, ocorrerão efeitos contrários consideráveis entre os dois requisitos. Por exemplo, se forem adotadas medidas que melhorem a confiabilidade de um produto, é bem provável que o custo de produção seja elevado com intensidade, pois nesse caso deverão ser usados melhores materiais, processos de fabricação mais precisos, redundâncias de componentes etc.

× - **medianamente negativo:** caso semelhante ao anterior, porém os efeitos contrários entre os dois requisitos são de menor intensidade.

- **em branco:** se uma célula foi deixada sem registro, isso significa que não deve haver efeitos mútuos entre os requisitos de projeto.

Pelas observações anteriores, nota-se que a determinação de um dado tipo de relacionamento entre as características de engenharia é dependente de conhecimentos técnicos sobre o objeto de estudo. Trata-se de parâmetros ou variáveis de engenharia para as quais é necessário encontrar seus conceitos e implicações.

Esse tipo de relacionamento pode ser considerado um pouco mais concreto do que aquele entre os requisitos de usuários e os requisitos de projeto, vistos no Campo V, pois é mais fácil verificar se existem implicações diretas ou indiretas entre os parâmetros em relacionamento. As unidades

de medição também ajudam nesse propósito. Adicionalmente, essa tarefa pode ser auxiliada por modelos matemáticos que relacionem as variáveis de estudo. Com tais modelos, podem ser efetuadas análises de sensibilidade, por exemplo, para verificar influências nas variações dos parâmetros. Isso, entretanto, pode levar a estudos especializados do problema, exigindo conhecimentos e facilidades adicionais. Dependendo do tipo de problema, essa opção deve ou não ser considerada.

Da mesma forma que não se encontram métodos práticos ou regras para auxiliar nos relacionamentos do Campo V, o mesmo ocorre para o caso de relacionamentos entre as próprias características de engenharia. Em geral, encontram-se recomendações sobre o que deve ser feito e o tipo de escala a ser empregada. Pelo fato de essa tarefa envolver uma quantidade maior de conhecimentos técnicos, a perda de informações será provavelmente maior, principalmente se a leitura dos resultados for feita por pessoal não especializado ou menos experiente.

Outro aspecto pouco tratado com relação ao “telhado” da *casa da qualidade* é o que se refere à sua efetiva utilização no desenvolvimento do produto. Em princípio, os relacionamentos obtidos têm o propósito de auxiliar na análise de compromissos entre as características de engenharia e, com isso, verificar quais serão as implicações quando algum atributo do produto for alterado. Para que isso seja efetivo, o engenheiro deverá comparar constantemente suas propostas de soluções com os relacionamentos constituídos no “telhado” ou memorizá-las o suficiente para que as soluções contemplem aqueles relacionamentos. Se o número de características for reduzido, isso parece não constituir grandes dificuldades; entretanto, para problemas maiores, o gerenciamento e a efetiva utilização das informações do “telhado” poderão ser comprometidos ou subestimados.

Para evitar ou minimizar essas dificuldades devem ser estudados meios pelos quais as informações dos relacionamentos no “telhado” da *casa da qualidade* possam ser transformadas em parâmetros quantitativos que orientem a solução do problema de projeto. Trata-se, por exemplo, do emprego daquelas informações similarmente àquele realizado com os relacionamentos entre os desejos e características da engenharia, os quais são utilizados para estabelecer a ordem de importância de cada característica da engenharia.

Para a ordenação da importância dos requisitos de projeto, Ogliari (1999) propõe que sejam adotadas as seguintes alternativas de métodos:

1. Ordenação simplificada, em que a ordem de importância dos requisitos de projeto seja estabelecida adotando-se a soma dos valores de relacionamentos contidos nas colunas da matriz do Campo V utilizando a equação:

$$RP_i = \sum_{j=1}^n v_{j,i} \quad (5.3)$$

onde RP_i é o somatório dos valores numéricos $v_{j,i}$, registrados na coluna i , e n , o número total de linhas da matriz ou o número de requisitos do usuário.

2. A classificação dos requisitos leva em consideração os pesos dos requisitos dos usuários pru_i , registrados no Campo V, conforme mostrado na Fig. 5.2, e os valores dos relacionamentos $v_{i,j}$ entre os requisitos de usuários e os requisitos de projeto. A equação, adotada para determinar o valor de importância de cada requisito de projeto, é:

$$RP_j = \sum_i^n pru_i \times v_{i,j} (i = 1 \text{ a } n \text{ e } j = 1 \text{ a } m) \quad (5.4)$$

onde RP_j é o valor de importância do requisito de projeto j ; pru_i é o peso de importância porcentual do requisito do usuário i ; $v_{i,j}$ é o valor do relacionamento entre o requisito de projeto j e o requisito de usuário i , sendo m o número total de requisitos de projeto.

Os valores calculados pelas equações 5.3 e 5.4 podem ser registrados diretamente em linhas no Campo VII. Uma alternativa é o registro de valores normalizados e então ordenados. Experiências realizadas por Ogliari (1999) demonstraram que a classificação obtida pelas duas relações anteriores apresenta semelhança.

5.3.10 Conversão dos requisitos de projeto em especificações de projeto

Como já foi mostrado no item 5.3.7, os requisitos de projeto foram descritos de forma resumida para um preenchimento mais fácil no Campo V da *casa da qualidade*. Esses requisitos de projeto devem ser redigidos de forma mais detalhada para que sejam compreensíveis aos diferentes usuários. Além disso, para cada requisito de projeto devem ser previstas

grandezas mensuráveis e meios ou métodos de verificar se a solução a ser desenvolvida atenderá a esse requisito de projeto. Outros dados necessários para completar a redação de cada especificação de projeto são os possíveis efeitos negativos ou riscos decorrentes da busca de soluções para implementar a respectiva especificação.

As especificações de projeto com a classificação, em ordem decrescente, obtida conforme descrito no item anterior, juntamente com o modo de verificação e os possíveis riscos, são apresentadas na forma da Tabela 5.2.

Tabela 5.2 Apresentação das especificações de projeto do produto

Classificação	Descrição das especificações	Modo de verificação	Possíveis riscos
1 ^a			
2 ^a			
3 ^a			
...			
...			
enésima			

As especificações de projeto são o resultado final do processo de transformação das necessidades dos usuários e são freqüentemente citadas como a parte mais importante do desenvolvimento do produto. Sendo assim, para que sejam válidas e úteis deve-se tomar todo o cuidado na redação das mesmas. No próximo item serão apresentadas orientações para essa redação.

5.3.11 Redação das especificações de projeto

Requisitos ou especificações de projeto estabelecem algo que é necessário, verificável e atingível. Para ser verificável, a especificação deve declarar algo que pode ser aferido por exame, análise, teste ou demonstração. Se uma especificação não é atingível, não há razão para redigi-la. Uma boa especificação deve ser claramente declarada.

Na redação da especificação é preciso verificar se existe uma necessidade para a mesma e questioná-la. O que poderia acontecer se a especificação não fosse incluída e atendida? Se a resposta não trazer nenhuma consequência, provavelmente a especificação não é necessária.

Uma declaração da especificação deve incluir uma forma de verificação e um critério de aceitação da mesma. A especificação deve ser alcançável tecnicamente e compatível com o orçamento, a programação e outras restrições. Se houver dúvidas sobre a viabilidade técnica da especificação, pesquisas ou estudos devem ser conduzidos para verificar a sua viabilidade. E mesmo se houver viabilidade técnica é possível, ainda, que ela não seja atingível devido a restrições de custo, orçamento, cronograma, peso, materiais adequados etc. Neste caso, não há razão para redigir a correspondente especificação.

Se a especificação for necessária, verificável e viável, então a redação deve expressar um único pensamento, ser concisa e simples. Uma especificação não deve apresentar dúvidas de interpretação e ser ambígua. Em geral, frases simples e curtas são suficientes para a apresentação de boas especificações.

Na redação das especificações, além da declaração da especificação e da descrição do modo de avaliação, devem ser apresentados os possíveis resultados negativos, como já mencionados no item anterior.

Hooks (1993) sugere, para a redação dos requisitos e especificações de projeto, tomar certos cuidados e adotar as seguintes orientações:

- evitar suposições ruins ou erradas;
- redigir requisitos ou especificações (o que fazer) e não formas de implementação (como fazer);
- descrever especificações e não operações do produto a ser desenvolvido;
- adotar termos precisos e com sentidos positivos;
- adotar, nas sentenças, boa gramática e estrutura correta;
- evitar esquecer especificações;
- evitar o superdimensionamento ou a redundância das especificações de projeto.

Suposições errôneas ocorrem porque o redator não teve acesso a suficientes informações ou a informação não existe. Para eliminar o primeiro problema, desde o início do levantamento das informações, devem ser registrados dados relativos ao produto, tais como: necessidades, metas, objetivos, restrições, missões ou perfis de operação, orçamento, cronograma e aspectos de gerenciamento e de organização.

Na redação de uma especificação de projeto deve-se declarar “o que” é necessário e não “como” algo deve ser realizado ou provido. No momento

de redigir a especificação, e para evitar o erro, o redator deve perguntar-se “por que” necessita dessa especificação. Ao fazer essa pergunta, o autor pode definir todas as necessidades a que o sistema deve atender e, assim, declarar a real especificação.

A linguagem a ser usada na redação das especificações é de extrema importância. Recomendam-se frases curtas com os verbos ser, estar ou ter, seguidos de substantivos, ou com verbos formadores de funções do produto. Uma boa prática é definir os termos utilizados em um glossário.

A granulação das especificações é outro aspecto importante na redação. Frases longas e narrativas devem ser evitadas, pois estas podem conter vários requisitos ou especificações. Isso se consegue quando se evita as conjunções “e” e “ou” nas frases. Outra forma de evitar frases com múltiplas especificações é obtida com o exercício de estabelecer testes de verificação do conteúdo da frase. Se forem necessários vários tipos de testes de avaliação, é provável que se tenham várias especificações na declaração.

A citação repetida de uma especificação em diferentes declarações também deve ser evitada. A citação repetida torna mais fácil a leitura, mas dificulta a manutenção do documento de especificações se houver mudanças ao longo do processo.

Ao seguir essas orientações na redação e efetuando revisões formais ou informais, obtém-se um conjunto de especificações mais apropriado ao projeto e ao teste do produto, bem como maior satisfação dos usuários.

5.4 Qualidades das especificações de projeto

Neste item serão analisadas as qualidades que distinguem boas especificações daquelas que apresentam problemas. Conforme Bahill e Dean (1997) e Wiegers (1999), as características da boa qualidade das especificações podem ser avaliadas pelos seguintes aspectos:

Descrição de “o que” e não “como”: a primeira e importante característica de uma especificação de projeto é a de que ela deve descrever o que o sistema deve fazer, mas não especificar como o sistema deve fazer. A especificação não deve apresentar soluções preconcebidas para o produto a ser desenvolvido. Para chegar a esse resultado, é preciso questionar por que a especificação é necessária e então derivar os reais requisitos.

Atomicidade: a especificação deve ser suficientemente fracionada ou detalhada, isto é, deve haver um único propósito, uma idéia por especifi-

cação. Cada especificação deve ser alocada em uma única entidade física. É aceitável designar duas ou mais especificações a uma única entidade ou componente físico.

Identidade única: uma especificação deve ter uma única denominação em um único conteúdo. Deve-se evitar repetir as especificações em seu conjunto e não usar sinônimos.

Detalhamento: o maior ou menor detalhamento de uma especificação depende da audiência ou dos fornecedores. Para comunicações internas ou com fornecedores com procedimentos bem definidos, a linguagem pode ser de alto nível, mas, quando se trata de fornecedores sem essas capacidades, as especificações devem ser desdobradas em um fino detalhamento.

Correção: cada especificação deve descrever a funcionalidade do produto de forma correta. A referência para a correta definição da especificação é sua origem nos usuários do produto. Somente os representantes dos usuários podem determinar a correção das especificações; por isso, é importante incluí-los na revisão das mesmas.

Documentada e acessível: a especificação deve ser documentada (escrita, figura, filme, dado) e estar disponível. Se houver confidencialidade, cada especificação deve indicar o seu *status* e quem pode ter acesso à mesma.

Viabilidade: é necessário que cada especificação seja passível de implementação dentro das capacidades e limitações do sistema em desenvolvimento e de seu meio ambiente. Para garantir a viabilidade das especificações, os profissionais da equipe de desenvolvimento devem participar da elicitação das necessidades e realizar uma análise do que é ou não viável tecnicamente e o que só pode ser efetuado com altos custos ou outros resultados negativos.

Rastreabilidade: cada especificação deve documentar algo que os usuários realmente necessitem ou algo que seja requerido para o produto se conformar a uma especificação externa, uma interface ou uma norma. Outra forma de constatar essa qualidade da especificação é verificar se a mesma teve origem em uma fonte legítima. A origem de cada especificação deve ser rastreada, seja uma norma, seja a entrada de um dos possíveis usuários diretos ou indiretos.

Priorizável: a cada especificação deve haver a possibilidade de atribuir prioridade de implementação no produto, baseada principalmente nos va-

lores de importância atribuídos pelos usuários do projeto ou do produto, no custo relativo de sua implementação e nos riscos técnicos associados. Se todas as especificações são consideradas igualmente importantes, torna-se mais difícil ao gerente do projeto tomar decisões quando houver cortes no orçamento, novas necessidades forem adicionadas, o cronograma for ultrapassado ou ocorrerem mudanças na equipe de projeto.

Unicidade: o leitor da declaração de uma especificação deve extrair uma única interpretação, ou diferentes leitores devem chegar à mesma conclusão. Uma linguagem natural é muito propensa à ambigüidade. Termos são ambíguos porque são subjetivos e podem significar coisas diferentes para cada um que lê a especificação. Devem ser evitadas palavras como: amigável, fácil, simples, rápido, suficiente, adequado, eficiente, estado-da-arte, melhorado, máximo ou mínimo. Diferentes leitores terão avaliações diversas desses termos.

Consistência: o conjunto de especificações ou a especificação, individualmente, não deve apresentar contradições e sim coerência lógica em um pensamento, com fundamentação, estabilidade e veracidade.

Quantificável: deve-se, na medida do possível, atribuir valores quantitativos às especificações de projeto. Deve-se especificar um atributo de um sistema a ser projetado. Sem uma quantificação, pode ocorrer elevação de custo devido a um superdimensionamento ou o valor necessário não é atingido.

Verificabilidade: sendo quantificável, devem ser previstos testes, usos, aplicações, inspeções ou demonstrações para verificar se cada especificação foi devidamente implementada no produto. No caso de a especificação não ser verificável ou mensurável, a constatação de sua implementação torna-se uma questão de opinião.

Completeza: no conjunto das especificações ou informações não devem ocorrer omissões. Completeza também deve ser uma qualidade na declaração individual de uma especificação. É difícil dizer se o conjunto de especificações ou uma especificação individual está completo ou não. Algumas recomendações para melhorar essa qualidade são:

- evitar que a equipe de levantamento das necessidades e de redação dos requisitos ou especificações concentre o foco em uma parte do produto em desenvolvimento;
- focalizar as atividades dos usuários do produto;

- sistematizar, classificar ou agrupar as especificações por áreas de conhecimento ou por atributos do produto.

Flexibilidade: um conjunto de especificações não deve ser considerado imutável ou definitivo. Deve ser revisado quando necessário e a história das modificações, mantida. Para que as especificações sejam mais flexíveis, estas devem ser classificadas univocamente e expressas separadamente umas das outras, de modo a serem referenciadas sem ambigüidades.

Aprovação: toda especificação de projeto deve ser formalmente aprovada, constando por quem e quando foi aprovada.

5.5 Considerações gerais sobre o processo de obtenção das especificações de projeto

A primeira consideração de caráter geral é que, na transformação das necessidades dos consumidores ou usuários em especificações de projeto, é preciso tomar certos cuidados especiais para evitar que determinados fatores prejudiquem esse processo:

- adotar uma solução ou tecnologia específica muito cedo, sem antes buscar concepções alternativas ou efetuar análises de compromisso. Isso leva a uma solução sem um bom entendimento do problema de projeto;
- entender que o produto deve ser extremamente inovador. Muitos produtos de sucesso não são mais que pequenos incrementos de modelos anteriores. Objetivos muito elevados levam a grandes riscos e tornam-se inacessíveis à equipe e à empresa;
- declarar uma especificação de projeto em termos muito genéricos. Se uma especificação não pode ser medida e testada, não há como a equipe avaliar progressos alcançados;
- aceitar as sugestões de consumidores ou do pessoal de marketing como as únicas e finais entradas para projeto do produto. Podem haver requisitos superdimensionados ou soluções preconcebidas, devendo a equipe tomar certas precauções;
- haver contínuas modificações nas declarações do problema a ser desenvolvido. Requisitos que mudam ao longo do tempo levam a mudanças no projeto e induzem a gerência a freqüentes redirecionamentos dos esforços;

- tornar as especificações de projeto muito complexas e detalhadas. Dessa forma ocorrem mais conflitos, generalizações, informações incompletas e mais especializações serão necessárias;
- desenvolver somente um conjunto de especificações para todos os usuários. Atualmente, os usuários buscam estabelecer suas próprias especificações de produtos.

Outro aspecto importante a considerar pela equipe de desenvolvimento do produto é a verificação do grau de completeza do conjunto de especificações. Para tal, recomenda-se confrontá-lo com possíveis fontes de especificações. A Tabela 5.3, conforme Bahill e Dean (1997), indica possíveis fontes que podem ser adotadas como referências para verificar se não houve omissões.

Tabela 5.3 Fontes típicas de requisitos de produtos industriais

Item	Categorias de especificações	Comentários gerais
1	Entradas e saídas	As especificações de projeto mais comuns são aquelas que relacionam as entradas e as saídas de um sistema
2	Tecnologia	As especificações de tecnologias geralmente indicam componentes que devem ou não ser usados
3	Desempenho	São as especificações que definem quantidades, qualidades, tempos e habilidades de desempenho
4	Custo	Custos de mão-de-obra, materiais e financeiros, ao longo do ciclo de vida
5	Teste do sistema	Os testes de verificação requerem condições do ambiente e de aplicação de sensores e instrumentos de medidas
6	Política da empresa	A política da empresa leva a declarações de necessidades específicas
7	Prática de negócio	O retorno sobre investimento e participação no mercado leva a diversas necessidades de custos e tecnologias
8	Gerenciamento de projeto	Projetos de grande porte e complexidade têm necessidades gerenciais diversas para o seu sucesso
9	Marketing	Explicita características que agradem aos usuários, incluindo demandas ainda não declaradas pelos mesmos

continua

Tabela 5.3 Fontes típicas de requisitos de produtos industriais (*continuação*)

Item	Categorias de especificações	Comentários gerais
10	Processos de manufatura	Necessidades de diferentes processos de fabricação, níveis de precisão e menos poluentes
11	Equipe de projeto	A equipe de projeto deve ter competências e motivações para o seu desenvolvimento
12	Confiabilidade	Requer necessidades de arranjos e materiais especiais e afeta as exigências de manutenção e de segurança
13	Segurança	Várias necessidades podem resultar de exigências de normas e políticas do processo de desenvolvimento e uso do produto
14	Meio ambiente	Há necessidades de origem em leis e normas, preocupações de comunidades, nome da empresa e possíveis prejuízos financeiros
15	Herança	Experiências com produtos anteriores podem resultar em necessidades a serem atendidas
16	Intangíveis	Muitos desejos dos usuários, em termos de estética e de prestígio, são difíceis de quantificar, mas devem ser analisados
17	Senso comum	Muitas necessidades não são mencionadas por se entender que sejam óbvias e de senso comum
18	Leis, normas ou projetos de lei	Além de leis e normas aprovadas, os projetos de leis e de normas devem ser objeto de busca de necessidades de usuários
19	Consumidor	Estudos dos perfis de uso, fluxos de trabalho e dos próprios usuários são as principais fontes de necessidades

Outro aspecto de ordem geral para o qual convém alertar é a diversidade de usos das especificações de projeto desenvolvidas neste capítulo. Algumas já foram citadas e outras são as seguintes:

- base para definir as funções e os atributos de desempenho do produto;
- base para o estabelecimento de critérios de seleção de princípios, materiais, processos, procedimentos e soluções de partes ou da concepção como um todo;
- referências para avaliação e aprovação, no final de cada fase, do desenvolvimento do produto;

- principais pontos de partida no planejamento e execução de testes de validação do produto;
- especificações de projeto do produto, como um todo, serão usadas como referências para o desdobramento nas especificações de projeto dos subsistemas até o nível de peças. As especificações assim desdobradas devem ser alocadas nos subsistemas de modo a compor a especificação global do produto. Como exemplo, o custo total do produto deve ser composto pelos custos desdobrados ao nível de subsistemas ou componentes.

5.6 Resumo

No presente capítulo foi apresentada a metodologia de transformação das necessidades dos usuários em especificações de projeto do produto a ser desenvolvido. Os principais aspectos tratados são os seguintes:

1. *A atividade de elaboração das especificações de projeto é o principal resultado da fase de projeto informacional e tem recebido uma grande atenção de pesquisadores e de profissionais de projeto, o que tem resultado em diversas propostas de metodologias para transformar, sistemática e progressivamente a partir do planejamento do produto, as necessidades dos consumidores em requisitos dos usuários e estes em requisitos e especificações de projeto do produto.*
2. *Os principais benefícios obtidos com a elaboração sistemática das especificações de projeto são os seguintes: especificações de melhor qualidade, em termos de precisão e completeza; desenvolvimento de vários métodos e ferramentas que podem ser adotados nas diversas atividades de coleta e transformação das informações pertinentes; aprofundamento do estudo da equipe de projeto e maior entendimento das necessidades de todos os envolvidos no ciclo de vida do produto; especificações reduzem custos e tempos de desenvolvimento; constituição da base de todas as decisões a serem tomadas; desdobramento funcional, planejamento das atividades de projeto e dos testes do produto facilitados.*
3. *Para as denominações de consumidores e de clientes, é adotado o termo usuário, que representa todas as pessoas e organizações que, de alguma forma, têm interesse ou serão afetados pelo produto ao longo de seu ciclo de vida. Assim, serão considerados usuários os consumidores, operadores,*

pessoal de assistência técnica, compradores, revendedores, bancos, agências financiadoras, órgãos de governo, comunidades, órgãos reguladores, possíveis vítimas, empresas de reciclagem, equipe de projeto, fabricantes, fornecedores de matéria-prima e de componentes, colaboradores envolvidos na fabricação, na embalagem e manipulação, sindicatos, empresários e acionistas.

4. *A necessidade do usuário é a palavra ou a frase que expressa o que o usuário precisa, sua vontade, desejos e expectativas. É geralmente expressa em uma linguagem natural e livre dos consumidores, sem nenhuma padronização de termos e classificações. A identificação e a coleta das necessidades dos usuários é a primeira atividade de projeto do produto e, também, a atividade mais crítica de todo o processo, pois essas necessidades são a voz do consumidor, a qual deve ser atendida em primeira prioridade; as demais atividades e decisões são decorrências.*
5. *Requisitos dos usuários são o resultado da transformação, do agrupamento, compactação e classificação das necessidades dos usuários para serem de fácil visualização e adoção pelos planejadores e membros da equipe de projeto e expressam atributos de qualidade do produto, geralmente de forma qualitativa.*
6. *Requisitos de projeto são resultados de transformações, desdobramentos ou agrupamentos de requisitos dos usuários e são declarações compactas dos atributos do produto, aos quais são, geralmente, atribuídos parâmetros quantitativos.*
7. *Especificações de projeto são transformações dos requisitos de projeto aos quais são atribuídas prioridades, definidos meios de avaliação e os riscos de implementação.*
8. *As necessidades relacionadas ao desenvolvimento do produto têm origem em diversos usuários, os quais desenvolvem atividades ou demonstram interesses ao longo das fases do ciclo de vida do produto e são classificados em usuários externos, intermediários e internos. Os usuários externos e intermediários são as pessoas ou organizações que estão envolvidas na comercialização, uso ou consumo, manutenção e reciclagem, portanto, interessados nos atributos do produto. Os usuários internos são os que desenvolvem e implementam o projeto, logo, mais interessados nos atributos ou nas qualidades do projeto.*
9. *Os principais métodos utilizados para elicitación das necessidades dos usuários são: entrevistas estruturadas com usuários; parcerias ou alianças no*

projeto; informações de consultores e especialistas; método de Delphi; sessões de brainstorming; experiências pessoais e da empresa; análise de perfis de uso; pesquisa em material publicado e método do desdobramento da função qualidade – QFD.

10. *O método QFQ, além de apoiar a elicitação, documentação e visualização das necessidades dos usuários, é usado no processamento e transformações das mesmas, sucessivamente em requisitos de usuários, requisitos de projeto, priorização dos requisitos de projeto e sua transformação final em especificações de projeto, como proposto na metodologia deste capítulo.*
11. *As especificações de projeto de um produto devem apresentar declarações que necessitam: descrever “o que” o produto deve fazer e não “como” fazer; ser atômicas e não compostas; ter identidade única e detalhamento apropriado ao entendimento do destinatário; ser corretas na expressão da realidade; estar documentadas e acessíveis durante o desenvolvimento do produto; apresentar viabilidade técnica e econômica na sua implementação; apresentar rastreabilidade de sua origem; ser priorizável; permitir interpretação única; ter consistência; ser quantificáveis; ser verificáveis; apresentar um conjunto completo de especificações, sem omissões; oferecer flexibilidade quando as modificações são necessárias; e ser aprovadas formalmente.*

5.7 Problemas e temas de discussão

1. Descreva, resumidamente, as razões que tornam tão importante a atividade de definição das especificações de projeto do produto.
2. Quais são as atividades do processo de desenvolvimento das especificações de projeto do produto? Descreva as entradas, as saídas e a atividade para realizar a respectiva transformação.
3. Apresente uma breve definição dos seguintes termos: necessidades dos usuários; requisitos dos usuários; requisitos de projeto; e especificações de projeto do produto.
4. Por que é imprescindível definir o ciclo de vida do produto, como referência, na atividade de elicitação das necessidades dos usuários?
5. Quais são os principais aspectos que diferenciam o processo de definição das especificações, nos casos de projeto de inovação e projeto reverso?
6. Faça uma breve descrição dos principais métodos usados para a elicitação das necessidades dos usuários.

7. Descreva brevemente as etapas de registro e de processamento dos dados na *casa da qualidade*, ou da primeira matriz do método da função de desdobramento da qualidade – QFD.
8. Descreva o processo de tradução dos requisitos de usuários em requisitos de projeto. Quais são as diferenças de características desses dois tipos de requisitos?
9. Qual é o objetivo da análise de relacionamento entre os requisitos de projeto e os requisitos de usuários?
10. Quais são os objetivos da análise do relacionamento entre os requisitos de projeto no “telhado” da *casa da qualidade*?
11. Quais são as principais recomendações que devem ser seguidas na redação das especificações de projeto?
12. Cite, em ordem de prioridade, as cinco principais qualidades necessárias às especificações de projeto. Justifique a lista de especificações e a ordenação apresentada.
13. Desenvolva o processo de definição das especificações de projeto de um produto. Exemplos: bicicleta; prancha de surfe; bote de recreio; ou outro equipamento de livre escolha.
14. Quais são as principais armadilhas que podem prejudicar a qualidade das especificações de projeto de produtos?
15. Quais são os principais e possíveis usos das especificações de projeto ao longo do processo de desenvolvimento do produto?

5.8 Referências bibliográficas

- AKAO, Y. *Quality function deployment: integrating customer requirements into products design*. Cambridge, Productivity Press, 1990.
- BAHILL, A. T.; DEAN, F. F. “Discovering system requirements”, 1997. Disponível em: URL: <http://www.sie.arizona.edu/sysengr/requirements/index.html>; acessado em 25/1/2007.
- BLANCHARD, B. S.; FABRYCKY, W. J. *Systems engineering and analysis*. New Jersey, Prentice Hall, 1990.
- FONSECA, A. J. H. “Sistematização do processo de obtenção das especificações de projeto de produtos industriais e sua implementação computacional”. Florianópolis, 2000. 180p. Tese (doutorado). PPGEM – UFSC.

- HARWELL, R. et al. "What is a requirement?". 1993. Disponível em: URL: http://www.afis.fr/nav/gt/ie/doc/Articles/WHAT_IS_.HTM; acessado em 25/1/2007.
- HAUSER, J.R.; CLAUSING, D. "The house of quality". *Harvard Business Review*, May-June, 1988, p.63-73.
- HOOKS, I. "Writing good requirements". *Proceedings of the Third International Symposium of the NCOSE*. v.2, 1993, 8p. Disponível em: URL: <http://www.complianceautomation.com/papers/writingreqs.htm>; acessado em 25/1/2007.
- KARLSSON, C.; NELLORE, R.; SÖDERQUIST, K. "Black box engineering: redefining the role of product specifications". *Journal of Product Innovation Management*. v.15, n.6, 1998, p.534-549.
- MCKAY, A.; PENNINGTON, A.; BAXTER, J. "Requirements management: a representation scheme for product specifications". *Computer-Aided Design*. v.33, n.7, 2001, p.511-520.
- OGLIARI, A. "Sistematização da concepção de produtos auxiliada por computador com aplicações no domínio de componentes de plástico injetado". Florianópolis, 1999. 349p. Tese (doutorado). PPGEM – UFSC.
- REICH, Y. "AI-supported quality function deployment". *Proceedings of the Fourth International Workshop on Artificial Intelligence in Economics and Management*, IFAC, 1996.
- SWANSON, D. A.; HAUSER, J. R. "The voice of the customer: how can you be sure you know what customers really want?". *Proceedings of the I Pacific Rim Symposium of Quality Function Deployment*. MacQuarie University, NSW, Australia, 1995.
- ULLMAN, D. G. *The mechanical design process*. Singapore, McGraw-Hill, 1992.
- WIEGERS, K. E. "Writing quality requirements". 1999. Disponível em: URL: <http://www.processimpact.com/articles/qualreqs.html>; acessado em 25/1/2007.

Parte III

**Projeto conceitual –
geração de soluções**

Capítulo 6

Síntese de soluções alternativas – inovação do produto

6.1 Introdução ao processo de inovação do produto

No Capítulo 5 foram descritas formas e métodos de elaboração das especificações do projeto e, como foi visto, o conjunto das especificações é uma descrição das características que o produto deve ter. A etapa seguinte é a geração de soluções alternativas que atendam às especificações definidas. A equipe de projeto deve, no início desse trabalho, ter por objetivo a criação de várias soluções alternativas para o mesmo problema. Assim, pode comparar e combinar soluções e, ao longo do processo de projeto, selecionar a melhor e mais inovadora concepção para o produto.

Para alcançar esse objetivo, a equipe de projeto precisa ser criativa e, para tal, recomenda-se usar métodos ou procedimentos que permitam obter, de forma rápida, um conjunto de soluções inovadoras. Com o objetivo de identificar indivíduos criativos, suas capacidades ou características e o modo como procedem quando chegam a soluções criativas, muito se tem pesquisado e publicado sob o rótulo de criatividade. O presente capítulo não tem por finalidade aprofundar-se sobre o tema da criatividade, mas orientar o leitor sobre aspectos do chamado processo criativo, descrevendo alguns métodos ou procedimentos que se mostraram úteis na

obtenção de um conjunto de soluções, de forma mais rápida e resultados mais inovadores.

Entende-se por criatividade a habilidade dos membros da equipe de ter idéias novas e úteis para resolver o problema proposto ou de sugerir soluções para a concepção de um produto. Produtos, processos, soluções de problemas e idéias criativas devem possuir as seguintes qualidades: apresentar novidade, ser única; ser útil ou apreciada e simples.

Quanto ao processo de criação ou de geração de concepções, este pode ser descrito pelos seguintes passos (Back, 1983):

- preparação: o ponto de partida é a formulação do problema e a busca de informações ou de habilidades. A formulação do problema consiste na elaboração das especificações de projeto, já descrita no Capítulo 5. A busca de informações pode ser bastante ampla, abrangendo fontes diversas: natureza; revistas técnicas; livros; textos; bancos de patentes; *benchmarking*; produtos existentes no mercado; folhetos e manuais de produtos; consumidores; especialistas; associações de profissionais; relatórios governamentais; feiras de amostras; internet; serviços de pesquisas e outras fontes;
- esforço concentrado: encontrar soluções requer um trabalho árduo. Frequentemente se ouve que a solução é encontrada com muito mais transpiração do que inspiração. Para que essa etapa do processo criativo seja mais eficiente, sugere-se o uso dos chamados métodos de criatividade que, em sua maioria, recomendam a geração de idéias em quantidade sem se preocupar com restrições de viabilidade de qualquer natureza e de domínios de conhecimento;
- afastamento: como foi dito no passo anterior, é necessário um esforço concentrado. Às vezes, tem-se dificuldade em obter uma solução porque o problema talvez esteja sendo sempre focado sob a mesma ótica ou método. Nesse caso, é conveniente um afastamento temporário;
- visão: após um período de afastamento, mesmo curto, e que pode ser ocupado com outra atividade, quando se volta ao problema é provável que o mesmo seja visto sob outro ângulo ou enfoque. Esse procedimento de afastamento e visão pode não ser tão linear, mas repetido até que seja encontrada uma solução. Antes de cada passo de visão é necessária uma análise e organização dos resultados já alcançados;

- seleção das idéias: os pontos fortes e fracos das idéias geradas devem ser considerados, combinando as boas partes de idéias, estabelecendo-se um processo de triagem para selecionar as idéias úteis;
- revisão: uma vez encontradas as soluções, ou um conjunto delas, deve-se generalizá-las e, finalmente, submetê-las a avaliações diante de restrições do problema.

Além do processo de criação e de métodos ou procedimentos de criatividade, foram também pesquisados aspectos dos indivíduos, ou da equipe de trabalho, tais como: motivações; mente aberta; características individuais e de comportamento de trabalho em grupo. Segundo Comella (1975) e Sandor (1974), para melhorar a criatividade, os aspectos citados acima e as barreiras para a criatividade devem ser considerados. Especificamente com relação às barreiras tem-se:

- definição incorreta do problema: o primeiro fator para a obtenção de uma solução inovadora e útil é ter um problema definido de forma clara e precisa, sem indicar ou induzir uma solução e excluir possíveis alternativas. É interessante lembrar que um problema bem formulado é um problema parcialmente resolvido;
- hábitos: sob este termo consideram-se os conhecimentos, métodos e técnicas que os indivíduos utilizam para resolver o problema. Os problemas, as condições e os tempos mudam muito, portanto os hábitos devem ser avaliados para verificar se são os mais apropriados, se novos devem ser procurados e se não é conveniente adotar diferentes hábitos para resolver um mesmo problema;
- fixação funcional: é muito comum a idéia de que um produto, solução ou método, uma vez concebido para uma determinada função, não pode ter outros usos ou funções. Às vezes, pequenas modificações de um produto podem atender a funções bastante diversas das originais para as quais ele – o produto – foi concebido. Uma concepção desenvolvida em uma área de conhecimento, com algumas variações, pode ser aplicável em outras áreas. A procura por aplicações de uma solução ou método em diferentes campos de conhecimento é tratada dentro dos conceitos de interdisciplinaridade;
- superespecialização: um profissional altamente especializado geralmente chega de forma rápida a uma solução, mas somente em seu campo de especialização, sem considerar as possíveis contribuições de outros domínios de conhecimento. Para conceber alternativas de

soluções, é necessária uma visão ampla dos potenciais dos diferentes campos do conhecimento. Por exemplo, um engenheiro mecânico poderia adotar um mecanismo de atrito para um redutor com variação contínua de velocidade sem considerar potenciais de sistemas hidráulicos ou eletroeletrônicos;

- tendência em favor de tecnologias avançadas: apesar da relevância das tecnologias avançadas, é muito freqüente observar que profissionais das áreas técnicas procuram adotar soluções que requerem formulações matemáticas e tecnologias muito avançadas e complexas. Isso decorre da noção falsa de que o uso dessas ferramentas certifica a competência do indivíduo e sua atualização. Esse comportamento pode eliminar muitas boas idéias, simples, intuitivas ou experimentais;
- mentalidade prática: as pessoas têm freqüentemente a tendência de descer aos fatos tão logo um problema seja exposto, mesmo antes de entendê-lo perfeitamente, querendo assim mostrar resultados práticos com cálculos e desenhos. Não se trata de perda de tempo, mas investir tempo entorno do problema. Isso poderá, às vezes, ser altamente frutífero. Uma solução não deve ser escolhida e particularizada muito cedo, porque esta definição antecipada poderá impedir que uma visão ampla do problema e alternativas de solução sejam liberadas;
- dependência excessiva de outros: indivíduos podem tornar-se demasiadamente impressionados pelo conhecimento e julgamento de outros, ou estarem submetidos a excessos de autoridade, e, por conta disto, falhar em exercer sua própria criatividade;
- medo da crítica: semelhantemente ao caso anterior, o receio de desaprovação e possíveis críticas podem fazer com que pessoas não proponham idéias, por não serem ordinárias. Idéias originais e inovadoras são, com freqüência, mais sujeitas a críticas, mesmo que mais tarde se provem altamente valiosas. É necessário que a gerência ou a equipe de trabalho deixe todos à vontade para sugerir suas idéias, mesmo que de início possam parecer estranhas ao problema;
- recusa de sugestão não especialista: idéias originais e úteis não vêm, necessariamente, de pessoas da alta gerência e formalmente qualificadas. Com freqüência, sugestões valiosas partem das pessoas mais simples dentro de uma organização;

- julgamento prematuro: idéias devem fluir livremente. Julgar cada idéia tão logo ela é concebida interrompe seu fluxo. A avaliação deve ser efetuada no final do trabalho de concepção e, geralmente, é realizada com melhores resultados por especialistas que podem não fazer parte do trabalho inicial;
- motivação em excesso: motivação sempre deve existir, mas não em excesso. Quando um problema é proposto, uma solução tem de ser encontrada, mesmo que não seja perfeita ou ideal. Fixar objetivos difíceis de serem alcançados pode ofuscar a visão, estreitar o campo de observação e reduzir a eficácia na solução do problema.

Desde a década de 1960, muito se tem pesquisado e publicado sobre a criatividade e formas de tornar as equipes de trabalho, no processo de geração de soluções, mais produtivas e criativas (Comella, 1975, Dick, 1985, Dixon, 1966 e Raudsepp, 1969). As barreiras acima descritas são geralmente consideradas e servem de alerta aos membros de equipes, para desbloqueio de sua mente e preparo no uso de inúmeros métodos de criatividade encontrados na literatura. A. Van Gundy, *apud* Baxter (1998, p.58), encontrou, em um levantamento, 105 diferentes técnicas, procedimentos ou métodos de geração de idéias ou soluções de problemas. Há muitas similaridades entre vários desses métodos, sendo alguns bem simples, desde a descrição das circunstâncias em que um determinado inventor encontrou sua solução, até outros mais elaborados, resultantes de pesquisas das formas de trabalho de pessoas ou equipes altamente criativas. Esses métodos são classificados de diferentes formas na literatura. Nesse contexto, serão classificados em dois grupos, chamados de métodos intuitivos e métodos sistemáticos. Entre os métodos sistemáticos tem-se o método da síntese funcional, que será descrito em profundidade no Capítulo 7. O método citado merece este destaque por ser considerado mais adequado ao desenvolvimento de sistemas técnicos e possuir maior potencial para o desenvolvimento de sistemas informatizados de geração de soluções.

No item 6.2 são descritos os métodos classificados como intuitivos e no item 6.3, os métodos sistemáticos.

É muito útil aos membros de uma equipe de projeto conhecer os aspectos da criatividade acima apontados, ou seja: o processo criativo; as características de indivíduos criativos; as barreiras da criatividade; o trabalho e o desempenho de equipes no processo de geração de idéias e os métodos de geração de soluções. Esse conhecimento é útil especialmente

para o líder da equipe, tendo em vista que: na formação e preparação da equipe devem-se levar em conta as características de pessoas mais criativas; o trabalho em grupo, seu desempenho, motivações e compensações devem ser gerenciados com especial atenção; na escolha do(s) método(s) de geração de soluções, é necessário conhecer os potenciais próprios de cada um deles.

6.2 Métodos intuitivos de geração de concepções do produto

Como já foi mencionado, o número de métodos intuitivos propostos é muito grande, mas os mais recomendados e usados são: *brainstorming* e suas variações, como o método 635 e o eletrônico; método de Delphi; analogias direta, simbólica e pessoal; método sinético; método da listagem de atributos; e método da instigação de questões.

6.2.1 *Brainstorming*

O termo *brainstorming* é de origem inglesa (*brain* = cérebro e *storm* = tempestade). Possui grande aceitação e, como citado por Rausepp (1983), foi desenvolvido por Alex F. Osborn em 1939. Esse método adota as seguintes orientações:

- um coordenador convida um grupo de pessoas a participarem de uma reunião de trabalho a fim de sugerirem soluções para um problema formulado. O número de pessoas convidadas pode variar, mas o recomendado é de 5 a 10 participantes;
- a formação das pessoas deve ser diversa: escolher representantes dos diferentes departamentos da empresa pode ser uma boa alternativa;
- o tempo de reunião de trabalho não deve ultrapassar 50 minutos;
- a reunião deve ter um coordenador e ser organizada para que se registrem as sugestões.

Como normas a serem seguidas durante a reunião, é recomendável: evitar qualquer crítica ou avaliação prematura sobre soluções apresentadas, mesmo que de início possam parecer as mais absurdas; procurar o número máximo possível de soluções, priorizando quantidade acima de qualidade; soluções podem ser combinadas, uma pode gerar outra, e, em

outro estágio, pode-se compará-las e selecionar a melhor ou as melhores; pensar de forma extravagante para propiciar o surgimento das mais diversas idéias; uma idéia não deve ser de autoria única, e sim resultado do grupo de trabalho.

Esse método pode ser usado em qualquer fase de desenvolvimento do produto. Não é recomendado para problemas muito especializados, mas para encontrar novas soluções de problemas mais gerais, como um novo produto que a empresa poderia lançar, um novo princípio de solução para um subsistema do produto, como fabricar, montar, embalar, ou transportar etc. Como já foi citado, o método propõe que as diversas áreas da empresa tenham participantes no grupo de trabalho, porque é importante que cada um observe o produto e sugira soluções sob a sua ótica. Dessa forma todos ficam sabendo o que está sendo resolvido e o que ainda está por vir.

Outro aspecto importante é que as idéias devem fluir livremente, em quantidade, sem restrições de tipos ou formas de solução e sem avaliações. As avaliações ou triagem das soluções mais promissoras podem ser feitas na fase final da reunião ou, então, por especialistas de dentro ou de fora da organização. Para mostrar como as idéias podem e devem fluir livremente será apresentado um exemplo de *brainstorming* dado por Dixon (1966) com algumas adaptações de nomes e soluções.

O problema proposto é encontrar princípios de solução para separar tomates maduros de tomates verdes. Certos produtores entendem que é mais econômico colher todos os tomates de uma só vez e, como é sabido, nesta cultura não se tem uma maturação uniforme de todos os frutos. Portanto, na mecanização da colheita, são colhidos tomates verdes e maduros que devem ser separados para posterior processamento e comercialização. O objetivo, então, é encontrar princípios de solução para a função de separar tomates verdes de maduros, que podem ser parte da máquina colhedora ou de uma máquina com esta função somente. Na Tabela 6.1 tem-se um modo de registro de uma sessão de *brainstorming* do grupo.

Para chegar a esses resultados houve liberdade total para as sugestões, não se levou mais do que 30 minutos e, se as idéias forem analisadas, verificar-se-á que várias têm potencial ou poderão ser combinadas para a solução prática do problema. Na terceira coluna podem ser registradas avaliações a serem feitas pela equipe ao final da sessão.

O método de *brainstorming* recebeu, ao longo dos anos, várias sugestões de modificações. Segundo Holt (1995), a forma descrita é chamada de

Tabela 6.1 Registro de uma sessão de *brainstorming*

Brainstorming: grupo A		
Problema: separar tomates verdes de tomates maduros		
Data:		
Antônio	separar pela cor, um medidor de cor deverá ser prático	
Pedro	reflexão, verdes refletem mais luz	1ª solução
Davi	dureza, apertamos os tomates ou batemos	
Jorge	condutibilidade elétrica	
Antônio	resistência elétrica	4ª solução
Davi	magnetismo	
Jorge	tamanho, os verdes não são menores?	
Pedro	peso, os maduros são mais pesados	
Antônio	tamanho e peso devem se correlacionar	
Davi	tamanho e peso é densidade	
Pedro	volume específico	
Antônio	os tomates são mais água e têm o volume específico da água	
Davi	os tomates flutuam ou afundam?	
Jorge	talvez seja isto, separá-los por densidade, se flutuam ou afundam em água	
Paulo	não somente em água, poderia ser qualquer coisa	2ª solução
Antônio	não tóxico	
Davi	água salgada	
Jorge	raios X, o tamanho das sementes ou qualquer coisa assim	
Antônio	cheiro, odor	
Pedro	som, você pode ouvir o tomate?	
Jorge	pode o tomate ouvir?	
Davi	calor, radiação infravermelha	
Pedro	condutibilidade térmica	
Antônio	calor específico	
Jorge	habilidade de hipnotizar os tomates	
Pedro	deixa uma moça olhar para os tomates e apertar um botão	
Davi	estatisticamente - verifique somente um ou outro	
Jorge	sacudir um balaio, os maduros devem subir ou descer	3ª solução
Pedro	soprar ar através, ao sacudir o balaio	
Antônio	use números aleatórios	

brainstorming clássico, vindo em seguida o *brainstorming* escrito e o *brainstorming* assistido por computador.

O *brainstorming* escrito, ou também chamado de método 635, consiste no seguinte:

- uma equipe de seis membros reunidos se familiariza com o problema a resolver;
- cada um dos membros da equipe registra, numa folha, três sugestões de solução;
- em seguida cada um passa sua folha para o membro seguinte, que, após a leitura, deverá acrescentar três sugestões novas ou melhoramentos e desenvolvimentos das anteriores;
- o último passo é executado até que cada folha com as três sugestões iniciais tenha passado pelos outros cinco membros da equipe.

Na Figura 6.1, Bonsiepe, Kellner e Poessnecker (1984) mostram o resultado que poderia constar numa das seis folhas de uma reunião de trabalho, para obter sugestões para o aproveitamento de uma sobra de couro, de tamanho 40x40 cm. Se todos os seis membros fossem muito criativos, ter-se-ia, ao final da reunião, 108 alternativas de aproveitamento do retalho de couro.

Nesse exemplo, as soluções foram mostradas de forma gráfica, mas pode-se adotar também um modo descritivo ou misto. Observa-se, ainda, a possibilidade de uma diversidade muito grande de idéias. Assim, recomenda-se que os seis membros da equipe sejam de múltiplas áreas de conhecimento ou de experiência.

Como última versão do *brainstorming* tem-se o eletrônico. Nesse caso sugere-se que o trabalho seja efetuado via internet. A grande vantagem é que as idéias, para o problema, podem ser obtidas de participantes que dificilmente poderiam estar juntos em uma reunião, por meio da comunicação a distância.

6.2.2 Método de Delphi

O método de Delphi foi desenvolvido pela empresa Rand Corporation, em 1950, para coletar opiniões de um grupo de especialistas através de um questionário estruturado. No método, originariamente, a coleta de opiniões foi efetuada em rodadas sucessivas, por correspondência, de es-

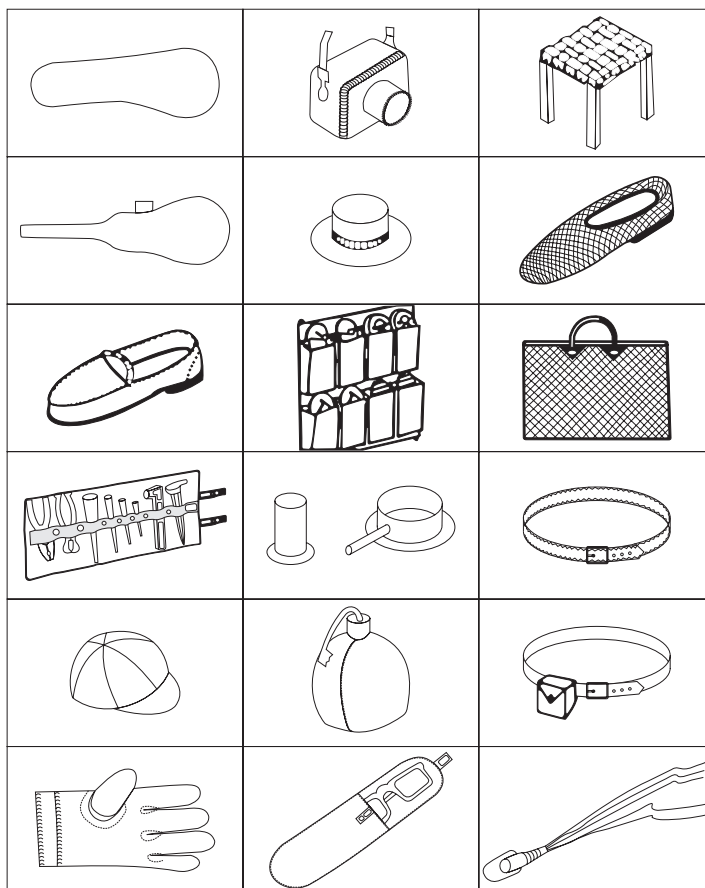


Figura 6.1 Exemplo de uma folha de resultados do método 635, aplicado ao problema de aproveitamento de sobras de couro por Bonsiepe, Kellner e Poessnecker (1984).

pecialistas que não se conheciam, eram mantidos no anonimato e que dificilmente poderiam ser reunidos em uma sessão conjunta.

Assim, após identificar o problema, os especialistas são consultados por correspondência em três rodadas sucessivas. Na primeira, constam no questionário elaborado por uma equipe de coordenação, questões mais genéricas, para que os profissionais apresentem uma visão inicial sobre o problema. As respostas são processadas e as questões do segundo questionário são preparadas. Neste, procura-se esclarecer alguns aspectos, identificar áreas de concordância e discordância, estabelecer prioridades, identificar e selecionar as soluções alternativas sugeridas na resposta ao primeiro questionário. As respostas ao segundo questionário são nova-

mente processadas pela equipe e, então, é preparado o terceiro questionário, por meio do qual os especialistas são novamente contactados, com o propósito de se obter um consenso sobre os aspectos do problema e a escolha da melhor solução. Este ciclo, mostrado na Figura 6.2, é repetido até se chegar à solução do problema formulado.

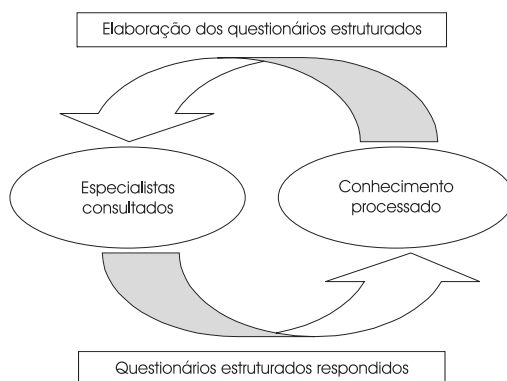


Figura 6.2 Processo de desenvolvimento do método de Delphi.

O método apresenta variações, sendo realizado por correio eletrônico ou, também, usado em reuniões com respostas verbais dos participantes, com o objetivo de chegar a um consenso sobre um determinado assunto. Um exemplo de aplicação do método seria obter o consenso sobre o potencial de mercado de um determinado produto ou sobre os custos relativos dos vários subconjuntos de um determinado sistema técnico. Para obter bons resultados nesses casos, recomenda-se a participação de especialistas ou gerentes dos diversos departamentos funcionais da empresa: comercial, industrial, administrativo, financeiro, de engenharia do produto, de marketing, de assistência técnica e inclusive de clientes e consultores externos.

6.2.3 Analogias direta, simbólica e pessoal

Observando produtos ou soluções de partes ou funções, verifica-se, em inúmeros casos, que determinado princípio possui semelhança ou é análogo a outro campo de conhecimento, na natureza ou na literatura. Por meio de pesquisas realizadas com o objetivo de identificar pessoas criativas, constatou-se que os mais criativos usavam, com frequência, a analogia direta com a natureza, a ficção, a história ou outros campos de

conhecimento para encontrar soluções de concepção e construção de instrumentos ou equipamentos de engenharia. A biologia e a fisiologia são riquíssimas em idéias, princípios e soluções que podem ser simplesmente transferidos para solucionar problemas de projeto de produtos. O termo biônica, encontrado atualmente, consiste em analisar sistemas naturais com o objetivo de identificar princípios de solução que, devidamente adaptados, possam contribuir para solucionar problemas técnicos. Essas adaptações permitem criar formas análogas, funções análogas ou, ainda, comportamentos análogos. Para um projetista é muito útil ter um bom conhecimento de biologia.

Para entender e justificar essa importância, existem inúmeras publicações sobre o assunto, como as de Ramos (1993) e Di Bartolo (1981) e exemplos encontrados no dia-a-dia. Para citar alguns, tem-se: o velcro idealizado da semente do carrapicho; o sonar do golfinho e do morcego; aviões (forma, asas, estrutura) e pássaros; robôs manipuladores (formas, graus de liberdade, acionamentos); e os membros do corpo humano (normalmente, com muitos mais graus de liberdade); propulsão e direção de veículos aquáticos e a medusa que se desloca por meio da propulsão a jatos de água; estruturas diversas otimizadas semelhantes às de ossos, plantas, favos de mel e teias de aranha; e sensores diversos análogos aos encontrados em animais.

O conhecimento da literatura é imprescindível, mas é importante salientar que não se pode esquecer do passado para melhorar o futuro, pois às vezes surgem idéias tidas como novas que já foram pensadas e esquematizadas por Leonardo da Vinci, por exemplo. Da ficção científica muitas soluções hoje são realidade, criadas ou imaginadas a partir de Júlio Verne ou Isaac Asimov.

Outra forma de analogia é a simbólica, também conhecida sob o nome de palavra-chave. Nesse tipo de analogia, procura-se por um verbo, declaração ou definição condensada do problema. Em seguida deve-se substituir a palavra ou declaração por sinônimos ou alternativas de declarações que tenham alguma relação com a original. Esse procedimento permite analisar o problema sob outros pontos de vista e dispara novas soluções ou aplicações. Para ilustrar, considera-se um exemplo em que a palavra ou declaração condensada, para resolver o problema ou uma parte do problema, é cortar. Como se mostra na Tabela 6.2, procura-se por palavras com alguma relação com a anterior, sinônimos, alternativas ou similares.

Tabela 6.2 Palavras relacionadas a cortar obtidas pela analogia simbólica

Cortar (palavra-chave)			
rasgar	dobrar	cisalhar	entalhar
dobrar	trincar	dividir	fatiar
riscar	fundir	tracionar	corroer
fundir	furar	romper	desgastar
esmerilar	jatear	serrar	separar

Se essas palavras forem examinadas, diferentes formas ou princípios de solução para cortar um determinado material e perfil serão encontrados ou, então, surgirão idéias para cortar diferentes materiais ou perfis.

Finalmente, a analogia pessoal, ou empatia, termo normalmente usado na psicologia, o qual expressa o comportamento de deslocar-se para a situação e as circunstâncias experimentadas por outra pessoa. Da mesma forma, pode-se usar as próprias emoções, sentimentos e características para obter uma compreensão de problemas tecnológicos. Em outros termos: colocar-se no lugar de uma peça, mecanismo ou operação e ver como se comportaria. Essa identificação pessoal com os elementos libera o indivíduo de ver o problema em termos de análises anteriores e assim ele pode encontrar soluções novas ou alternativas.

6.2.4 Método sinético

O termo sinético foi adotado para traduzir a palavra *synectics* do inglês, que é usada para expressar a resolução de problemas com base no pensamento criativo. Sinergia, do grego *synergía*, é entendida como um ato ou esforço coordenado de vários órgãos na realização de uma função, uma associação de vários fatores que contribuem para uma ação coordenada ou simultânea (Houaiss e Villar, 2001).

De acordo com Raudsepp (1969), o método proposto baseou-se em registro e estudo de procedimentos e mecanismos adotados por grupos de trabalho que se mostraram altamente criativos. Constatou-se que as pessoas mais criativas costumavam usar as analogias descritas no item anterior. Enfim, o método proposto nada mais é do que o uso coordenado das analogias para a solução dos problemas (Figura 6.3), e descrito a seguir:

- 1º passo: formular o problema. Como em qualquer caso, também no método sinético há o reconhecimento de que a formulação do pro-

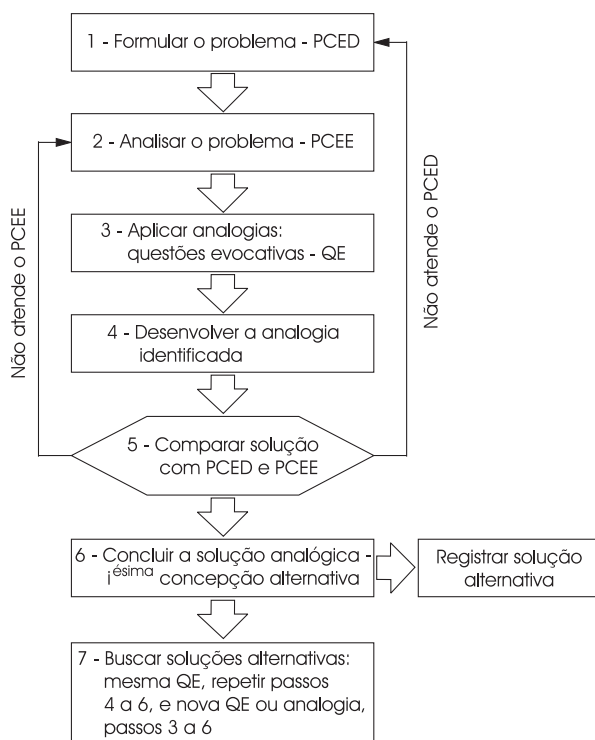


Figura 6.3 Processo de desenvolvimento do método sinético.

blema influencia, significativamente, a forma pela qual ele é abordado. Com a formulação concluída, tem-se declarações do Problema Como É Definido (PCED);

- 2º passo: analisar o problema. Na seqüência, o problema deve ser entendido. Para isso, há uma fase de análise, na qual o grupo de trabalho deve decidir qual aspecto ou declaração enfrentará e decompor o problema. Ao transformar um problema desconhecido ou estranho em um problema conhecido ou familiar, tem-se, então, um Problema Como É Entendido (PCEE). Esse estágio analítico, do PCED ao PCEE, tem como propósito principal tornar um problema estranho em um familiar àqueles participantes do grupo que não estão familiarizados com ele e seus fundamentos. Essa análise é usada para levantar e eliminar aquelas soluções imediatas que inevitavelmente ocorrem aos membros do grupo mas que raramente provam ser adequadas e serve para identificar o ponto de partida no qual o grupo irá se concentrar. O PCED é freqüentemente redeclarado por ser comum

o grupo descobrir que o centro do problema é outro e não aquele inicialmente definido;

- 3º passo: aplicar as analogias. No método sinético, o pensamento oscila de um modo ordenado entre análise e analogia e entre a transformação do estranho em familiar e do familiar em estranho. Transformar o familiar em estranho se consegue com as analogias, por meio das quais o grupo distorce deliberadamente a imagem do problema para assumir um novo enfoque ou ponto de vista. O caminho analógico, ou a analogia a ser adotada, deve ser decisão do coordenador da equipe, que lança uma Questão Evocativa (QE). Como já foi dito, a QE deve ser tal que distorça o problema ou que permita um novo ponto de vista. Para obter um princípio de solução da mecânica, deve-se escolher um princípio ou método biológico. Exemplificando questões evocativas: se no problema técnico uma peça ou parte dela deve mudar de cor quando exposta a determinadas condições, pergunta-se o que na natureza muda de cor; se é um problema de orientação, como os seres vivos se orientam; e se for um caso de propulsão, como os peixes e outros animais se propulsionam. Já foi visto que a analogia direta não é somente com a natureza, mas com outras tecnologias, áreas de conhecimento, literatura e ficção. Sendo novamente um problema de engenharia mecânica, a questão evocativa poderia ser como ele seria resolvido nas engenharias civil, elétrica, química ou na medicina. Da mesma forma, as questões evocativas podem estar dentro das analogias simbólica ou pessoal. Um bom coordenador logo descobre com qual analogia um membro, ou a equipe, tem maior facilidade;
- 4º passo: desenvolver a analogia. Uma vez identificada uma solução análoga promissora, esta deve ser desenvolvida para entender suas implicações;
- 5º passo: aplicar a solução analógica. Neste passo ela deve ser aplicada ou confrontada ao PCEE e em seguida ao PCED, para verificar se uma nova solução foi encontrada e se atende ao problema como é entendido e ao problema como é dado. Este passo também pode revelar um novo entendimento do problema ou um novo PCEE;
- 6º passo: avaliar a solução analógica. Se a solução atende ao PCEE e ao PCED, deverá ser desenvolvida tão detalhadamente quanto possível e necessário e, então, avaliada;

- 7º passo: buscar soluções alternativas. Para isso tem-se como possibilidades: encontrar outras soluções para a mesma questão evocativa e repetir os passos 4º ao 6º; lançar nova questão evocativa dentro do mesmo tipo de analogia ou variar o tipo de analogia, repetindo os passos do 3º ao 6º e, se no passo 5º revelar-se um novo PCEE, os passos 3º ao 6º também devem ser repetidos.

6.2.5 Método da listagem de atributos

Conforme citado por Raudsepp (1983), o método foi desenvolvido por Robert Crawford, da Universidade de Nebraska, e consiste em isolar e listar os principais atributos ou características de um produto. Em seguida cada uma dessas características é avaliada com o objetivo de melhorar o produto.

Para um fácil entendimento desse método, considerou-se o caso de uma chave de fenda de algumas décadas atrás. Essa chave apresentava uma haste de secção circular, um cabo de madeira rebitada e uma ponta chata. Era acionada manualmente e o torque aplicado por torção. Todas essas características foram consideradas e modificadas para fazer um produto mais eficiente.

Uma haste com secção hexagonal tem substituído a secção circular para facilitar o acionamento com auxílio de outra chave; o cabo de madeira foi substituído por uma haste de plástico, mais leve, mais segura e de melhor isolamento elétrico. No lugar do acionamento manual, foi introduzido o motor elétrico com embreagem limitadora de torque nas parafusadeiras industriais. Quanto à ponta chata, tem-se as variações de pontas para fendas simples, em cruz, Phillips e Allen. A Tabela 6.3 apresenta um resumo dessa aplicação.

Observa-se, então, que descrever os atributos de um produto pode ativar um pensamento criativo, de onde surgirão idéias alternativas de como fazer novas aplicações ou como melhorar a idéia existente.

6.2.6 Método da instigação de questões

De acordo com Raudsepp (1983), este método, desenvolvido por Alex Osborn, utiliza uma série de palavras-chave para ativar ou estimular idéias que melhoram produtos ou processos. Baxter (1998, p.80) deno-

mina o método de MESCRAl originado das iniciais das palavras-chave seguintes: Modificar; Eliminar; Substituir; Combinar; Rearranjar; Adaptar; e Inverter (Tabela 6.4).

Tabela 6.3 Exemplos de aplicação do método da listagem de atributos

Atributos de uma antiga chave de fenda	Atributos para modernização da chave de fenda
<ul style="list-style-type: none"> • haste de seção circular • cabo de madeira rebitada • ponta chata • acionamento manual • torque aplicado por torção 	<ul style="list-style-type: none"> • haste com seção hexagonal tem substituído a seção circular para facilitar o acionamento com auxílio de outra chave • o cabo de madeira foi substituído por uma haste de plástico, mais leve, mais segura e de melhor isolamento elétrico • o acionamento manual foi substituído por um motor elétrico com embreagem limitadora de torque nas parafusadeiras industriais • A ponta chata ganhou as variações de pontas para fendas simples, em cruz, Phillips e Allen

Tabela 6.4 Questões instigadoras do método MESCRAl

Palavras-chave	Questões instigadoras
modificar	<ul style="list-style-type: none"> • há uma nova tendência? • pode-se modificar significado, cor, movimento, som, odor, forma? • pode-se adicionar tempo? • maior frequência, maior resistência, maior altura, maior valor? • pode-se duplicar, multiplicar ou exagerar?
eliminar	<ul style="list-style-type: none"> • pode-se subtrair, condensar, diminuir, encurtar, reduzir peso, omitir, dividir?
substituir	<ul style="list-style-type: none"> • quem ou o que se pode substituir? • existem outros ingredientes apropriados, materiais, processos, aproximações?
combinar	<ul style="list-style-type: none"> • pode-se usar uma mistura, uma liga, uma montagem? • pode-se combinar unidades e idéias?
rearranjar	<ul style="list-style-type: none"> • pode-se intercambiar componentes? • pode-se usar outra configuração, leiaute ou seqüência? • pode-se modificar o modo ou esquema?
adaptar	<ul style="list-style-type: none"> • o que mais é igual a isto? • que outra idéia isto sugere? • o passado oferece qualquer paralelo? • o que se pode copiar ou imitar?
inverter	<ul style="list-style-type: none"> • pode-se trocar o positivo e o negativo? • trocar a frente e atrás, de cima e de baixo?

Os métodos intuitivos aqui descritos são muito úteis para disparar idéias na geração inicial de soluções na fase do projeto conceitual e também em fases posteriores do desenvolvimento do produto. É difícil eleger o melhor método, pois seu desempenho depende muito dos indivíduos que participam da equipe e do tipo ou estágio de desenvolvimento do projeto. É importante que os profissionais conheçam os principais. Deve-se experimentar qual dá o melhor resultado para o problema proposto ou, então, adotar diferentes métodos para gerar soluções alternativas para o mesmo problema.

6.3 Métodos sistemáticos de geração de concepções

Ao pesquisar na literatura por métodos de criatividade ou de geração de soluções, encontra-se um número considerável de sugestões que podem ser enquadradas como métodos sistemáticos, ou seja, métodos que seguem uma seqüência lógica e sistematizada de atividades que levam a soluções alternativas para um determinado problema. No presente capítulo são descritos três desse tipo: o método da matriz morfológica; o método da teoria de solução inventiva de problemas, chamado de TRIZ por Altshuller; e o método da análise de valor. Ao método da síntese funcional será dado maior destaque no Capítulo 7, porque apresenta uma maior evolução, desde sua proposição inicial, provavelmente inspirado no método da matriz morfológica e, também, um maior potencial para geração de concepções de sistemas técnicos e informatização do processo de concepção.

6.3.1 Método da matriz morfológica

Com já foi observado nos métodos anteriores, soluções criativas são encontradas, às vezes, ao se formarem novas combinações de funções, objetos, processos ou idéias já existentes. Assim, o método da matriz morfológica consiste em uma pesquisa sistemática de diferentes combinações de elementos ou parâmetros, com o objetivo de encontrar uma nova solução para o problema. A descrição do método é mais fácil através de um exemplo prático, como o desenvolvido por Resin (1989), que consistiu no desenvolvimento da concepção de uma desoperculadora de favos de mel.

No processamento do mel, a primeira operação a ser realizada é a desoperculação, que consiste na retirada de uma fina camada de cera, o opérculo, que tampa os alvéolos do favo construído pelas abelhas em um quadro típico (Figura 6.4). Uma vez retirada essa camada de ambos os lados, os quadros são colocados numa centrífuga para a extração do mel. A prática mais freqüente da desoperculação é efetuada com uma ferramenta manual, um garfo (Figura 6.4), e leva em torno de três minutos.

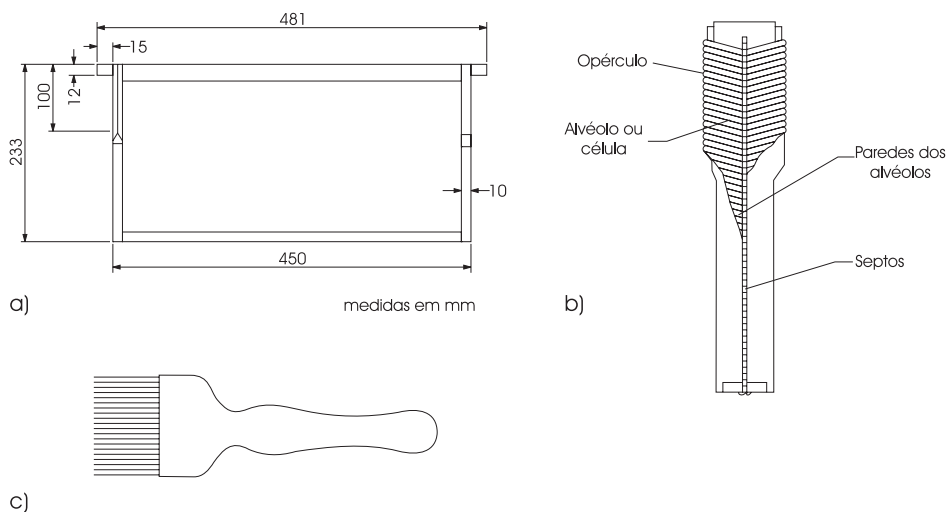


Figura 6.4 (a) quadro-padrão, (b) favo e (c) ferramenta manual de desoperculação (Resin, 1989).

Após a formulação do problema, conforme descrito no Capítulo 5, obtém-se um conjunto de especificações de projeto de uma máquina que, de modo resumido, deverá ter as seguintes principais características: ser estacionária com acionamento elétrico; permitir desopercular simultaneamente os dois lados do favo; facilitar a regulagem da espessura de trabalho; ser apropriada a um padrão de quadro, mas admitir tolerância de dimensões; ter a alimentação e a retirada do quadro da máquina manualmente operáveis, bem como o comando; e o tempo de operação por quadro não deve ultrapassar dez segundos.

Para o desenvolvimento de concepções alternativas foi então adotado o método da matriz morfológica, que consiste nos seguintes passos:



























- 1º passo: identificar as funções ou operações e parâmetros do processo. Examinando o processo de desoperculação, tem-se a seqüência de operações: alimentar ou introduzir o quadro na máquina;

transportar o quadro até um dispositivo de retirada da camada de cera, desoperulação, que é a retirada da cera que tampa o alvéolo; controlar a profundidade da camada de cera a ser removida; retirar o quadro da máquina e recolher a cera;

- 2º passo: preencher a primeira coluna da matriz com as funções e ou parâmetros do problema. Essas funções mais gerais podem sofrer desdobramentos quanto à forma em que são feitas e que tipos de dispositivos ou de princípios poderão ser utilizados. A Figura 6.5 mostra em sua primeira coluna esse desdobramento: alimentar, variando a posição do quadro e o sentido do movimento; transportar o quadro, internamente na máquina, com alternativas de dispositivo, de acionamento e de sentido; desoperular com movimento alternativo ou rotativo, com possibilidades de variações de dispositivos alternativos ou rotativos e variações de acionamentos desses dispositivos; controlar a profundidade de remoção da cera, com variação contínua ou discreta de variantes de mecanismos; retirar o quadro, alternativas de direção e sentido do movimento; e, finalmente, recolher a cera removida em determinado tipo de recipiente;
- 3º passo: buscar princípios de solução alternativos para cada operação ou parâmetro. Neste passo, para cada item na primeira coluna buscam-se formas ou princípios de solução, de forma independente, sem se preocupar com as demais linhas da matriz. Em cada linha da matriz, nas diversas colunas registram-se soluções que podem ter a forma de descrições literais ou representações gráficas. Essas soluções podem ser o resultado de um levantamento da literatura, utilização de mecanismos de outras máquinas ou então soluções criadas usando métodos como *brainstorming*, analogias ou outros descritos anteriormente. Serão preenchidas, para cada linha, tantas colunas quantas soluções forem encontradas. Cada representação gráfica da Figura 6.5 representa uma solução;
- 4º passo: buscar soluções ou concepções alternativas para o problema global formulado. Uma vez construída a matriz morfológica, procura-se estabelecer combinações adotando um princípio de solução de uma linha com os princípios das demais linhas. Assim, rapidamente, pode-se gerar um número elevado de concepções alternativas, como, por exemplo, as duas combinações mostradas na Figura 6.6. A solução A da Figura 6.6 representa uma desopercu-

a) Alimentação	a.1 Posição do quadro								
	a.2 Sentido da alimentação								
	b.1 Tipo de dispositivo								
b) Transporte	b.2 Acionamento do transporte								
	b.3 Sentido do transporte								
	c.1 Movimento de corte								
c) Desoperculação	c.2 Tipo de dispositivo alternativo								
	c.3 Tipo de dispositivo rotativo fixo								
	c.4 Tipo de dispositivo rotativo articulado								
c.5 Acionamento do dispositivo									
d) Controle	d.1 Tipo de controle	Contínuo 	Discreto 						
	d.2, d.3 e d.4 Forma de controle								
e) Saída	e.1 Sentido de saída do quadro								
	e.2 Sentido de saída da cera/mel								
	e.3 Tipos de receptores da cera/mel								

Figura 6.5 Matriz morfológica para concepção da desoperculadora de favos de mel (Resin, 1989).

a) Alimentação	a.1 Posição do quadro			
	a.2 Sentido da alimentação			
b) Transporte	b.1 Tipo de dispositivo			
	b.2 Acionamento do transporte			
	b.3 Sentido do transporte			
c) Desoperculação	c.1 Movimento de corte			
	c.2 Tipo de dispositivo alternativo		c.4 Tipo de dispositivo rotativo articulado	
	c.5 Acionamento do dispositivo			
d) Controle	d.1 Tipo de controle	Discreto 		Contínuo 
	d.2, d.3 e d.4 Forma de controle			
e) Saída	e.1 Sentido de saída do quadro			
	e.2 Sentido de saída da cera/mel			
	e.3 Tipos de receptores da cera/mel			

A

B

Figura 6.6 (A) Concepção com lâminas de movimento alternativo; (B) concepção com lâminas articuladas e de movimento rotativo (Resin, 1989).

- ladora com lâminas de movimento alternativo e a solução B, com rotores de lâminas articuladas com movimento rotativo;
- 5º passo: avaliar e selecionar concepções. Muitas das combinações podem ser eliminadas de imediato por não serem compatíveis ou viáveis, mas as viáveis devem ser submetidas a um processo mais criterioso de avaliação e valorização para, então, obter-se a melhor concepção, cujo procedimento será descrito no Capítulo 8;
 - 6º passo: estabelecer leiaute e descrever a concepção. Uma vez selecionada a melhor solução, esta deve ser ainda desenvolvida de modo a obter uma melhor descrição e arranjo da concepção. Cada espaço da matriz pode ser preenchido com uma descrição verbal ou uma representação gráfica do princípio de solução. A montagem da matriz gráfica pode ser bem mais trabalhosa do que a verbal, mas a primeira traz grandes facilidades na fase de montar o leiaute da concepção final. Poder-se-ia pensar em recortar os quadros, por exemplo, da Figura 6.6B e montar um quebra-cabeça. A Figura 6.7 mostra uma vista esquemática em perspectiva e as Figuras 6.8 e 6.9 apresentam, respectivamente, a vista esquemática direita e frontal da concepção da máquina desoperculadora.

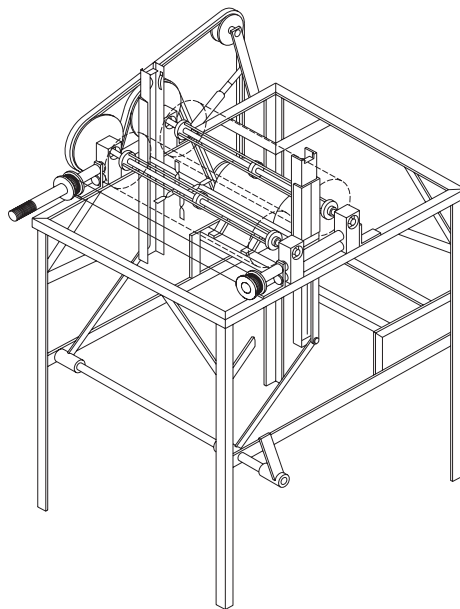


Figura 6.7 Vista esquemática da concepção da desoperculadora de favos de mel (Resin, 1989).

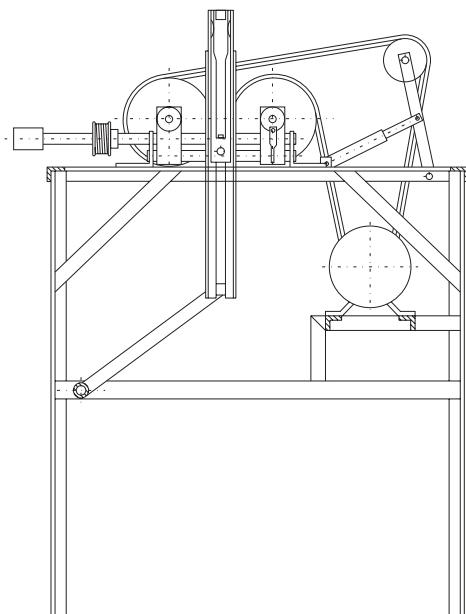


Figura 6.8 Vista esquemática direita da desoperculadora de favos de mel (Resin, 1989).

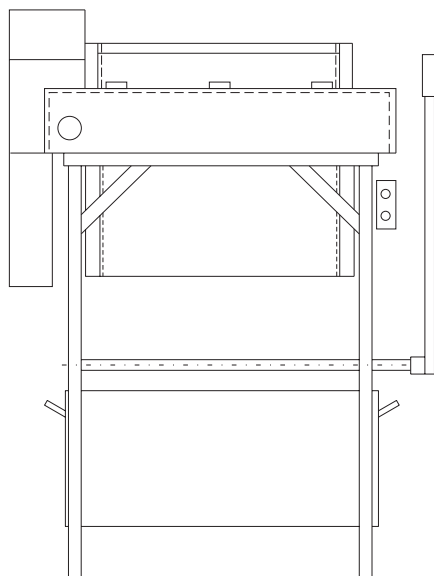


Figura 6.9 Vista esquemática frontal da máquina desoperculadora de favos de mel (Resin, 1989).

6.3.2 Análise do valor

Esse método tem suas origens em 1947, quando Lawrence D. Miles, engenheiro do setor de desenvolvimento do produto da General Electric dos Estados Unidos, publicou trabalho desenvolvendo uma metodologia que auxiliava as empresas a reduzir custos e chamou-a de *value analysis*. Em 1954, esse método também recebeu o nome de *value engineering* e, no Brasil, é conhecido como método da engenharia do valor, ou análise do valor. Ao longo do tempo foi largamente divulgado e utilizado pelas indústrias resultando em formas e versões diversas. É utilizado para analisar atividades, serviços ou produtos, visando à melhora do valor ou à redução de seus custos.

No presente texto, tendo por escopo o desenvolvimento do projeto, a forma ou enfoque dado está na perspectiva de utilizar o método para melhorar o produto. O critério para julgar o melhoramento é o custo, mas o valor ou a qualidade do mesmo não deve ser reduzido. Quando se fala em melhorar o custo do produto, este deve ser analisado na totalidade do processo de produção, ou, como já foi citado em capítulos anteriores, deve-se levar em conta todas as fases do ciclo de vida do produto, desde a concepção até o descarte.

Como será exposto aqui, a análise do valor é entendida como uma revisão completa do projeto do produto, visando introduzir modificações, traduzidas através de novos princípios de solução, tecnologias, materiais, processos de fabricação, formas de distribuição, de operação e de manutenção do produto. Se assim considerado, é evidente que a análise de valor promoverá uma melhora da qualidade ou aumentará o valor agregado, razão porque também é chamado de engenharia do valor. O método, sob esta ótica, é desenvolvido em etapas bem definidas.

1ª Etapa: preparação

As medidas preparatórias para aplicação do método da análise do valor são: escolher o objeto, produto a ser submetido à análise; determinar o objetivo; compor um grupo de trabalho; e planejar as atividades.

Para a escolha do produto a ser submetido a análise do valor são estabelecidos critérios diversos, dentre os quais: aperfeiçoamento do produto – produtos que não têm sofrido modificações por muito tempo devem ser submetidos a melhoramentos de acordo com avanços tecnológicos havidos em maquinarias, materiais e processos; complexidade do produto –

quanto mais complexos, maiores são as chances de redução de custos; produtos com elevados custos de manutenção e de garantia são sérios candidatos; produtos dependentes de materiais escassos ou importados; posição competitiva do produto; margem de custo pequena; possibilidade de normalização etc.

No que se refere aos objetivos da análise de valor, devem-se fixar metas de redução de custos ou comparações do objeto de análise com os produtos da concorrência.

Para a formação da equipe de trabalho, uma das exigências fundamentais é que os membros que a compõem devem pertencer às diversas áreas da organização, como por exemplo: mercado, projeto, manufatura, controle de qualidade, financeira, compras e assistência técnica. Se assim for, cada membro traz para o grupo a visão de sua área de atuação. A segunda exigência é que cada um seja um especialista de sua área no objeto a ser analisado e que tenha poder de decisão no que concerne a aspectos de seu departamento funcional. Além disso, deve haver o comprometimento com o trabalho de análise do valor e os indivíduos devem pertencer a níveis hierárquicos semelhantes.

2ª Etapa: coleta da informação

Essa etapa tem por finalidade conhecer a situação desenvolvendo as seguintes atividades: obter as informações gerais da situação atual do produto e levantar os custos.

Informações do objeto são de caráter geral de todas as áreas envolvidas (mercado, compras, manufatura, qualidade, finanças, projeto) e devem fornecer a maior quantidade possível de dados atualizados.

Outro tipo de informação fundamental para análise do valor é a dos custos do produto, pois eles servirão de padrão para a mensuração dos resultados a serem obtidos e para a determinação de quanto poderá ser despendido nas modificações do produto. Cada empresa tem seu esquema ou forma de composição de custos do produto, mas, para a análise do valor, é importante que sejam ao nível do conhecimento de custos de peças, partes, atividades ou operações e também que sejam diferenciados por unidade de custo (custos de materiais, mão-de-obra e outros). Esses custos assim diferenciados devem ser fornecidos em folhas-padrão, como exemplificado na Tabela 6.5. Na primeira coluna é colocada uma numeração do item e na segunda coluna, uma identificação por nome da parte, código ou

número do desenho. As outras três colunas devem ser preenchidas pelo setor encarregado do cálculo de custos.

Todas as informações levantadas nessa segunda etapa deverão estar disponíveis para o início de trabalho em equipe, a próxima etapa.

Tabela 6.5 Modelo de folha-padrão para análise do valor

Análise do valor		Número da folha:	Data:	Continuação da folha n ^o :	Continua na folha n ^o :	
Identificação do produto:						
Identificação do subconjunto:		Número do elemento ou parte do produto	Nome do elemento ou operação a ser executada	Custo da mão-de-obra	Custo de material	Valor, função ou utilidade do elemento ou parte
Coluna 1	Coluna 2						Coluna 3	Coluna 4	Coluna 5
						1) Esse componente ou parte dele pode ser eliminado?
						2) Esse componente ou parte dele pode ser combinado com outras partes?
						3) Pode ser decomposto em partes mais simples?
						4) Pode ser usado um componente ou parte dele normalizada ou modularizada?
						5) Um material normalizado pode ser usado?
						6) Material mais barato pode ser usado?
						7) Pode-se usar menor material?
						8) Pode ser desperdiçado menos material?
						9) Pode ser comprado um elemento ou parte dele mais barato?
						10) Pode ser reduzido o refugo?
						11) Podem os limites de tolerância ser ampliados?
						12) Pode-se economizar no acabamento?
						13) Pode-se reduzir o risco de erro?
						14) Pode ser feito algo mais para reduzir os custos sem prejudicar o valor do produto?
						15) Pode ser feita mais alguma coisa?

3ª Etapa: análise do produto

A equipe, uma vez reunida, deverá analisar a situação atual examinando as informações fornecidas e preencher a quinta coluna da Tabela

6.5. Mesmo que cada membro seja um especialista de sua área, é difícil ter uma visão de conjunto do produto. Esse conhecimento, apropriado ao trabalho de análise do valor, é obtido quando a equipe preenche, em conjunto, a coluna 5, descrevendo a função de cada parte listada. Para a descrição das peças e partes, é recomendado efetuar perguntas como: “para que serve isso?” e “o que isso faz?”. As respostas, por sua vez, devem ser concisas, na medida do possível, com um verbo mais um substantivo: suportar peso, conduzir combustível, ampliar força, melhorar acabamento, melhorar aparência etc.

Cada parte ou operação deve ser examinada criticamente quanto a sua função, utilidade ou valor. Os membros da equipe deverão estar certos de que o valor se relaciona à função, e não à constituição física do elemento ou operação. Às vezes, o produto inclui elementos de custo que, eventualmente, não têm valor para o consumidor. Por que então estes estão presentes? Provavelmente porque os requisitos do produto não eram bem conhecidos na data de seu projeto, não havia tempo para executar um projeto econômico, ou então porque o engenheiro de projeto e o de manufatura efetuaram suas tarefas separadamente e sem consultas.

Assim, essa etapa do método tem por objetivo uniformizar e atualizar os conhecimentos da equipe, identificar a real função de cada parte ou unidade de custo e identificar falhas ou deficiências no produto.

4ª Etapa: geração de soluções – criatividade

Concluído o preenchimento da coluna 5 da Tabela 6.5, o passo seguinte da equipe é buscar idéias ou soluções que venham reduzir os custos para cada uma das unidades de custo. Para isso, pode-se utilizar técnicas de criatividade como as descritas no item 6.2, ou então, como mostra a Tabela 6.5, lançar mão de um conjunto de 15 questões evocativas. Esse conjunto de questões é aplicado a cada item e a resposta ou respostas alternativas devem ser registradas para posterior avaliação e estudo de viabilização. É recomendável submeter cada item, por sua vez, ao conjunto de questões e aí passar aos seguintes, até completar todos os itens listados do produto. A seguir, apresenta-se uma breve discussão de cada uma das questões, sem levar em conta maiores aprofundamentos e exemplificações. Alguns exemplos podem ser vistos no Capítulo 13, na forma de introdução a princípios gerais de projeto para normalização, seleção de materiais, manufaturabilidade, montabilidade, etc.

Questão 1. Este componente, ou parte dele, pode ser eliminado?

A primeira pergunta a que cada parte ou operação deve ser submetida refere-se à possibilidade de eliminação. Se não apresenta valor para o consumidor, esta parte ou função deverá ser eliminada. O fabricante será beneficiado e o consumidor não perderá nada; talvez o produto se torne melhor sem o respectivo elemento.

A eliminação de partes desnecessárias pode melhorar a aparência, tornando o equipamento mais simples, mais limpo e até aumentando a confiabilidade ao remover uma possível causa de falha.

Questão 2. Este componente ou parte dele pode ser combinado com outras partes?

Combinar várias funções em uma única pode trazer vantagens, como tornar o produto mais compacto, reduzindo custos de fabricação e montagem.

Questão 3. Pode ser decomposto em partes mais simples?

Em certos casos, os componentes são projetados para desempenhar várias funções, mas exames futuros mostram que as dificuldades de fabricação dessa parte de múltiplos propósitos é mais dispendiosa do que a fabricação do mesmo componente, porém, composto de partes simples. Em outros casos, um componente apresenta uma forma difícil de ser usada e, se não houver outro processo de fabricação, procura-se simplificar a forma da peça.

Questão 4. Pode ser usado um componente ou parte dele normalizado ou modularizado?

Uma parte-padrão é aquela que pode ser usada em mais de uma aplicação em um único ou mais produtos. Essa parte pode ser padrão dentro de uma fábrica ou dentro de uma empresa que tem mais do que uma fábrica, ou ainda ser normalizada por acordos nacionais ou internacionais e, assim, disponíveis para todos os fabricantes. Parafusos, rolamentos e correias são exemplos de produtos normalizados internacionalmente. Motores de automóveis são exemplos de módulos que são usados em diferentes modelos dentro de uma mesma montadora. Peças normalizadas deverão ser produzidas em grandes quantidades para serem compensadas.

A pergunta, se existe uma parte ou uma peça-padrão que desempenhará satisfatoriamente a função do elemento em consideração, precisa ser sempre efetuada. É preciso também perguntar quão proximamente a

parte-padrão coincide com os requisitos da peça especial ou se esta faz algo especial que a peça-padrão não faz.

Essas mesmas perguntas deverão ser levantadas para processos. Muitas indústrias mandam partes incompletas para serem processadas por outras especializadas. Não poderiam essas operações especiais serem substituídas por operações-padrão dentro da própria firma, ou, alternativamente, não haveria demanda suficiente para justificar a aquisição de equipamento e mão-de-obra para efetuar essas operações?

Questão 5: Um material normalizado pode ser usado?

Cada vez mais materiais são disponibilizados ao projetista e ao fabricante: metais, plásticos, madeiras e derivados, cerâmicas, filmes e fibras, materiais trançados, materiais compostos e, ainda, de todos os acabamentos. O problema da escolha do material está se tornando cada vez mais complexo e importante. O projetista visa o material mais adequado para cada parte. A pessoa responsável pelos estoques quer simplificá-los, reduzir os custos e evitar erros. Quanto menor a gama de materiais no estoque, mais fácil é o controle e a administração dos mesmos.

Alguns materiais requerem condições especiais de armazenamento, tais como controle de temperatura e umidade. Assim, controlando a variedade de materiais é possível restringir o número necessário de espaços para o armazenamento. Materiais normalizados serão usados em maiores quantidades, os preços serão reduzidos, a inspeção no recebimento torna-se mais eficiente e menos dispendiosa. Finalmente, com menos materiais a escolher, a possibilidade de suprir a produção com o material errado é menor.

A solução é insistir tanto quanto possível no uso de materiais-padrão. Isso não impede que os projetistas e seus colegas de pesquisa e desenvolvimento continuem a pesquisar as propriedades de novos materiais, a usar materiais não-padrão em partes que apresentem condições especiais de trabalho, nem que materiais novos venham a se tornar materiais-padrão.

Questão 6: Material mais barato pode ser usado?

Até certo ponto, esta pergunta é uma variante da anterior. Quem escolhe o material é o projetista, e sua escolha depende das oportunidades que ele tem de explorar conhecimentos disponíveis. Ao longo do desenvolvimento do projeto, são coletadas informações sobre os materiais passíveis de serem escolhidos. Nessa coleta de dados, são gastos tempo e dinheiro;

o projetista não tem tempo suficiente para explorar todas as possibilidades e, muitas vezes, não é possível prever as condições a que os materiais do produto serão submetidos em uso.

O projetista, assim, se encontra diante de um conjunto de incertezas, cujo grau depende das circunstâncias. No caso da ausência de conhecimentos completos, o projetista tentará jogar de forma segura, muitas vezes especificando materiais mais caros do que os que seriam realmente necessários.

Evidencia-se aqui uma grande virtude da análise do valor, pois, quando o produto for reexaminado, haverá uma massa de informações sobre o comportamento do material em uso. Essas informações são derivadas dos registros de serviço ao consumidor, que permitem reconsiderar a escolha do material por parte do projetista.

Outro ponto a ser observado é que no intervalo entre o projeto e a análise do valor novos materiais podem ter sido desenvolvidos.

Os custos de materiais são normalmente cotados por peso, mas a comparação por unidade de peso é irrelevante; o que deve ser comparado é o custo por unidade de desempenho funcional ou por unidade de valor. Por exemplo, para materiais isolantes, considera-se o custo por unidade de resistência, e para condutores tem-se o custo por unidade de condutância.

Questão 7: Pode-se usar menos material?

Por que usar 2 kg quando 1 kg já satisfaz o consumidor? Frequentemente a redução de peso é uma vantagem em si. Por exemplo, o desempenho dos carros de passeio atuais é melhor que o de seus predecessores de 20 ou 30 anos atrás, em parte porque os atuais são mais leves. O desempenho de qualquer dispositivo de transporte é expresso em termos da relação entre a carga útil e a carga total; portanto, o desempenho do produto é aumentado quando seu peso é reduzido, e seu valor é melhorado ao reduzir o custo de material.

A redução do material pode ser alcançada por meio de cálculos. Na indústria aeronáutica é prática comum calcular as tensões em cada componente em condições extremas tais que se tenha certeza de que as partes da peça são suficientemente resistentes mas não muito pesadas.

O engenheiro nem sempre tem tempo para refinar o seu trabalho e elaborar o cálculo de tensões. Em outros casos é difícil ou mesmo impossível calcular as tensões em peças de forma complexa. Frequentemente é

mais econômico e mais rápido determinar a resistência de partes ou conjuntos estruturais por testes. Em outros casos, o projetista simplesmente especifica uma espessura da peça que, por sua experiência, sabe que não apresentará problemas.

Questão 8: Pode ser desperdiçado menos material?

As formas predeterminadas de peças podem ser basicamente obtidas por corte (usinagem) e conformação. Corte inclui operações de guilhotinar, estampar, serrar, tornear, plainar, furar, fresar, retificar. Conformar inclui fundição, forjamento, extrusão, estiramento, prensagem e dobramento, processos que são, normalmente, aplicados a metais, plásticos, cerâmicas e materiais compostos.

Por meio do corte, são produzidas mudanças simples de forma em cada operação. Para cortar formas complexas é necessária uma seqüência de operações que, com o desenvolvimento atual no controle de máquinas-ferramentas, podem ser executadas automaticamente. Em contraste, peças de forma complexa podem freqüentemente ser produzidas com processos de conformação, sinterização ou fundição.

Os processos de conformação em geral produzem poucas perdas ou mesmo nenhuma. No caso da fundição têm-se canais de alimentação e massalotes, e na extrusão, os extremos dos biletos.

As operações de corte produzem perdas invariavelmente. Serras, fresadoras, furadeiras, rosqueadoras, tornos, todos produzem cavacos ou pó. A estamparia e o corte de chapas produzem retalhos.

Retalhos de tecidos, metal e vidro em pequenas quantidades representam custos maiores ainda, pela dificuldade de reúso e ou custo de remoção. Cavacos ou retalhos em maiores quantidades são vendáveis. Nem sempre essa forma é lucrativa, uma vez que foram usadas máquinas e mão-de-obra para transformar material caro em cavacos e retalhos, e estes apresentam um preço bem menor do que o original.

A equipe de análise do valor deve examinar com cuidado qualquer peça produzida por operações de corte para verificar se qualquer mudança no projeto ou processo de fabricação reduzirá a quantidade de material necessária antes que o corte se inicie.

No corte de tecidos ou chapas de metal é possível reduzir a quantidade de retalhos pelo arranjo de configurações, de tal forma que o material entre peças adjacentes seja o mínimo possível.

Questão 9: Pode ser comprado mais barato?

Esta pergunta é muito comum quando a indústria está preparando a produção de um novo produto. Nessa situação pergunta-se se o componente será feito dentro da própria indústria ou se será comprado pronto. Quando a peça é reexaminada pela equipe, essas perguntas devem ser repetidas, pois as condições podem ter mudado tanto que a decisão original já esteja obsoleta. Podem ter sido adquiridas novas instalações que permitam fabricar com menor custo a peça que está sendo comprada de terceiros. Na situação contrária, pode ter surgido um fornecedor que oferece o componente a um preço mais baixo.

À parte os efeitos das mudanças tecnológicas e econômicas, a equipe precisa considerar outras alternativas, tais como se não há possibilidade de comprar mais barato o componente ou o material. Quem sabe não se usaram todas as formas de barganha ou não se comprou de tal forma a obter o máximo de descontos?

Do lado do projetista, pode ter ocorrido que ele tenha estabelecido especificações muito estreitas e, por inocência ou mesmo arrogância, determinado que o componente fosse fabricado por um especialista.

Questão 10: Pode ser reduzido o refugo?

Neste caso, ao refugar uma peça ou componente, estão sendo perdidos material e mão-de-obra. Considere-se o exemplo de uma peça fundida e usinada que precisa ser testada antes de ser aceita. No caso do corpo de uma válvula, este precisa ser à prova de vazamentos de água ou ar. Porosidades, fissuras e vazios não são aceitos e esses defeitos poderão existir na peça ao sair da fundição sem que sejam perceptíveis numa inspeção da superfície. Então a peça é usinada, inspecionada e, se for visualmente satisfatória, será submetida ao ensaio de pressão. Se ela vazar, então uma peça fundida, usinada e testada será refugada.

O cálculo do custo deve levar em conta a porcentagem de refugo de cada processo. Se a porcentagem de refugo for reduzida, o custo direto será também proporcionalmente reduzido.

O problema do refugo não é somente uma questão de administração da produção, mas também do projeto. Frequentemente o projeto é tal que a fabricação é desnecessariamente difícil. O projetista e o engenheiro de produção devem cooperar para reprojeter a peça, para que seja de mesma qualidade que a original, porém mais fácil e barata de ser fabricada.

Questão 11: Podem os limites de tolerância ser ampliados?

Esta pergunta é um caso particular da anterior. Em engenharia, é usual definir dimensões com limites ou tolerâncias. Como nenhum processo de produção opera com absoluta precisão, pode-se dizer que dimensões sem limites não são informações suficientes para a produção saber se é possível ou não fabricar determinada peça.

Todas as tolerâncias devem ser baseadas numa solução de compromisso entre o que é exigido para um efetivo desempenho e o que pode ser alcançado por métodos de produção econômicos. Fabricar peças com menores tolerâncias é mais caro do que fabricar peças com tolerâncias maiores. Quando se consideram as tolerâncias, deve-se, também, efetuar uma análise em relação ao custo de montagem.

Questão 12: Pode-se economizar no acabamento?

O acabamento refere-se a qualquer tratamento superficial que pode ser aplicado a partes ou conjuntos necessários por razões técnicas e estéticas.

A pintura de uma parte melhora a sua aparência e a protege contra a corrosão. Caso o material do corpo seja não-corrosivo, a pintura torna-se necessária somente por razões de aparência. Acabamento inclui limpeza, preliminarmente necessária para muitos tipos de processos de acabamento. A limpeza, dependendo do caso, é feita por jatos de areia, desengraxantes, corte de material, retífica, polimento, e o acabamento pode ser por pintura ou por deposição por métodos químicos e elétricos. Todos esses tratamentos envolvem o consumo de mão-de-obra, tempo de processo, uso de equipamentos, desgaste de ferramentas de corte (rebolos), consumo de potência, calor, ar comprimido e materiais.

A equipe de análise do valor deverá perguntar qual o valor do acabamento para o consumidor. É realmente necessário, e, se for, por que precisa ser tão dispendioso? Ou poderia ter o mesmo efeito, isto é, o prolongamento da vida e a melhoria da aparência do produto, ser alcançado usando um material que não necessite de acabamento? Ainda, haveria uma alternativa e um método de acabamento mais barato, uma alternativa de material, como uma tinta mais barata?

Questão 13: Pode-se reduzir o risco de erro?

Pessoas erram, o que é natural e inevitável. Usualmente é possível detectar um erro antes que este tenha ido muito longe e corrigi-lo. Uma forma mais eficiente é previni-los, e isso, às vezes, pode ser feito.

Erros na produção precisam ser detectados, produtos defeituosos não devem chegar aos consumidores, sistemas de inspeção necessitam ser organizados e implantados para rejeitar o que não é adequado. Além dos custos da inspeção, as peças rejeitadas representam também custos sem o prêmio da satisfação do consumidor. Assim, sistemas de controle de qualidade foram desenvolvidos para detectar tendências a erros de tal forma que ações corretivas possam ser tomadas antes que refugos sejam produzidos.

Ações preventivas devem ser tomadas ainda mais cedo, na fase do projeto, ou na análise do valor, ao projetar componentes de forma que seja difícil fabricá-los erroneamente e que seja impossível falhar na montagem. Tais projetos reduzem a fadiga do operador e as montagens se tornam auto-inspecionáveis.

Para reduzir os custos pela minimização de riscos de erro é necessário conhecer o capital que está sendo perdido com erros. Informações precisas sobre refugos deverão ser conhecidas pela equipe. Relatórios sobre refugos de peças serão estudados com cuidado, tendo por objetivo descobrir formas de prevenir refugos através de mudanças no projeto, no método ou pela aplicação do controle de qualidade.

Questão 14: Pode ser feito algo mais para reduzir os custos sem prejudicar o valor do produto?

Esta é uma pergunta vaga quando comparada às anteriores. Uma pergunta desse tipo é apresentada por não se acreditar que haja uma rotina predeterminada para desenvolver um pensamento criativo (parcialmente para lembrar que este é um exemplo de lista de perguntas) e para encorajar cada equipe a preparar a sua própria lista de perguntas evocativas.

5ª Etapa. Avaliação e seleção das soluções

Concluída a fase de criatividade, em que a preocupação foi obter um grande número de soluções alternativas, na presente etapa tem-se por objetivo o julgamento das idéias e sua identificação com a qualidade. Para isso, pode-se decompor esta etapa nas seguintes: formular e desenvolver alternativas; viabilizar tecnicamente; viabilizar economicamente; e decidir pela melhor.

Uma alternativa é um conjunto de idéias que podem ser implantadas simultaneamente. É importante que se formule claramente esse conjunto de idéias de modo a possibilitar uma análise mais detalhada da alterna-

tiva diante de critérios estabelecidos. Se para uma peça foi sugerido uma mudança na forma e troca de material, deve-se especificar em detalhes essa forma, com esquemas e croquis, o material e suas características e o processo de fabricação.

Para viabilizar tecnicamente uma solução alternativa deve-se:

- listar todas as vantagens técnicas que a alternativa trará quando comparada à solução do produto atual;
- listar as desvantagens e possíveis riscos que afetem o desempenho da função;
- identificar medidas que deverão ser tomadas para eliminar e minimizar a ocorrência de falhas ou riscos.

Essa viabilização técnica pode requerer uma análise mais profunda do problema por especialistas fora da equipe de análise do valor ou mesmo uma implementação prática com testes e ensaios.

Para viabilizar economicamente a solução alternativa devem ser estabelecidos e avaliados critérios tais como: previsão de custos da alternativa; previsão dos investimentos necessários; amortização; retorno sobre o investimento; economia anual; economia por unidade produzida etc.

Efetuada a análise técnica e econômica das alternativas, o próximo passo é selecionar a melhor solução ou classificá-las usando uma forma, descrita no Capítulo 9, de metodologia de seleção da concepção.

6ª Etapa. Fase de planejamento

A última etapa é a do planejamento, composto dos seguintes passos: apresentar e aprovar a proposta; planejar e acompanhar a implementação. Destes passos, o que compete à equipe de análise do valor é a apresentação e aprovação final da proposta, mas, no que se refere aos demais passos, é conveniente uma continuada comunicação com os setores responsáveis pelos mesmos.

6.3.3 Teoria de solução inventiva de problemas – TRIZ

Genrich Altshuler nasceu em 1926 na ex-União Soviética e serviu na marinha nos anos 1940 como consultor para apoiar inventores no processo de patenteamento de invenções. É considerado o criador da teoria de solução inventiva de problemas, genericamente conhecida por TRIZ, originada dos termos russos *Teoriya Resheniya Izobretatel'skikh Zadach*. Esse

trabalho, iniciado em 1946, levou Altshuler a pesquisar métodos de solução de problemas e identificou que os métodos intuitivos disponíveis não satisfaziam as exigências de invenções da segunda metade do século XX. Entendeu que uma teoria de invenção deveria atender às seguintes condições:

- ser um procedimento sistemático, passo a passo;
- guiar através de um amplo espaço de soluções e orientar para a solução ideal;
- ser repetitivo e confiável e não depender de métodos intuitivos;
- acessar o corpo de conhecimento inventivo;
- adicionar ao campo de conhecimento inventivo;
- ser suficientemente familiar aos inventores para seguirem uma maneira geral de solução de problemas.

Diante dessas considerações, o autor procurou então, por meio de um levantamento em um elevado número de patentes, um modo de solucionar problemas de soluções que realmente eram consideradas invenções. Nessas invenções reais, identificou dois aspectos ou padrões comuns: problema inventivo e princípios inventivos.

No primeiro padrão, definiu como um problema inventivo aquele em que a solução do problema faz surgir novos problemas. Como exemplo, aumentar a capacidade de carga de uma peça para atender ao problema em questão faz aumentar o peso dessa peça, que, em geral, diminui o desempenho da máquina. Nesse caso, uma alternativa seria fazer uma análise dos parâmetros e adotar uma solução de compromisso, ou seja, não aumentar tanto a capacidade de carga da peça de modo a não reduzir excessivamente o desempenho da máquina, ou então melhorar a característica do material empregado e, assim, aumentar o custo. Nenhuma dessas duas soluções seria inventiva ou ideal.

Uma solução inventiva é aquela que, mesmo aumentando a capacidade de carga da peça, não aumenta o peso ou o custo da peça. A capacidade de carga da peça, o seu peso, custo e o desempenho da máquina, são parâmetros desse problema e, em geral, chamados por Altshuler de parâmetros de engenharia. A capacidade de carga e o peso da peça, como visto no exemplo, são parâmetros conflitantes. Assim, como definido anteriormente, soluções são inventivas quando são resolvidos problemas com parâmetros conflitantes ou contraditórios com o objetivo de obter considerável avanço na solução.

Quanto aos parâmetros de engenharia, Altshuler constatou que, nas patentes pesquisadas, as soluções apresentavam modificações ou melhoramentos em conjuntos típicos de parâmetros, dentre os 39 parâmetros da Tabela 6.6.

Tabela 6.6 Parâmetros de engenharia de Altshuler, *apud* Mazur (1995)

Nº	Parâmetros de engenharia	Nº	Parâmetros de engenharia
1	Peso do objeto em movimento	21	Potência
2	Peso do objeto em repouso	22	Perda de energia
3	Comprimento do objeto em movimento	23	Perda de substância
4	Comprimento do objeto em repouso	24	Perda de informação
5	Área do objeto em movimento	25	Perda de tempo
6	Área do objeto em repouso	26	Quantidade de substância
7	Volume do objeto em movimento	27	Confiabilidade
8	Volume do objeto em repouso	28	Precisão de medição
9	Velocidade	29	Precisão de fabricação
10	Força	30	Fatores indesejados atuando no objeto
11	Tensão, pressão	31	Efeitos colaterais indesejados
12	Forma	32	Manufaturabilidade
13	Estabilidade do objeto	33	Conveniência de uso
14	Resistência	34	Mantenabilidade
15	Durabilidade do objeto em movimento	35	Adaptabilidade
16	Durabilidade do objeto em repouso	36	Complexidade do objeto
17	Temperatura	37	Complexidade de controle
18	Brilho	38	Nível de automação
19	Energia gasta pelo objeto em movimento	39	Produtividade
20	Energia gasta pelo objeto em repouso		

Esses parâmetros de engenharia correspondem à generalização das grandezas envolvidas em problemas técnicos de diferentes áreas.

Com base nessas constatações Altshuler, *apud* Mazur (1995), classificou as soluções encontradas nas patentes pesquisadas em cinco níveis:

- primeiro nível: problemas de projeto rotineiros, resolvidos por métodos bem conhecidos dentro de sua especialidade, sem necessidade de invenção. Das patentes pesquisadas, 32% das soluções foram enquadradas neste nível;
- segundo nível: pequenos melhoramentos de um sistema existente, por meio de métodos conhecidos dentro da indústria, geralmente, com algumas soluções de compromisso. Do total, 45% das soluções pesquisadas enquadraram-se neste nível;
- terceiro nível: melhoramentos fundamentais de sistemas existentes, usando métodos conhecidos fora da própria indústria, com contradições ou parâmetros conflitantes resolvidos. Em torno de 18% das patentes pesquisadas apresentavam soluções nesta categoria;
- quarto nível: novas soluções, usando novos princípios para desempenhar funções do sistema, mais encontradas nas ciências básicas do que nas tecnologias. Somente 4% se enquadravam neste nível;
- quinto nível: raras descobertas científicas ou invenção de um novo sistema. Aproximadamente 1% das soluções se enquadraram neste nível.

O segundo padrão importante encontrado por Altshuler foi que as soluções descritas nas patentes usavam, para resolver os conflitos entre os parâmetros de engenharia, certos princípios, em um conjunto, que foi denominado de 40 princípios inventivos, como mostrado na Tabela 6.7.

Tabela 6.7 Princípios inventivos de Altschuller, *apud* Mazur (1995)

Nº	Princípio inventivo	Detalhamento e exemplificação
1	Segmentação, fragmentação	Dividir o objeto em partes independentes que são fáceis de desmontar; aumentar o grau de segmentação do objeto. Produtos modulares e dobráveis
2	Extração, remoção	Remover ou separar uma parte ou propriedade perturbadora do objeto; extrair somente a parte ou propriedade necessária
3	Qualidade local	Ter diferentes partes do objeto realizando diferentes funções; colocar cada parte do objeto sob as mais favoráveis condições para sua operação
4	Assimetria	Substituir uma forma simétrica por uma assimétrica ou inverso; se um objeto é pouco assimétrico, aumentar o grau de assimetria

continua

Tabela 6.7 Princípios inventivos de Altschuller, *apud* Mazur (1995) (continuação)

Nº	Princípio inventivo	Detalhamento e exemplificação
5	Combinação	Combinar no espaço objetos homogêneos ou objetos destinados a operações contíguas; combinar no tempo operações homogêneas ou contíguas
6	Universalidade	Fazer objetos desempenharem múltiplas funções e, deste modo, eliminar a necessidade de ter outros objetos; usar objetos conversíveis
7	Aninhamento	Conter um objeto dentro de outro; passar um objeto através da cavidade de outro. Antenas telescópicas, objetos empilháveis
8	Contrapesos	Compensar o peso próprio unindo a outro objeto; interagir com forças do ambiente, aero ou hidrodinâmicas. Hidro e aerofólios
9	Contra-atuação preliminar	Aplicar contra-ações prévias; criar um estado de pré-tensões, tensões residuais ou tubos encamisados, de modo a reduzir as solicitações em serviço
10	Ação prévia	Realizar todas as ações requeridas previamente ou em parte; arranjar os objetos de modo a entrarem em ação em tempos e posições convenientes
11	Atenuações prévias	Introduzir medidas preventivas para compensar a baixa confiabilidade de um objeto. Reduzir as solicitações ou usar componentes em paralelo
12	Eqüipotencialidade	Mudar as condições de tal modo que os objetos não precisem ser movidos para cima ou para baixo no campo potencial
13	Inversão	Implementar a ação oposta ao especificado; mover a parte fixa e fixar a parte móvel; inverter a posição de objetos
14	Esferoidicidade	Substituir partes lineares ou superfícies planas por curvas; formas cúbicas por esféricas; movimento linear por circular; usar a força centrífuga
15	Dinamicidade	Fazer o objeto ou seu ambiente se ajustar automaticamente ao desempenho ótimo; se um objeto é imóvel, tornar móvel ou intercambiar
16	Ação parcial ou excessiva	Se for difícil obter o valor exato de um desejado efeito, procurar um valor superior ou inferior que poderá simplificar consideravelmente o problema
17	Movimento para nova dimensão	Substituir o movimento linear de um objeto por um movimento em um plano; usar montagem de peças em multiplanos em vez de um plano

continua

Tabela 6.7 Princípios inventivos de Altschuller, *apud* Mazur (1995) (continuação)

Nº	Princípio inventivo	Detalhamento e exemplificação
18	Uso de vibrações mecânicas	Vibrar o objeto; aumentar frequência de vibrações; usar ressonância; piezovibradores; vibrações ultra-sônicas eletromagnéticas
19	Ação periódica	Substituir ação contínua por periódica ou pulsada; se já é uma ação periódica, variar a frequência; usar pausas entre impulsos para mudar efeito
20	Continuidade da ação útil	Realizar uma ação continuamente, onde todas as partes de um objeto operam em plena capacidade; remover movimentos mortos e intermediários
21	Travessia rápida	Executar operações danosas ou perigosas a velocidades muito altas. Tirar toalha da mesa sem derrubar pratos; cortar uma peça flexível por impacto
22	Conversão de danos em benefícios	Utilizar efeitos danosos ou efeitos ambientais para obter efeitos positivos; combinar fatores danosos para eliminá-los ou mitigá-los
23	Retroalimentação	Introduzir retroalimentação em um processo ou reverter se já houver retroalimentação
24	Mediação	Usar um objeto intermediário para transferir ou realizar uma ação; conectar, temporariamente, um objeto a outro fácil de ser removido
25	Auto-serviço	Fazer com que um objeto seja automantenível e reparável; usar rejeitos de materiais e de energia do objeto para produzir a ação desejada
26	Cópia	Usar cópia simplificada e de baixo custo, no lugar de objeto indisponível, complicado e frágil; substituir um objeto pela sua cópia óptica ou imagem; usar escala reduzida ou ampliada
27	Uso de objeto barato e de vida curta	Substituir objetos dispendiosos e de longa vida por objetos de baixo custo e durabilidade. Estes objetos podem ser descartados com facilidade
28	Substituição de meios mecânicos	Substituir sistema mecânicos por ópticos, acústicos e eletrônicos; usar campos elétricos, magnéticos ou eletromagnéticos para interagir com objetos; substituir campos
29	Uso de pneumática e hidráulica	Substituir partes sólidas de objetos por gás ou líquido; usar a capacidade de compressão e de amortecimento dos mesmos

continua

Tabela 6.7 Princípios inventivos de Altschuller, *apud* Mazur (1995) (continuação)

Nº	Princípio inventivo	Detalhamento e exemplificação
30	Uso de filmes e membranas flexíveis	Substituir as construções tradicionais por aquelas feitas de filmes ou membranas flexíveis; isolar o objeto do seu meio ambiente usando esses componentes
31	Uso de materiais porosos	Usar objetos ou elementos porosos, insertos ou coberturas; se o objeto já é poroso, preencher os poros com alguma substância útil, óleo em mancais porosos
32	Mudança de cor	Mudar a cor de um objeto ou entorno; alterar o grau de translucidez do objeto ou processo difícil de usar; usar aditivos coloridos para observar objetos ou processos difíceis de ver
33	Homogeneidade	Objetos que interagem devem ser feitos do mesmo material ou materiais com propriedades idênticas
34	Descarte e recuperação de partes	Rejeitar ou modificar um elemento de objeto, após completar sua função ou tornar-se sem uso; partes que se tornam sem uso devem ser automaticamente recuperadas
35	Mudança de parâmetros e propriedades	Modificar o estado agregado de um objeto, distribuição de densidade, grau de flexibilidade, temperatura; usar pseudoestados ou estados intermediários
36	Mudança de fase	Usar efeitos que ocorrem durante mudanças de fase de materiais; por exemplo, mudança de volume, dissipação ou absorção de calor
37	Expansão térmica	Usar o efeito de expansão ou contração com o calor; usar materiais com diferentes coeficientes de expansão térmica, para acionar mecanismos ou deformar objetos
38	Uso de oxidantes fortes	Substituir ar normal por ar enriquecido ou ar enriquecido por oxigênio; tratar um objeto no ar ou no oxigênio com radiação ionizante; usar oxigênio ionizado
39	Uso de atmosferas inertes	Substituir o ambiente normal por inerte; realizar o processo em vácuo
40	Uso de materiais compostos	Substituir materiais homogêneos por materiais compostos de características projetáveis

Baseado nesses dois padrões, foi criado o primeiro método da teoria de solução inventiva de problemas, denominado de método dos princípios inventivos. Essa teoria, introduzida no Ocidente na última década,

recebeu uma ampla atenção por parte de muitos pesquisadores. Foram desenvolvidos vários métodos complementares e variantes, inclusive alguns informatizados, como é o caso da Invention Machine Corporation que desenvolveu dois sistemas o, *TechOptimizer* e o *IM Phenomenon*, e a Ideation International Inc., que implementou seu curso de treinamento. Esses métodos, evoluções, variantes e implementações computacionais, baseados em pesquisas e observações em mais de 1,5 milhão de patentes, estão amplamente divulgados em trabalhos como os de Carvalho e Back (2000), Mazur (1995), Nakagawa (1998), Otto e Wood (2001); e muitos outros.

O método dos princípios inventivos, que é a base de todos os desenvolvimentos e que será descrito a seguir, procura maximizar, minimizar ou manter, dentro de determinadas metas, os parâmetros de engenharia, usando para isso a matriz de solução das contradições e os princípios inventivos. Esse procedimento segue uma metodologia de cinco passos:

- passo I: analisar o sistema sob estudo e listar todos os recursos observados. Os recursos aqui considerados têm um conceito bem amplo, podem ser itens físicos, processos ou informações que podem desempenhar alguma função ou ser úteis no sistema ou em seu entorno. Esses recursos podem ser classificados como correntes, opcionais e de fantasia. Os correntes são os inerentes ao sistema; os opcionais podem ser incorporados ao sistema; e os recursos de fantasia são os advindos da imaginação, como fazendo parte do sistema, mas ainda de uma forma um tanto remota;
- passo II: identificar e listar todos os parâmetros, características ou princípios, de cada um dos recursos listados no passo I que poderão ser modificados ou que se pretende modificar para melhorar o sistema. Esses parâmetros podem ser: forma, temperatura, velocidade, resistência, frequência, durabilidade, confiabilidade, potência, lealdade do consumidor, imagem da marca, lucro, participação no mercado, tamanho da embalagem, cor, princípio físico, índice de inovação, entre outros. Isto é, identificam-se os parâmetros de engenharia, a exemplo da Tabela 6.6. Para simplificar a visualização e facilitar a identificação dos parâmetros dos recursos, é conveniente colocar, em uma matriz, nas linhas os recursos e nas colunas os parâmetros correspondentes (Figura 6.10);
- passo III: avaliar os benefícios advindos das mudanças ou variações de cada um desses parâmetros, ou seja, efetuar uma análise de sen-

texto, significa obter uma solução do problema com o máximo de benefícios e o mínimo de danos ou resultados indesejados. Segundo a definição anterior, uma solução apresenta um considerável melhoramento se os conflitos entre parâmetros contraditórios ou interdependentes foram resolvidos, e que não seja adotada uma solução de compromisso. Pelas pesquisas realizadas em patentes, Altshuller verificou que esses conflitos eram resolvidos adotando os princípios inventivos da Tabela 6.7. Construiu então a matriz de contradições (Tabela 6.8), na qual os números nas células referem-se aos respectivos princípios inventivos, que resolvem os conflitos entre os respectivos parâmetros. Nessa matriz de contradições, as linhas são interpretadas como parâmetros, características ou atributos do sistema a serem melhorados, e nas colunas estão esses mesmos 39 parâmetros, mas agora como resultados indesejados. Essa matriz proposta por Altshuller pode ser encontrada em várias fontes, como no trabalho de Mazur (1995). Uma vasta literatura técnica sobre esses aspectos e vários *softwares* utilizados para facilitar o processamento de métodos no domínio da TRIZ podem ser encontrados no endereço eletrônico: <http://www.osaka-gu.ac.jp/php/nakagawa/TRIZ/eTRIZ>.

Visando explicar o procedimento para a aplicação da matriz de contradição (Tabela 6.8), descreve-se um exercício ilustrativo para o aumento de velocidade (parâmetro 9). Neste caso o peso do objeto em movimento (parâmetro 1) é o parâmetro conflitante. O peso deveria ser diminuído para poder aumentar a velocidade de um sistema. Para resolver esse conflito podem ser usados os princípios inventivos seguintes: 2 (Extração, remoção: remover ou separar uma parte ou propriedade perturbadora do objeto; extrair somente a parte ou propriedade necessária.); 13 (Inversão: implementar a ação oposta ao especificado; mover a parte fixa e fixar a parte móvel; inverter a posição de objetos); 28 (Substituição de meios mecânicos: substituir sistemas mecânicos por ópticos, acústicos e eletrônicos; usar campos elétricos, magnéticos ou eletromagnéticos para interagir com objetos; e substituir campos); e 38 (Uso de oxidantes fortes: substituir ar normal por ar enriquecido ou ar enriquecido por oxigênio; tratar um objeto no ar ou no oxigênio, com radiação ionizante; e usar oxigênio ionizado). Como se pode observar, os princípios inventivos enumerados em cada célula dão idéias ou oferecem questionamentos para que se encontrem soluções para o conflito entre os dois parâmetros.

Tabela 6.8 Matriz de contradições

Resultados indesejados: conflitos	1 - Peso do objeto em movimento	2 - Peso do objeto em repouso	3 - Comprimento do objeto em movimento	4 - Comprimento do objeto em repouso	5 - Área do objeto em movimento	6 - Área do objeto em repouso	...	37 - Complexidade de controle	38 - Nível de automação	39 - Produtividade
1 - Peso do objeto em movimento			15, 8, 29, 34		29, 17, 38, 28		...	28, 29, 26, 32	26, 35, 18, 19	35, 3, 24, 37
2 - Peso do objeto em repouso				10, 1, 29, 35		35, 30, 13, 2	...	25, 28, 17, 15	2, 26, 35	1, 28, 15, 35
3 - Comprimento do objeto em movimento	8, 15, 29, 34				15, 17, 4		...	35, 1, 26, 24	17, 24, 26, 16	14, 4, 28, 29
4 - Comprimento do objeto em repouso		35, 28, 40, 29				17, 7, 10, 40	...	26		30, 14, 7, 26
5 - Área do objeto em movimento	2, 17, 29, 4		14, 15, 18, 4				...	2, 36, 26, 18	14, 30, 28, 33	10, 26, 34, 2
6 - Área do objeto em repouso		30, 2, 14, 18		26, 7, 9, 39			...	2, 35, 30, 18	23	10, 15, 17, 7
7 - Volume do objeto em movimento	2, 26, 29, 40		1, 7, 4, 35		1, 7, 4, 17		...	29, 26, 4	35, 34, 16, 24	10, 6, 2, 34
8 - Volume do objeto em repouso		35, 10, 19, 14	19, 14	35, 8, 2, 14			...	2, 17, 26		35, 37, 10, 2
9 - Velocidade	2, 28, 13, 38		13, 14, 8		29, 30, 34		...	3, 34, 27, 16	10, 18	
10 - Força	8, 1, 37, 18	18, 13, 1, 28	17, 19, 9, 36	28, 10	19, 10, 15	1, 18, 36, 37	...	36, 37, 10, 19	2, 35	3, 28, 35, 37
11 - Tensão, pressão	10, 36, 37, 40	13, 29, 10, 18	35, 10, 36	35, 1, 14, 16	10, 15, 36, 25	10, 15, 35, 37	...	2, 36, 37	35, 24	10, 14, 35, 37
...
36 - Complexidade do objeto	26, 30, 34, 36	2, 36, 35, 39	1, 19, 26, 24	26	14, 1, 13, 16	6, 36	...	15, 10, 37, 28	15, 1, 24	12, 17, 28
37 - Complexidade de controle	27, 26, 28, 13	6, 13, 28, 1	16, 17, 26, 24	26	2, 13, 15, 17	2, 39, 30, 16	...		34, 21	35, 18
38 - Nível de automação	28, 26, 18, 35	28, 26, 35, 10	14, 13, 17, 28	23	17, 14, 13		...	34, 27, 25		5, 12, 35, 26
39 - Produtividade	35, 26, 2, 37	28, 27, 15, 3	18, 4, 28, 38	30, 7, 14, 26	10, 26, 34, 31	10, 35, 17, 7	...	35, 18, 27, 2	5, 12, 35, 26	

O método dos princípios inventivos, descrito anteriormente, é baseado na tecnologia, isto é, foi desenvolvido pela observação da prática de resolução de problemas descritos nos pedidos de patentes. Os princípios inventivos listados em cada célula da matriz de contradições da Tabela 6.7 não se aplicam a todo tipo de problema. Esses princípios eram os que mais freqüentemente apareciam como formas de resolver o respectivo conflito,

em problemas dos mais diferentes domínios da tecnologia. Os parâmetros relacionados na Tabela 6.6, os princípios inventivos da Tabela 6.7 e a matriz de contradições na Tabela 6.8 foram propostos por Altshuller na década de 1970. Podem-se questionar seus dados e objetivos, mas o procedimento e muitas informações ali contidas são ainda atuais e válidos.

6.4 Resumo

No presente capítulo procurou-se dar uma visão geral do que é criatividade e de alguns métodos tradicionalmente utilizados para a geração de soluções. Neste contexto observaram-se os seguintes principais aspectos:

1. *O estudo da criatividade é importante para profissionais que atuam na área de desenvolvimento de produtos porque trata do processo de geração de soluções, dos métodos de criatividade e das características de pessoas criativas.*
2. *O processo criativo pode ser desdobrado nas seguintes etapas: preparação com o levantamento das informações e formulação do problema; esforço concentrado para a busca de soluções alternativas; seleção das idéias; revisão e avaliações diante das restrições do problema.*
3. *Para que indivíduos, ou equipes de trabalho, sejam criativos no processo de geração de soluções é necessário que se superem as barreiras da criatividade, adotando as seguintes orientações: definir e formular corretamente o problema; adotar métodos alternativos para geração de soluções; procurar por potenciais nos diferentes domínios ou pela interdisciplinaridade e multidisciplinaridade do conhecimento; reconhecer que soluções altamente criativas são obtidas, também, com tecnologias simples e de indivíduos não especializados; procurar por generalizações das soluções e sem ter preocupações com resultados imediatos; evitar a crítica e a dependência excessiva do conhecimento de outros; procurar a multiplicidade e a variedade de soluções, sem julgamentos prematuros.*
4. *A quantidade de métodos de criatividade ou de geração de soluções encontrada na literatura é muito grande e eles podem ser classificados em intuitivos, psicológicos ou sistemáticos. Entre os métodos intuitivos há: brainstorming; método de Delphi; analogias; método sinético; listagem de atributos; e método da instigação de questões. Entre os métodos sistemáticos mais citados e usados tem-se: método morfológico; análise do valor; método dos princípios inventivos; e o método da síntese funcional, sendo este último apresentado no Capítulo 7.*

5. *Alguns métodos são mais apropriados para problemas de geração de soluções inovadoras e outros mais adequados para melhoramentos de produtos existentes. Para o primeiro tipo de problema indicam-se os métodos seguintes: brainstorming; método de Delphi; analogias; método sinético; método morfológico; e método da síntese funcional. Para o caso de problemas de melhoramentos de produtos existentes, os mais apropriados são: listagem de atributos; método da instigação das questões; análise do valor; e método dos princípios inventivos.*
6. *Todos os métodos apresentados neste capítulo induzem o indivíduo ou grupo de trabalho a gerar uma quantidade de idéias e alternativas, o que sempre deve ser o objetivo inicial. Com várias alternativas existe maior probabilidade de surgir uma solução boa, inovadora, ou, ao menos, leva à tarefa ou ao exercício de combinar, comparar e selecionar soluções.*
7. *É difícil afirmar qual o melhor método. Isso depende do grupo com o qual se adapta melhor e também do tipo de problema a resolver, se é um melhoramento de produto existente ou um produto totalmente novo. O que se recomenda é conhecer e treinar nos diferentes métodos e, quando por meio de um deles for difícil encontrar a solução, recomenda-se usar outros métodos. Cada método enfoca o problema de forma diferente.*

6.5 Problemas e temas de discussão

1. Por que é importante para profissionais que atuam na área de desenvolvimento de produtos o estudo do processo criativo e dos chamados método de criatividade?
2. Quais as etapas em que o processo criativo pode ser desdobrado?
3. Segundo Thomas Edson, para ser criativo o indivíduo deve ter 5% de inspiração e 95% de transpiração. Comente essa afirmação.
4. Quais são as características principais de indivíduos mais criativos?
5. Segundo a sua opinião, é mais importante para um indivíduo ser criativo, apresentar as chamadas características típicas de pessoas criativas ou conhecer o processo da criatividade e os chamados métodos de criatividade?
6. Diz-se que duas cabeças pensam mais do que uma. Que complicações ocorreriam nos trabalhos em equipe sem métodos sistematizadores de procedimentos inventivos?

7. Na grande maioria dos métodos de criatividade, tem-se por objetivo básico a geração de soluções alternativas, inicialmente, com mais variedade e sem muita preocupação com a viabilidade. Faça comentários sobre as vantagens e desvantagens dessa orientação.
8. Quais são as características básicas do método de *brainstorming*?
9. Tem-se constatado que as pessoas que se mostraram muito criativas vêm utilizando, na solução de problemas técnicos, analogias com soluções de outros domínios ou campos de conhecimentos. Apresente exemplos de sistemas ou instrumentos técnicos nos quais os inventores provavelmente tenham adotado analogias com princípios do mundo animal e vegetal.
10. Entre os métodos de criatividade estudados neste capítulo, alguns são mais apropriados para gerar soluções para problemas ou produtos novos e outros para o melhoramento ou evolução de produtos existentes. Identifique dois métodos em cada uma dessas categorias e justifique as inclusões.
11. Quais os princípios existentes na natureza que já foram utilizados para resolver problemas técnicos? Exemplifique, esquematize e comente.
12. Quais são as principais diferenças entre o método de *brainstorming* e o método sinético?
13. Descreva os principais passos do método da TRIZ.
14. Quais são os principais benefícios que o método da TRIZ traz em relação aos outros métodos descritos neste capítulo?

6.6 Referências bibliográficas

- BACK, N. *Metodologia de projeto de produtos industriais*. Rio de Janeiro, Guanabara Dois, 1983.
- BAXTER, M. *Projeto de produto: guia prático para o desenvolvimento de novos produtos*. Trad. de Itiro Iida. São Paulo, Edgard Blücher, 1998.
- BONSIEPE, G.; KELLNER, P.; POESSNECKER, H. *Metodologia experimental: desenho industrial*. Brasília, CNPq/Coordenação Editorial, 1984.
- CARVALHO, M. A.; BACK, N. "Rumo a um modelo para a solução de problemas nas etapas iniciais do desenvolvimento de produtos". In:

- Anais do II Congresso Brasileiro de Gestão do Desenvolvimento de Produto – CBGDP*. 2000. São Carlos, SP.
- CENTRO DE PESQUISAS E PROJETOS DE TREINAMENTO. “Análise do valor”. Fundação Volkswagen, 1981. 124p.
- COMELLA, T. M. “How to manage creativity without killing it”. *Machine Design*. Mar/1975, p.68-72.
- DI BARTOLO, C. *Strutture naturale e modelli bionici*. Melano, Instituto Europeo di Design, 1981.
- DICK, M. “Creative problem-solving for engineers”. *Machine Design*. Fev/1985, p.97-101.
- DIXON, J. R. *Design engineering: inventiveness analysis and decision making*. McGraw-Hill, 1966.
- HOLT, K. “Brainstorming – from classics to electronics”. In: *Annals of International Conference on Engineering Design – ICED*. Praga, v.1, 1995, p.279-284.
- HOUAISS, A.; VILLAR, M. S. *Dicionário Houaiss da língua portuguesa*. Rio de Janeiro, Objetiva, 2001.
- MAZUR, G. “Theory of inventive problem solving (TRIZ)”. 1995. Disponível em: URL: <http://www.mazur.net/triz>; acessado em 26/1/2007.
- NAKAGAWA, T. “TRIZ: Theory of inventive problem solving – understanding and introducing it”. 1998. Disponível em: URL: <http://www.osaka-gu.ac.jp/php/nakagawa/TRIZ/eTRIZ/eIntroduction980517.-html>; acessado em 14/1/2004.
- OTTO, K. N.; WOOD, K. L. *Product design: techniques in reverse engineering and new product development*. New Jersey, Prentice Hall, 2001.
- RAMOS, J. “A biônica aplicada no projeto de produto”. Florianópolis, 1993. Dissertação (mestrado). PPGEP – UFSC.
- RAUDSEPP, R. “Stimulating creative thinking”. *Machine Design*. Jun/1983, p.75-78.
- RAUDSEPP, E. “Forcing ideas with synectics: a creative approach to problem solving”. *Machine design*. Out/1969, p.134-139.
- RESIN, P. R. SÁ. “Desenvolvimento do protótipo de uma máquina desoperculadora de favos de mel”. Florianópolis, 1989. 168p. Dissertação (mestrado). PPGEM – UFSC.
- SANDOR, N. “Seven dangers of designers overspecialization”. *Mechanical Engineering*. Out/1974, p.23-28.

Capítulo 7

Método da síntese funcional e engenharia reversa

7.1 Introdução

No Capítulo 2 foram mostradas várias formas de estruturar o processo de projeto e, entre elas, podem-se destacar as proposições de Pahl e Beitz (1996), VDI 2221 (1985) e PRODIP. Ao examinar os itens 5 a 7 da Tabela A2, do Apêndice, verifica-se que nas atividades de busca de soluções ou de criatividade segue-se um procedimento bem definido, compreendendo os seguintes passos:

- formular o problema ou a função global do sistema em desenvolvimento;
- estabelecer uma estrutura ou um fluxo de funções do problema ou processo;
- pesquisar ou criar princípios de solução alternativos para cada função da estrutura;
- combinar um princípio de cada função da estrutura para formar concepções alternativas para o problema global;
- selecionar as concepções viáveis.

Ao método que segue esse procedimento, apropriado para o desenvolvimento da concepção de sistemas técnicos, denominou-se de método da síntese funcional. Sistemas técnicos, descritos em mais detalhes no item 7.2, são equipamentos ou aparelhos que têm por função executar um pro-

cesso de transformação ou uma seqüência de operações. Como exemplos desses sistemas tem-se: instrumento de medição de uma grandeza mecânica, que capta um sinal através de um transdutor, passa por uma série de operações de transformação e de transmissão e, finalmente, é registrado numa forma analógica ou digital; máquina-ferramenta com a função de fabricar peças, que se realiza por meio de operações de transformações das entradas, na forma de material, energia e informações nas saídas, sendo a peça processada a principal saída; e, como exemplo de maior porte, uma termoelétrica, que transforma a energia contida no carvão ou petróleo em energia elétrica, e a linha de transmissão, que conduz a energia elétrica por uma seqüência de ações até a residência.

O presente capítulo contém, em primeiro lugar no item 7.2, uma descrição das características principais dos sistemas técnicos para os quais o uso do método da síntese funcional para a geração da concepção é o mais apropriado. No item 7.3 são descritos os vários passos do método da síntese funcional, desde a formulação da função geral do problema, o desdobramento dessa função em estruturas de funções parciais ou elementares e a busca por princípios de solução até a geração de concepções alternativas de um sistema técnico novo. No item 7.4 é apresentado um estudo de caso de aplicação do método da síntese funcional.

Na prática industrial é mais freqüente uma atividade de reprojeto, para melhorar a qualidade de seus produtos ou mesmo efetuar cópias de produtos existentes. Efetuar de forma apropriada o reprojeto de um produto pode ser visto como um processo inverso do método da síntese funcional, que é uma engenharia reversa descrita no item 7.5.

No item 7.6 são resumidos os principais aspectos estudados neste capítulo. Finalmente, no item 7.7, são formulados problemas a resolver e temas de discussão.

7.2 Fundamentos de sistemas técnicos

Os exemplos de sistemas técnicos, mencionados no item anterior, apresentam certas características facilmente identificáveis. Nesses sistemas, desde os mais simples, como um motor elétrico, até um complexo sistema de geração e distribuição de energia elétrica, as características típicas evidenciam-se da seguinte forma:

- consiste em uma combinação de elementos ou partes que forma um todo complexo que tem ou serve a um propósito;
- esse propósito pode ser declarado por uma função geral ou global;
- a função global do sistema pode ser desdobrada, sucessivamente, em funções de complexidade menor até o nível de funções elementares;
- esses sistemas técnicos podem ser considerados como processos de transformação sucessiva do estado e das propriedades das grandezas de entrada nas de saída;
- normalmente, os sistemas técnicos podem ser considerados como processos de transformação de estado e das propriedades de grandezas do tipo de energia, material e informações.

Para a geração de concepções de sistemas de processos de transformação de energia, material e informação, como exposto anteriormente, tem-se desenvolvido uma sistemática bem definida da síntese funcional, como descrita a seguir.

7.3 Método da síntese funcional

O método da síntese funcional teve sua origem na década de 1970, nos trabalhos de pesquisadores alemães, tais como: Koller (1985), Pahl e Beitz (1996), Rodenacker (1991) e Roth (1982). Este método tem sido largamente utilizado nos trabalhos desenvolvidos no NeDIP. É um dos métodos de geração de concepções mais referenciados na literatura e, como o método da TRIZ, tem potencial para o desenvolvimento de sistemas computacionais para a geração de concepções (Fiod Neto, 1993; Hundal, 1990).

O método da síntese funcional desenvolve-se em cinco passos principais descritos nos itens seguintes.

7.3.1 Formulação da função global do sistema técnico

O primeiro passo do método é a definição da função global do problema para o qual se procura uma solução. O ponto de partida é, a partir das especificações de projeto obtidas conforme descrito no Capítulo 5, estabelecer uma formulação ou declaração condensada da função global do sistema e as interfaces com outros sistemas técnicos e o meio ambiente (Figura 7.1).

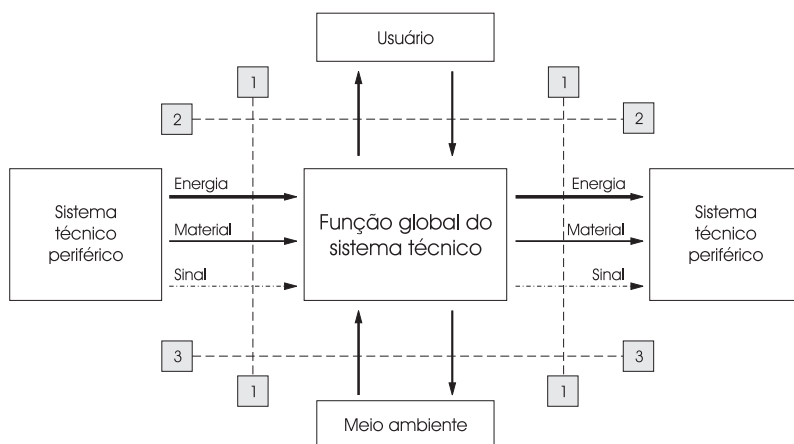


Figura 7.1 Formulação da função global do sistema.

No bloco central da Figura 7.1 tem-se a declaração de função do sistema sob uma forma condensada e abstrata, sem nenhuma indicação de como resolver o problema. Como exemplo, essa declaração abstrata pode ser a sentença seguinte: “medir continuamente a quantidade de líquido em um reservatório de tamanho e forma não especificados, para ser monitorada a distância”. Esse mesmo problema poderia ser declarado de modo mais condensado ainda, verbo e substantivo: “medir e indicar a quantidade de líquido”.

O passo seguinte da formulação do problema é a definição das interfaces do sistema, destacando as seguintes: (1) interfaces com sistemas técnicos periféricos; (2) interface com o usuário; e (3) interface com o meio ambiente.

Quase sempre um sistema técnico a ser desenvolvido faz parte de outros sistemas técnicos. As entradas e saídas necessárias desses sistemas técnicos definem as interfaces (1) do sistema em estudo.

A interface (2) foi destacada devido a sua importância e para que não seja esquecida pelo projetista desde o início. Trata-se do controle que o usuário quer ter sobre o sistema, comandos, informações de entrada e saída para atuação e identificação do estado de operação e manutenção.

Por último tem-se destacada a interface (3), na qual o projetista identifica quais são as possíveis influências do meio ambiente. Neste caso, busca-se um projeto robusto e ecologicamente adequado.

Tem-se agora o problema formulado pela função global e, no seu contorno, as restrições de solução e todas as entradas e saídas.

7.3.2 Desenvolvimento da estrutura funcional do sistema técnico

Após examinar o bloco central da Figura 7.1, que é repetido na Figura 7.2, busca-se a solução para a função global que transforma entradas em saídas, considerando evidentemente as interfaces delimitadoras da solução. Qualquer solução que atenda às condições de restrições ou de interfaces (as especificações de projeto) é uma solução alternativa para o problema.

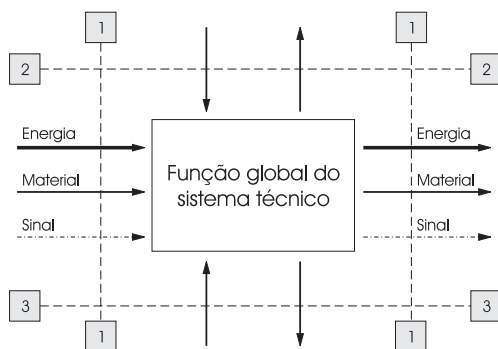


Figura 7.2 Função global do sistema técnico.

Difícilmente se consegue visualizar ou encontrar uma solução para a função global, que transforma diretamente as entradas em saídas desejadas, como esquematizado na Figura 7.2. Tomando novamente o exemplo da termoelétrica, não é fácil visualizar a transformação direta da energia química do carvão no pátio da usina, na energia elétrica que chega à residência. Mas, se a função global for decomposta sucessivamente em funções mais simples, funções parciais e até ao nível de funções elementares, o problema já pode parecer mais fácil. De uma forma simplificada, a energia química é transformada em energia calorífica pela combustão do carvão; a energia calorífica é transferida para a água, que se evapora; através da turbina, a energia térmica do vapor é transformada em energia mecânica; o eixo de saída da turbina aciona o gerador que transforma a energia mecânica em energia elétrica; na subestação a tensão é elevada para transmissão numa linha de alta tensão, atravessando vales e montanhas, até chegar à subestação próxima da cidade, onde a tensão é rebaixada, transmitida ao transformador próximo, onde a tensão é novamente rebaixada, e então transmitida para a rede de consumidores.

O desdobramento da função global nas suas funções parciais ou elementares normalmente é fácil em um sistema existente ou conhecido. Basta seguir o fluxo de energia, material ou informação e, assim, montar a estrutura de funções que ligam as entradas às saídas.

Para um problema novo ou projeto de inovação, o desenvolvimento da estrutura funcional do sistema não é uma tarefa fácil, mas também se pode dizer que é um dos passos fundamentais para uma boa concepção. Nos últimos anos, têm sido grandes os esforços de pesquisa para encontrar um método racional, lógico, eficiente e de fácil informatização para o desenvolvimento e a representação da estrutura funcional, mas os resultados ainda não são satisfatórios, como se pode observar nas seguintes referências: Back (1983); Koller (1985); Rodenacker (1991); Ullman (1992); Fiod Neto (1993); Pahl e Beitz (1996); Hundal (1997); e Ogliari (1999).

A primeira dificuldade é a identificação das funções que o sistema deverá ter e, em seguida, como arranjar aquelas funções para representar funcionalmente o sistema técnico. Esses procedimentos, em geral, são difíceis de ser capturados, descritos e implementados na forma de princípios e metodologias para o ensino e apoio computacional. Algumas diretrizes que podem ser seguidas são as seguintes:

1. Decompor a função global numa estrutura com subfunções, ou funções parciais, identificadas nas especificações de projeto ou nas interfaces (Figura. 7.3). Nessa figura, FG é a função global, FP as funções parciais ou subfunções em diferentes níveis de complexidade, e as FE são as funções elementares, menos complexas. Na prática corrente, tal estrutura é elaborada levando-se em conta a experiência dos projetistas em outros projetos de natureza semelhante, analogias com sistemas existentes, *brainstorming*, técnica de análise de sistema funcional, FAST (*Functional Analysis System Technique*) (Crow, 2002), descrição do processo do sistema em desenvolvimento pelo método IDEF0 (*Integration Definition for Function Modeling*) (Baldwin, 2001) ou composição desses métodos. Nessa decomposição, em um segundo nível de complexidade, além de decompor o bloco, deve-se procurar decompor a declaração da função global e, para isso, as subdeclarações devem ser as mais condensadas, na medida do possível, e limitar-se a um verbo e um substantivo. Essas declarações podem ser inscritas nos blocos representativos das funções. A seqüência e a conexão entre essas funções podem ser representadas

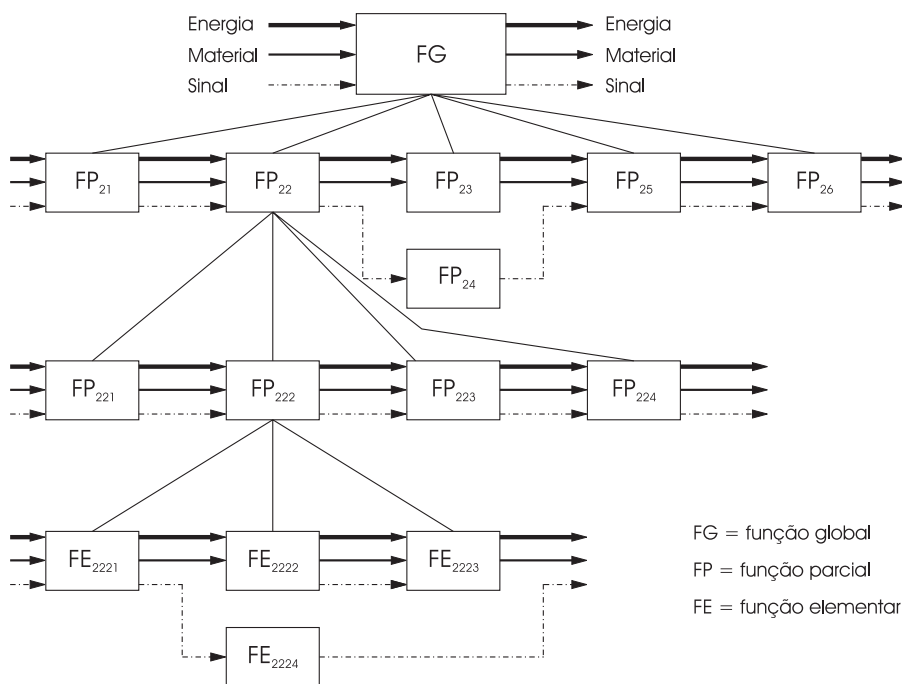


Figura 7.3 Desdobramento da função global na estrutura funcional do sistema.

- na forma da Figura 7.3 ou, então, com uma seta simples e sobre ela a descrição das variáveis transmitidas.
2. Se o apropriado entendimento de uma função parcial no segundo nível de complexidade não for alcançado ou não permitir a identificação de um princípio de solução da função, esta deve ser decomposta em níveis de complexidade cada vez menores até o nível de funções elementares.
 3. As entradas e saídas de cada bloco devem ser identificadas, na medida do possível, quanto ao tipo. Nesse estágio, não é necessária uma identificação quantitativa. Sobre as setas de união das funções parciais ou elementares, pode-se indicar o tipo de energia, material ou sinal.
 4. É adequado iniciar o trabalho com atenção no fluxo principal que, em geral, determina a função do sistema e é mais facilmente identificado a partir das especificações de projeto. Os fluxos auxiliares ajudam na elaboração futura da estrutura. A estrutura completa pode ser obtida por um processo iterativo, ou seja, parte-se do fluxo

principal de energia, material e informação, retornando e complementando a estrutura com fluxos auxiliares.

5. Nas declarações de funções parciais e até o nível de funções elementares deve-se lançar mão o mínimo possível de diferentes pares de verbo-substantivo para declaração das funções. Ao examinar os sistemas em geral, as ações ou funções podem ser descritas com poucos verbos técnicos, como por exemplo: transformar; transmitir; guiar; misturar; interromper; ligar etc. No item 7.3.3, a seguir, esse aspecto é estudado em mais detalhes, e são apresentadas sugestões de normalização e representação de funções típicas de sistemas técnicos.
6. No desdobramento sucessivo da função global (Figura 7.3), deve-se considerar vários aspectos. Em cada nível de complexidade da seqüência de desdobramento, é preciso verificar se não existem princípios de solução ou módulos já usados em outros sistemas que podem ser adaptados ou empregados para uma dada função parcial. Por exemplo, se para a função parcial FP_{21} (Figura 7.3) já existe um subsistema que pode ser adaptado ou usado diretamente, não há necessidade de continuar com o desdobramento dessa função. Por análise ou analogia de sistemas conhecidos é possível derivar variantes adicionais da estrutura funcional total ou parcial, dividir ou combinar subfunções, variar o arranjo dessas funções e variar as ligações, em paralelo, em série ou em ponte.
7. Como já foi observado, existe a possibilidade de serem obtidas diversas estruturas funcionais alternativas, ao menos parcialmente. Cada uma dessas estruturas é uma concepção potencial alternativa do sistema em desenvolvimento; deve-se compará-las com as especificações de projeto, selecionar e otimizar a melhor estrutura. Esse aspecto será discutido em item posterior.

Para tornar mais claro esse procedimento, serão apresentados dois exemplos práticos. O primeiro trata do desenvolvimento de estruturas funcionais alternativas de um instrumento de medição de combustível em um reservatório e o segundo, da estrutura funcional do protótipo de reator para processamento, por plasma, de materiais sinterizados, desenvolvido por Mendes (2001).

No primeiro caso, a elaboração da estrutura funcional trata da medição e indicação da quantidade de fluido em um reservatório de tamanho

e forma não especificados, que pode ser usado em diferentes tipos e tamanhos de tanques. Este caso é uma adaptação de um exemplo apresentado por Pahl e Beitz (1996).

Na Figura 7.4 estão indicados um resumo da sucessiva formulação do problema na segunda coluna e, na terceira, o estágio de desdobramento da estrutura funcional. Acompanhando os vários estágios de desenvolvimento da estrutura funcional tem-se:

- 1º estágio: é indicada a função global de medir e indicar a quantidade de líquido num reservatório, tendo como entrada e saída uma informação ou sinal;
- 2º estágio: a função global pode ser decomposta em uma função parcial de receber um sinal. Este deve ser transmitido até um dispositivo que tem a função de indicar o sinal;
- 3º estágio: para transmitir e indicar o sinal deve haver a necessidade de mudar seu tipo. Por exemplo, um sinal mecânico é transformado em sinal elétrico: tem-se então a função de transformar o sinal;
- 4º estágio: como o instrumento deve ser usado para medir a quantidade de líquido em reservatórios de diferentes tamanhos, deve-se prever uma função de ajustar o sinal;
- 5º estágio: se o instrumento deve ser usado para medir a quantidade de líquido em reservatórios de formas não definidas *a priori*, então será necessário introduzir uma função de corrigir o sinal;
- 6º estágio: para as diferentes funções é necessário suprir com energia externa e acrescentar mais esta função à estrutura anterior;
- 7º estágio: durante o desenvolvimento da estrutura funcional, é interessante examinar para quais funções ou conjuntos de funções já se tem, no mercado ou dentro da empresa, módulos ou subsistemas que poderiam ser utilizados ou integrados ao sistema em desenvolvimento. Como mostrado neste estágio, se do conjunto de funções delimitado pelo retângulo "a" houver uma saída elétrica e se dispuser de um instrumento de indicação com esta entrada, então não há necessidade de desenvolver todo o sistema representados pelas funções do quadro "b".

No segundo caso, o reator de processamento por plasma, tem-se a descrição do desenvolvimento da estrutura funcional para processar bateladas de componentes de materiais metálicos sinterizados (Mendes, 2001).

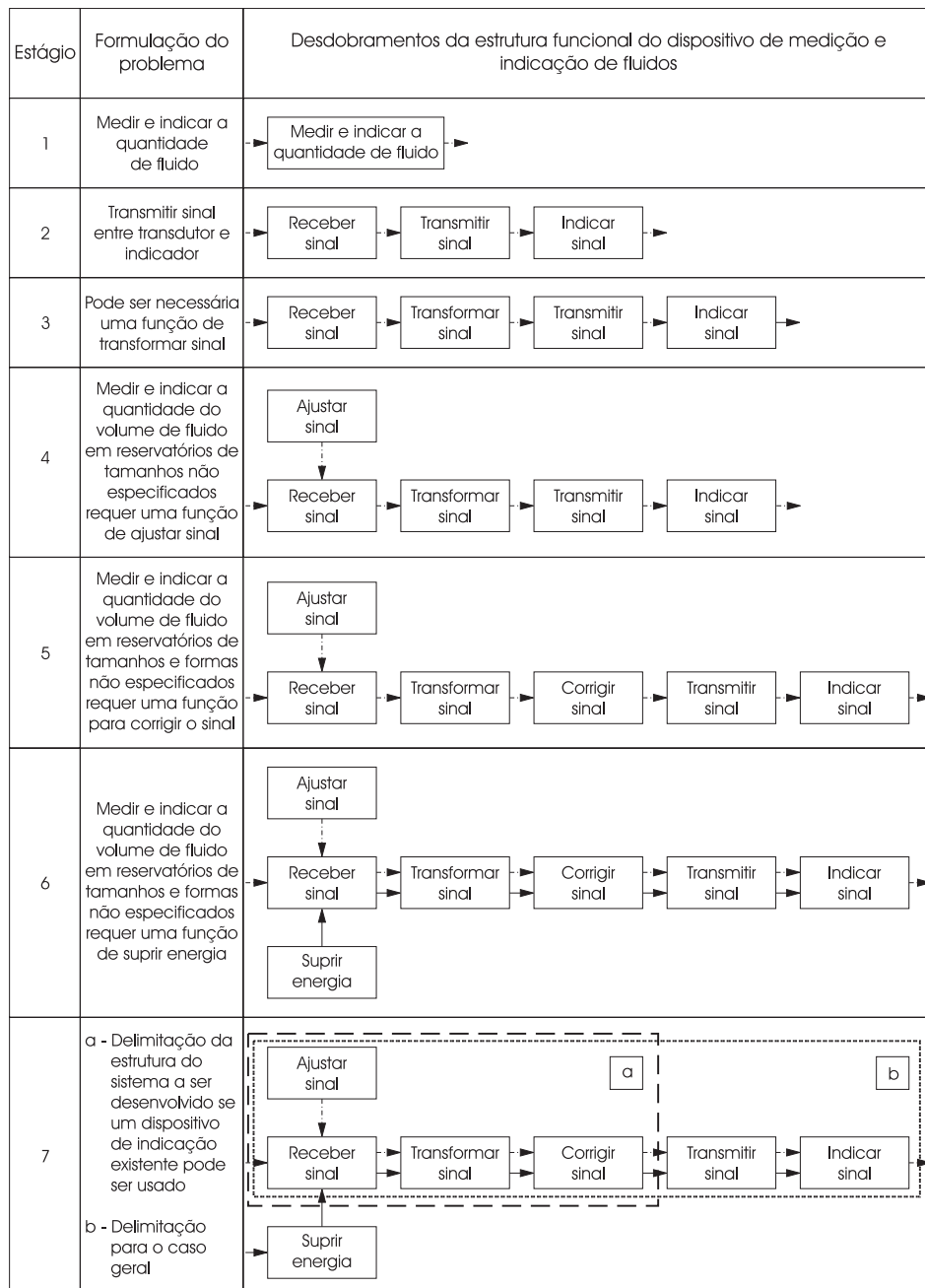


Figura 7.4 Desenvolvimento da estrutura funcional do sistema de medição de volume em um reservatório.

Foi feita uma descrição do sistema técnico do reator por meio de uma árvore de funções e subfunções parciais. Com o modelo funcional do sistema foram propostas soluções para as subfunções que, integradas, realizam a função global.

De acordo com Mendes (2001), a estrutura funcional desenvolvida contém um conjunto de funções, ou árvore de funções (Figura 7.5). Devido à natureza desse caso, algumas adaptações foram necessárias na condução dessa etapa, e podem ser interpretadas como uma variação localizada do método da síntese funcional na sua forma original. As adaptações se devem ao fato de o sistema ser formado por duas partes: um núcleo, onde ocorrem as transformações dos materiais (que caracterizam o processamento), e um conjunto de sistemas de suporte periféricos para comando e controle do processo. No contexto da descrição em funções parciais, ficou evidenciado o predomínio da independência entre as funções parciais referentes à periferia do sistema, sendo que uma decomposição até segundo nível se mostrou suficiente para associar princípios de solução. As funções parciais relacionadas ao núcleo apresentam um certo grau de interdependência, o que é explicável, principalmente, pelo acoplamento ditado por relações geométricas entre elementos que dividem um mesmo espaço (no caso, o interior de uma câmara de vácuo). No núcleo do sistema, as funções parciais necessitaram de decomposição até o terceiro nível. Enquanto que na associação de princípios de solução às funções parciais da periferia foi possível adotar sistemas fechados existentes a serem integrados como blocos, no núcleo foi necessário aprofundar a análise funcional para que fosse possível desenvolver a solução em seus detalhes.

As funções parciais de segunda ordem relacionadas ao núcleo foram tratadas em conjunto com aquelas de segunda ordem relacionadas à periferia. Assim, pôde-se associar a essas funções princípios de solução da mesma ordem de complexidade, usados na composição de alternativas conceituais para o reator piloto completo.

Embora essa análise seja aplicável ao caso do reator, não há vantagem em estender o desmembramento a um nível de detalhamento da ordem de funções e operações elementares, pois verificou-se que os princípios de solução aplicáveis à maioria dos subsistemas incorporariam conjuntos fechados muito complexos. Por exemplo, a função obtenção do vácuo é desempenhada por um sistema de bombeamento, comercialmente disponível, não sendo interessante, do ponto de vista do projeto, explicitar

a decomposição desse subsistema, mas sim integrá-lo como um bloco ao sistema completo.

A função total do reator piloto é o processamento de materiais metálicos por plasma: um sistema que recebe material bruto e devolve material processado. Com as informações reunidas, foi idealizada a estrutura de funções parciais (Figura 7.5) em que as funções sombreadas correspondem ao núcleo do sistema. Na seqüência, tem-se uma breve descrição das funções necessárias ao sistema, que foram identificadas a partir das especificações de projeto, definidas na fase do projeto informacional e apresentada conforme desenvolvido por Mendes (2001). Na descrição a seguir, as funções de segundo nível de desdobramento são apresentadas em **negrito** e as de terceiro nível, em **negrito itálico>**.

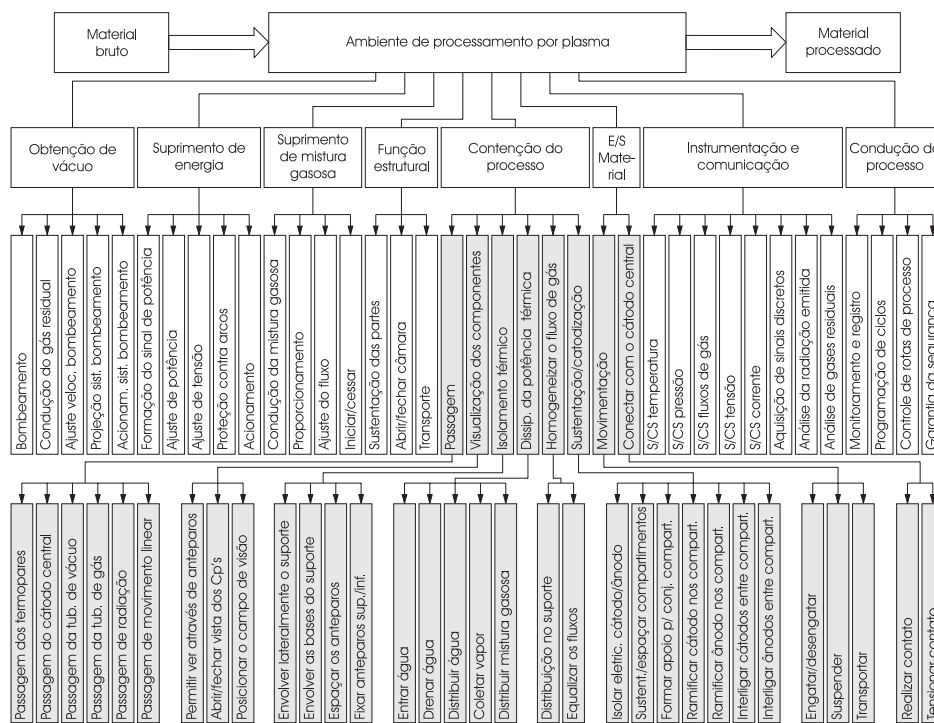


Figura 7.5 Estrutura funcional de um reator para processamento por plasma de materiais sinterizados (Mendes, 2001).

Obtenção de vácuo

A baixa pressão necessária ao processo é mantida através do *bombaamento* contínuo do gás. A tubulação que realiza a *condução do gás*, desde

a câmara até a bomba de vácuo, deve apresentar a mínima restrição ao escoamento. O *ajuste da velocidade de bombeamento* é feito intercalando-se uma condutância variável na tubulação de vácuo. Para implementar um laço de controle de pressão, é necessária uma servo-válvula, com a qual se faz o ajuste da condutância para que se mantenha a pressão desejada na câmara.

Um elemento de *proteção do sistema de bombeamento* se faz necessário para prevenir danos em caso de falta de energia. Em tal situação, o vácuo da câmara passa a sugar do ambiente do sistema de bombeamento, podendo causar a contaminação da câmara com óleo da bomba.

O *acionamento do sistema de vácuo* pode ser manual. Para que se possa automatizar os procedimentos de iniciação e encerramento dos ciclos de processamento, é desejável haver a possibilidade de acionamento remoto.

Suprimento de energia

O controle da transferência de energia da fonte de potência para o plasma depende de um ajuste de intensidade. A natureza da fonte de potência está associada à *forma do sinal de potência* requerida, que implica na forma de se realizar o *ajuste de potência*.

Para gerar o plasma de corrente contínua, necessário aos processos considerados, as alternativas consideradas são relacionadas às formas de onda constante ou pulsada. O problema da entrada da descarga em regime de arco, com o aumento localizado da densidade de corrente na descarga, leva à escolha de uma fonte de potência do tipo pulsada quadrada.

É necessário também um *ajuste do nível de tensão* empregado para que se possa regular a intensidade do campo elétrico na bainha catódica do plasma. Ainda, um sistema automático de *proteção contra arcos* que possam ocorrer no plasma deve estar integrado à fonte de potência. O *acionamento* remoto da fonte é desejável para fins de automação.

Suprimento da mistura gasosa

A *condução da mistura de gases*, desde os cilindros até a câmara, pode ser feita com auxílio de uma tubulação, rígida ou flexível, de pequeno calibre, a exemplo das empregadas em sistemas de soldagem. A tubulação é interceptada por dispositivos que controlam a vazão mássica dos gases, permitindo o seu *proporcionamento* e o *ajuste do fluxo* total, renovando a atmosfera de processamento segundo uma taxa desejada. Ainda, esses dispositivos devem permitir *iniciar e cessar o fluxo*.

Função estrutural

A estrutura física do reator é responsável por aspectos diferentes como sustentação, movimentação e até mesmo desenho. O procedimento natural para o projeto de uma estrutura é fazer a verificação dos elementos que requerem *sustentação*, e então projetá-la de tal modo que passe por seus pontos de apoio e seja estável. A composição da estrutura deve incluir um sistema de *abertura e fechamento da câmara*, pois a massa integrada à carcaça torna difícil e/ou complexa a movimentação manual. Com a câmara aberta, os lotes de processamento podem ser deslocados em conjunto, desde que acomodados em um suporte adequado para tanto. A configuração desse suporte depende de características dos componentes a serem processados.

Outra função relacionada à estrutura é o *transporte* do sistema. A estrutura deve ser desmontável para não se incorrer em problemas com o deslocamento do conjunto de um local para outro, se necessário.

Contenção do processo

A câmara do reator é o volume delimitado pela carcaça, dentro da qual se faz o vácuo e onde o plasma se forma. Dentro da câmara tem lugar o processamento, em um espaço delimitado pelo volume dedicado ao suporte dos componentes a processar, definido como subcâmara de processamento.

Diversos elementos necessitam de *passagem* através da carcaça da câmara de vácuo, tais como: termopares, condutores de energia elétrica, tubulações de gás e de vácuo. Além destes, devem ser previstos visores (janelas para visualização dos componentes e espectroscopia óptica) e, ainda, uma tomada para espectrometria de massa. A possibilidade de visualização dos componentes durante o processo depende da abertura de um caminho através dos elementos interpostos, no caso as blindagens de radiação. Torna-se necessário, portanto, passar movimentos (lineares ou rotacionais) através da carcaça.

O sistema de *isolamento térmico* e os elementos auxiliares de construção, tais como espaçadores, isoladores, fixações, compartimentos e dispositivos auxiliares para visualização, influenciam na definição do volume do conjunto da câmara. Internamente, a carcaça deve ser em material quimicamente estável, pois a proximidade de uma superfície contaminada pode causar uma liberação gradual de substâncias indesejáveis no ambiente de processamento. Externamente, deve incorporar um sistema de

dissipação da potência térmica, para manter uma temperatura de equilíbrio térmico na carcaça compatível com a resistência das vedações. Durante a realização de processos no reator, é necessário que haja a maior *homogeneização do fluxo de gás* possível na subcâmara, com o propósito de que a renovação da atmosfera no processo seja semelhante nas imediações de cada componente no suporte. Para tanto, deve-se combinar adequadamente um difusor à geometria que for adotada para o suporte dos componentes. Uma função parcial de relevância maior é a *sustentação* dos componentes em processamento.

Entrada e saída de material

Os aspectos de *movimentação* das cargas de componentes devem ser previstos. A operação manual desses procedimentos é viável enquanto o trabalho for sobre quantidades pequenas (lotes pequenos) de componentes a processar. Lotes grandes podem requerer mão-de-obra significativa. Para esses casos, o emprego de um sistema de movimentação de conjuntos de peças é desejável, e este deve apresentar alguma forma prática de apagar e soltar o objeto de transporte. Deve-se prever a forma de *conectar com o cátodo central* o grupo do conjunto de componentes no momento do seu posicionamento no reator.

Instrumentação e comunicação

A instrumentação inclui, para cada parâmetro desejado, um elemento sensor, um cabo de transmissão de sinal, um módulo de condicionamento do sinal e um mostrador (*SICS – Sensor de Condicionamento de Sinal*). Geralmente, adaptações são necessárias, dependendo do caso. A boa qualidade da instrumentação é importante para implementar a automação dos ciclos de processamento.

Na *aquisição dos sinais de temperatura*, devem-se contornar alguns problemas. Um termopar em contato com o cátodo poderá, com relativa facilidade, apresentar em seus terminais um sinal de modo comum do mesmo valor da diferença de potencial aplicada entre o cátodo e o ânodo do sistema; para conectar um sinal de termopar a um sistema de aquisição de dados, é necessário isolar o sinal de modo comum, sob risco de se fechar um laço de terra. Além disso, a verificação da temperatura, com contato e em diferentes pontos no processo, exige a colocação de diversos termopares em diferentes locais do suporte, tornando possível obter informações sobre eventuais gradientes de temperatura entre esses locais. O emprego de pirometria óptica permite fazer medições em qualquer ponto

visível, mas, devido às dificuldades em se conhecer a emissividade real do material emitente, bem como as compensações referentes à absorção no caminho até o sensor, é necessário o uso de uma referência auxiliar (um ponto de temperatura conhecida), que pode ser a extremidade de um termopar em contato com o cátodo ou com a parte anódica, para se poder calibrar a medida do pirômetro ótico.

O *sensoreamento de pressão* pode ser feito com auxílio de dispositivos específicos para tais aplicações, como os manômetros capacitivos absolutos, muito versáteis, pois podem ser utilizados com qualquer tipo de gás ou mistura gasosa. Tipicamente, esses sensores já incluem o condicionamento necessário de sinal e podem ser usados no controle da pressão em malha fechada.

O *sensoreamento dos fluxos de gás* é uma das funções embutidas nos controladores de fluxo de massa. Os fluxos são mantidos por esses aparelhos dentro de uma estreita tolerância em relação ao *set-point* definido pelo usuário.

O *sensoreamento de tensão e corrente* pode ser feito diretamente a partir dos terminais dos eletrodos do reator, ou através da fonte de potência, prevendo-se saídas específicas de sinais condicionados contendo essas informações. Alternativamente, essas informações podem ser transmitidas para um computador por meio de uma interface de comunicação.

Os vários sistemas que seguem lógica discreta (ligado/desligado, aberto/fechado etc.) podem ser monitorados, incluindo-se as variáveis correspondentes (*aquisição de sinais discretos*) na programação de ciclos e na verificação da segurança. São exemplos: bombeamento ligado/desligado, câmara de vácuo aberta/fechada, entre outros.

Além das variáveis mencionadas, outras são passíveis de acompanhamento por técnicas de espectrometria de massa e espectroscopia óptica. Essas técnicas permitem obter, por *análise da mistura gasosa* durante o processo e *análise da radiação emitida*, respectivamente, informações indicativas da evolução relativa das quantidades presentes no plasma de espécies químicas de interesse tais como hidrogênio alfa (H^+), hidroxila (OH^-), argônio ionizado (Ar^+), compostos de carbono e outros.

Condução do processo

A condução dos processos executados no reator pode ser feita de forma automática. Um microcomputador, equipado com uma placa de aquisição de dados, interfaces de comunicação e *software* adequados, adquirindo

continuamente sinais da instrumentação do processo (*monitoramento*), armazena-os (*registro*), compara-os com os valores desejáveis a cada instante do ciclo e então comanda a atuação sobre o sistema (*controle*). Ou seja, um sistema de controle de processo. Diferentes processos podem ser executados *programando-se* adequadamente as rotas (perfis) de temperatura, pressão, fluxo dos gases e tensão aplicada.

As formas de atuação sobre o processo são quatro: tensão de pico da onda quadrada aplicada pela fonte; tempos 'ligado' e 'desligado' na onda quadrada; abertura da válvula controladora de pressão; e vazão dos gases para a câmara (proporcionamento e totalização da mistura).

Diversos aspectos envolvendo a *garantia da segurança* devem ser monitorados pelo sistema, que deve ser programado para alertar e/ou reagir apropriadamente em situações de anormalidade. Por exemplo, pode-se programar o bloqueio da abertura da câmara, enquanto um processo está em andamento, e impedir o acionamento do sinal elétrico de potência com a câmara aberta.

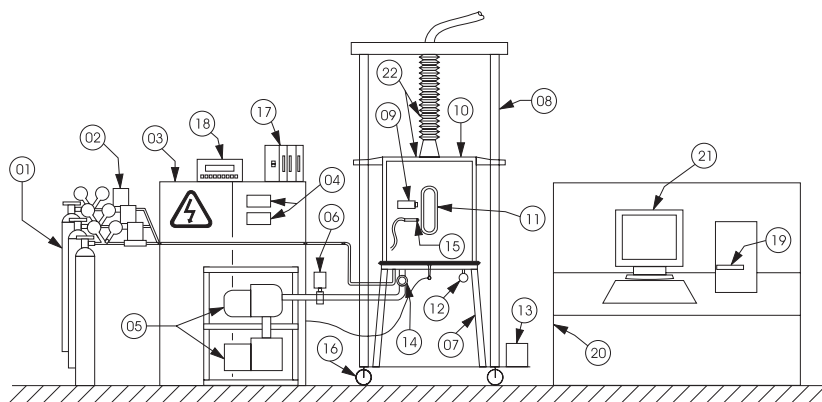
Tendo sido identificadas as funções do reator, estas podem ser levadas a uma matriz morfológica, e para cada função, buscam-se princípios de solução. São identificadas várias combinações desses princípios, obtendo soluções alternativas do reator como um todo. Submetendo as alternativas a um processo de seleção tem-se a concepção alternativa desenvolvida por Mendes (2001) (Figura 7.6).

Outros exemplos práticos de aplicação do método da síntese funcional podem ser encontrados em Ogliari (1999), que descreve exemplos na área de plásticos injetados, e em Scalice (2003), onde descreve o desenvolvimento de um conjunto de produtos modulares para o processo de cultivo de mexilhões na maricultura.

7.3.3 Padronização e representação da estrutura funcional

No item anterior, foram apresentadas algumas recomendações sobre a forma de desenvolver a estrutura funcional de um sistema, incluindo exemplos, mas sem maiores preocupações com a uniformização da expressão e representação das funções e da própria estrutura funcional.

Com o objetivo de sistematizar esse processo os autores Back (1983), Hundal (1990), Rodenacker (1991), Fiod Neto (1993), Pahl e Beitz (1996) e



01	Cilindros de gás	12	Manômetro capacitivo (vacuômetro)
02	Fluxímetros de massa	13	Acionamento do elevador
03	Fonte de potência	14	Tomada para espectrômetro de massa
04	Amperímetro e voltímetro	15	Ponteira de fibra óptica para espectroscopia
05	Grupo de bombas de vácuo	16	Rodas para movimentação
06	Válvula controladora de pressão	17	Condicionadores de sinais
07	Suporte da câmara	18	Módulo de controle do ambiente de vácuo
08	Elevador da câmara	19	Placa de aquisição de dados A/D - D/A
09	Pirômetro óptico	20	Bancada de operação
10	Câmara de vácuo	21	Microcomputador/Software LabVIEW
11	Janela de inspeção	22	Arrefecimento por camisa d'água; coleta de vapor (fole)

Figura 7.6 Leiaute da solução conceitual do reator de processamento de sinterização por plasma de componentes metálicos (Mendes, 2001).

Ogliari (1999) apresentaram várias sugestões procurando uniformizar as funções, as correspondentes representações e as interligações das funções, para facilitar o desenvolvimento, o arranjo, a visualização, a interpretação e a comunicação de uma estrutura funcional. Para certos domínios de conhecimento, já existem padronizações que permitem a representação, visualização e interpretação de sistemas, como ocorre com sistemas hidráulicos, elétricos e eletrônicos.

Para sistemas técnicos em geral, até o momento não se chegou a ferramentas apropriadas nem a um consenso sobre os assuntos mencionados. A seguir, procura-se orientar o leitor sobre alguns desses procedimentos.

Produtos são definidos pela sua função. Por isso, o projetista deve iniciar com uma descrição funcional do produto a ser desenvolvido, resultando na função global. A função global é então decomposta em várias descrições de funções. Na medida em que se progride na decomposição

funcional, chega-se ao que se pode chamar de funções elementares que, em sistemas técnicos como os anteriormente definidos, podem ser enquadradas em um número limitado de funções típicas. Como uma primeira sugestão dada por Koller (1985), essas funções são em número de 24 (Figura 7.7), para cobrir as ações sobre energia, material e informação. Como se observa na figura, tem-se, lado a lado, a função elementar e sua inversa e, também, uma sugestão de representação gráfica, em vez da forma literal apresentada na Figura 7.4. Na Figura 7.7, para cada função são sugeridos verbos similares ou sinônimos para os quais se pode adotar a mesma representação.

Para demonstrar que as funções indicadas na Figura 7.7 não são somente verbos, são descritas a seguir, com exemplificações de princípios de solução, o que estas funções podem representar.

Emitir e absorver: Para ocorrer um fluxo de energia, material ou informação, deve haver de um lado uma fonte e do outro, um absorvedouro. Por exemplo, para fontes de energia tem-se: baterias, potenciais de água, combustíveis. Para um sistema em desenvolvimento, pode ser qualquer fonte de energia mecânica, elétrica ou química. Como absorvedouros de energia, tem-se os mais diversos tipos de sistemas que consomem energia. Há casos em que se instalam absorvedouros para absorver energia, como, por exemplo, os dispositivos amortecedores de vibrações e de absorção acústica.

A função ou palavra emitir, pode ser interpretada em um sentido mais amplo ou em outro que expresse ações ou funções de outros verbos técnicos da língua portuguesa, como fornecer, abastecer e suprir. Do mesmo modo, o verbo absorver tem semelhança com os verbos amortecer e dissipar. Assim, na Figura 7.7, na primeira e na terceira colunas, para todas as funções estão indicadas sugestões de verbos similares ou sinônimos que guardam certa analogia de ação.

Transmitir e isolar: Para haver um fluxo de energia, material e informação, é necessário prover um meio com capacidade de transmissão, como o ar para transmitir o som e espaço para propagar ondas eletromagnéticas e a luz. A função contrária é isolar e os isolamentos de calor, isoladores elétricos, elementos de vedação de fluidos e materiais opacos para isolar a luz são princípios de solução.

Agrupar e dispersar: Agrupar ou concentrar tem como inversa a função de dispersar. Como exemplos de componentes que têm a função de

agrupar, encontram-se o funil, lentes convergentes e antenas receptoras. Para dispersar, antenas emissoras, pulverizadores, lentes divergentes e espelhos convexos são dispositivos com essa função.

Função	Representação	Função inversa	Representação
Emitir: abastecer, alimentar, fornecer, prover, suprir		Absorver: amortecer, aterrar, consumir, dissipar, gastar	
Transmitir: conduzir, levar, transferir		Isolar: barrar, blindar, bloquear, cobrir, fechar, impedir, proteger	
Agrupar: abraçar, abranger, amontoar, aproximar, concentrar, condensar, comprimir, empilhar, espremer, juntar, reunir		Dispersar: borrifar, espalhar, decompor, desagregar, distribuir	
Guiar: alinhar, arrastar, centrar, conduzir, dirigir, endireitar e posicionar		Não guiar: divergir, dobrar	
Transformar: alterar, condensar, congelar, converter, destilar, derreter, evaporar, fundir, liquefazer, modificar, imantar, solidificar		Retrotransformar	
Ampliar: acelerar, acrescentar, aquecer, aumentar, dilatar, distender, elevar, encher, erguer, esticar, estufar, inflar, levantar		Reduzir: atrasar, baixar, contrair, descer, diminuir, encolher, minguar	
Mudar a direção: derivar, desviar, divergir, dobrar, endireitar, flexionar, girar, inclinar, inverter, quebrar		Mudar a direção	
Retificar: alisar, aplinar, bloquear		Oscilar: agitar, alternar, balançar, embalar, sacudir	
Ligar: acionar, acoplar, agarrar, amarrar, comutar, conectar, engatar		Interromper: cortar, desarmar, desatar, desligar, obstruir, reter	
Misturar: combinar, dissolver, dosar, modular		Separar: classificar, decantar, decompor, depurar, destilar, extrair, filtrar, peneirar, sedimentar, selecionar	
Unir: aglomerar, amarrar, amontoar, encaixar, incluir, juntar, rebitar, soldar, somar		Dividir: bifurcar, britar, cisalhar, cortar, derivar, desagregar, desintegrar, desmontar, fracionar, quebrar, ramificar, repartir, seerrar	
Acumular: abastecer, acrescentar, armazenar, carregar, depositar, encher, gravar, registrar		Desacumular: consumir, extrair, gastar, vaziar	

Figura 7.7 Funções elementares para representar ações em sistemas técnicos (adaptado de Koller, 1985).

Guiar e não guiar: Como exemplos de elementos com a função de guiar tem-se, entre outros: guias; mancais; canalizações; cabo elétrico; e cabo óptico.

Transformar e retrotransformar: Dentro dessas funções incluem-se todas as ações de transformação de energia, material e informação ou sinal. Transformar energia engloba formas de transformação de um em outro tipo, tais como cinética, potencial, óptica, térmica, química e mecânica. Para o caso da termoeletrica, citado anteriormente, transforma-se energia química em energia calorífica, esta em energia mecânica e na seqüência em energia elétrica. Já na residência, por exemplo, em fogões elétricos, fornos elétricos ou microondas transforma-se energia elétrica em calor. A transformação de materiais compreende as transformações de estado e de suas propriedades. Exemplos de transformação de informações ou sinais são: transformar sinal óptico em digital; mecânico em elétrico e elétrico em óptico. Neste caso, na representação tem-se um traço vertical sobre o desenho, representando que a função é controlável.

Ampliar e reduzir: As funções de ampliar e reduzir são aquelas ações que aumentam ou diminuem o valor de grandezas ou propriedades da energia, material ou informação. No caso da energia, essas funções ampliam ou reduzem o valor das grandezas de estado da energia mecânica, elétrica ou química. De forma geral as variáveis de estado da energia são: tensão; corrente; deslocamento linear ou angular; velocidade; força; torque; temperatura; volume; pressão etc. Como exemplos de princípios de solução que executam as funções na prática, encontram-se uma vasta gama de tipos de amplificadores ou redutores mecânicos, hidráulicos, pneumáticos e elétricos. No caso de materiais, essas funções executam as ações de modificar o valor quantitativo das propriedades, como condutibilidade elétrica e térmica, resistência mecânica, dureza etc. Para sinais ou informações, valem as observações feitas sobre energia, isto é, são ampliadas ou reduzidas as variáveis de estado desses sinais.

Mudar de direção: Esta função tem por objetivo a ação de modificar a direção vetorial de uma grandeza física, sem modificar o seu valor quantitativo. São exemplos dessa função: um par de rodas dentadas que muda o sentido de giro; o espelho e o prisma que mudam a direção de um raio de luz; o leme de um barco que muda a sua direção.

Retificar e oscilar: Um movimento ou um fluxo pode ser contínuo ou oscilatório. Retificadores elétricos, catracas e válvulas de retenção têm a

função de retificar. Mecanismos de quatro barras, de biela-manivela e de uma came são alguns dos exemplos práticos com a função de oscilar.

Ligar e interromper: Um fluxo de energia, material ou informação pode ser interrompido e refeito. Exemplos práticos de elementos ou dispositivos que executam as ações de ligar e interromper são os mais variados: interruptores; acoplamentos; embreagens; válvulas hidráulicas; diafragmas etc.

Misturar e separar: Energias, materiais e informações de diferentes características ou propriedades podem ser misturados ou separados. Misturadores em geral e moduladores são exemplos de princípios de solução que têm a função de misturar materiais e informação. Para a separação de materiais, os princípios de solução são bem variados. Como exemplos, podem-se citar: métodos de centrifugação e decantação; peneiras; filtros etc. Polarizadores, filtros de luz e de sinais e demoduladores têm a função de separar energia ou informação. A ação de misturar e separar inclui, também, material e energia: uma bomba hidráulica mistura energia e material e um motor hidráulico separa a energia contida no óleo. Outro exemplo: em uma caldeira se mistura material com energia calorífica e na turbina ou radiador se separa a energia do material.

Unir e dividir: Estas funções distinguem-se das funções de misturar e separar quando se tem as ações de unir ou dividir quantidades de energias, materiais ou informações de mesmas características ou propriedades. Como exemplos têm-se: redes de distribuição que unem ou dividem energia elétrica; diferenciais para energia mecânica; e espelhos para energia óptica. Formas de união e divisão de materiais e informações são bem diversas, como se pode deduzir de verbos análogos ou similares apresentados na Figura 7.7.

Acumular e desacumular: Energia, material e informação podem ser acumulados, armazenados e desacumulados. Como exemplos de acumuladores de energia têm-se: baterias; pilhas; capacitores; volantes; pesos; molas; represas; recipientes contendo gases ou fluidos sob pressão etc. As informações podem ser acumuladas em materiais, discos e fitas magnéticas, relés de tempo, transistores e diodos.

Para mostrar a aplicabilidade das funções apresentadas anteriormente, será desenvolvida a estrutura funcional de um problema de bombeamento de óleo sob as seguintes condições: dispõe-se de energia elétrica para os devidos acionamentos; o óleo deve ser transportado de um reservatório

para outro mais elevado e essa alimentação deve ser variável, de zero até uma determinada vazão máxima. Este exemplo é uma adaptação de um problema proposto por Koller (1985) (Figura 7.8).

Como mostra a Figura 7.8A, a função global consiste em fornecer óleo sob pressão, com vazão variável utilizando energia elétrica. A função global pode ser decomposta em três funções parciais, como mostra a Figura 7.8B: a primeira função de ligar e variar o fornecimento de energia; a segunda de transformar energia elétrica em energia mecânica; e a terceira, de misturar energia mecânica com material, o óleo.

Desdobrando-se mais detalhadamente tem-se, na estrutura funcional da Figura 7.8C, as seguintes funções elementares: fonte de energia elétrica; fonte de informação que comanda a ligação ou interrupção de energia elétrica; fonte de informação que comanda a variação contínua de fornecimento de energia elétrica; função de variação contínua de energia elétrica; função de transformação da energia elétrica em energia mecânica;

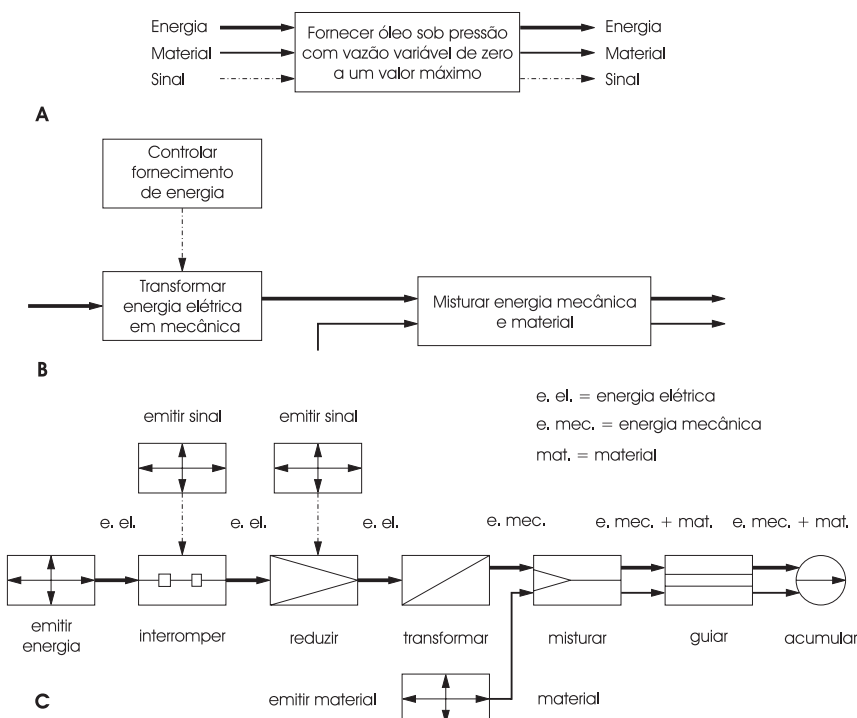


Figura 7.8 Desenvolvimento da estrutura funcional do sistema de bombeamento; (A) função global; (B) estrutura de funções parciais; (C) estrutura de funções elementares (adaptado de Koller, 1985).

fonte de material; função de misturar energia mecânica e material; guiar a mistura de energia e material até um acumulador.

Na Figura 7.9, a primeira alternativa apresenta a repetição de uma forma simplificada da estrutura funcional da Figura 7.8C. As demais estruturas funcionais são alternativas para o mesmo problema de bombeamento de óleo. Resumidamente, as quatro estruturas podem ser interpretadas pelas suas funções:

- primeira alternativa: ligar/interromper energia elétrica; reduzir a energia elétrica (reduzir frequência ou tensão); transformar energia elétrica em energia mecânica (motor elétrico); misturar energia mecânica com óleo (bomba hidráulica); guiar a mistura através de uma canalização até a acumulação em um reservatório;
- segunda alternativa: ligar/interromper energia elétrica; transformar energia elétrica em energia mecânica (motor elétrico); reduzir a rotação do eixo através de um redutor de velocidade; misturar energia com material (bomba hidráulica); guiar e acumular;
- terceira alternativa: transformar energia elétrica em energia mecânica (o motor elétrico estaria sempre ligado); ligar/interromper a transmissão de energia mecânica (usando uma embreagem); reduzir a rotação do eixo; misturar energia e material; guiar e acumular;
- quarta alternativa: transformar energia elétrica em energia mecânica; misturar energia mecânica com material; dividir a quantidade de óleo (através de válvula de retorno); ligar/interromper (usando um registro); guiar e acumular.

Analisando o que foi apresentado no presente item sobre a padronização das funções, sua representação e o campo de aplicação, observa-se o seguinte:

- os 24 verbos mostrados na Figura 7.7 permitem declarar ou expressar uma vasta gama de funções ou operações de processamento de energia, material e sinal. Se forem incluídas as sugestões, apresentadas no final da descrição de cada par de funções e a correspondente função inversa, de verbos sinônimos ou similares, a variedade de ações, em sistemas técnicos que podem ser descritos, é ampliada consideravelmente;
- o projetista geralmente atua em um domínio de conhecimento ou de produtos bem mais restrito, por exemplo, de máquinas-ferramentas,

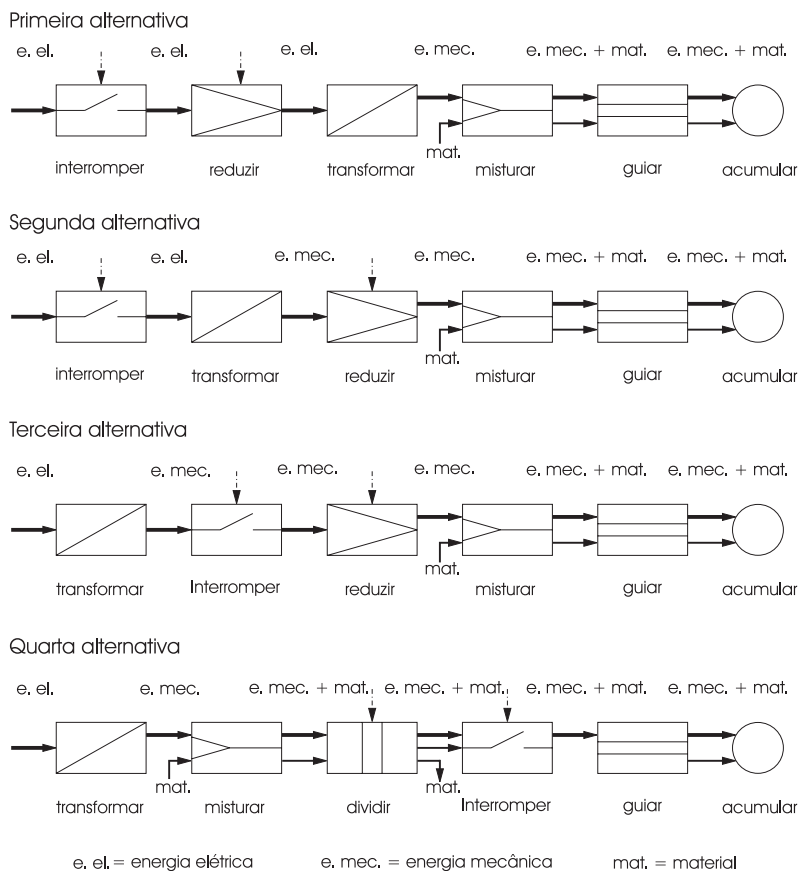


Figura 7.9 Estruturas alternativas do sistema de bombeamento de óleo (adaptado de Koller, 1985).

eletrodomésticos ou máquinas agrícolas e, dentro destas, somente alguns tipos. Assim, as funções necessárias para estabelecer as estruturas funcionais correspondentes para esses domínios mais restritos podem ser em número menor ou outras mais apropriadas podem ser criadas;

- as sugestões de funções apresentadas não pretendem ser definitivas e nem têm de ser adotadas diretamente, mas, como mostram as Figuras 7.8 e 7.9, dão uma visão mais rápida e global das estruturas funcionais do que os exemplos das Figuras 7.4 e 7.5.

De forma similar aos casos anteriores, a norma VDI 2860 (1990) apresenta uma sugestão de sistematização do projeto de sistemas de manipulação em processos de fabricação e montagem de peças. Nesta norma tem-se

uma proposta de normalização de funções elementares e das correspondentes representações gráficas que permitem desenvolver estruturas similares às apresentadas nas Figuras 7.8 e 7.9.

7.3.4 Análise e seleção de estruturas funcionais alternativas

No item 7.3.2 foi sugerido que o projetista procurasse desenvolver estruturas funcionais alternativas para a concepção do problema. Como mostrado na Figura 7.9, neste caso foram obtidas quatro alternativas de estruturas funcionais.

Para dar continuidade ao trabalho de projeto deve-se selecionar a melhor estrutura funcional. O primeiro passo, então, é estabelecer critérios de seleção ou confrontar as alternativas com as especificações de projeto, procurando identificar a estrutura que tem o melhor potencial de atendimento futuro. Como as estruturas estão em uma forma muito abstrata, ainda não foram escolhidos ou desenvolvidos os princípios de solução, tornando-se difícil estabelecer critérios de seleção mais objetivos, como descrito no Capítulo 8, para a escolha da melhor concepção. Para o estágio atual de desenvolvimento, recomenda-se seguir um procedimento simplificado, imaginar ou simular princípios de solução para as diversas funções e então comparar as estruturas funcionais alternativas.

No exemplo da Figura 7.9 as alternativas de estruturas funcionais apresentam algumas diferenças que serão analisadas com o objetivo de escolher a melhor.

Na primeira, a forma de obter uma variação no fornecimento de óleo seria com um variador ou redutor de frequência ou de tensão da energia elétrica, que permitiria uma variação da rotação do motor elétrico. Na segunda alternativa, tem-se um motor elétrico mais simples, mas é necessário um redutor mecânico para a variação contínua no eixo de saída. Variadores de velocidade contínuos mecânicos são, geralmente de atrito ou hidráulicos. O funcionamento das duas soluções é praticamente o mesmo. Uma análise mais detalhada de custos, durabilidade, rendimento e manutenção deveria ser feita para se saber qual a melhor solução. Como já descrito no item anterior, na terceira alternativa o motor ficaria sempre ligado e a interrupção do fornecimento poderia ser feita com uma embreagem; sob outros aspectos é igual à segunda alternativa. O custo de instalação deverá ser maior do que o da anterior, sem contar o custo de operação, pois

o motor deveria estar sempre ligado. Na quarta alternativa, o custo de instalação inicial deve ser menor do que o das anteriores, mas o custo de operação será maior porque o motor e a bomba estariam sempre ligados.

De acordo com o exposto, conclui-se que as duas primeiras alternativas são as melhores. Para decidir qual é a melhor, será necessário um estudo mais detalhado, com os princípios de solução e as estruturas de princípios definidos, como será visto no próximo item. Assim, havendo dúvidas de qual seria a melhor estrutura funcional, o estudo dessas alternativas deve ser levado adiante no intuito de buscar princípios de solução, adotando a metodologia de seleção como descrito no Capítulo 8.

7.3.5 Estruturas de princípios de solução do sistema técnico

Uma vez definida a estrutura funcional, o passo seguinte é buscar princípios de solução alternativos para cada função da estrutura. A busca de princípios pode ser por um levantamento da literatura técnica, de soluções adotadas em sistemas técnicos similares existentes ou, como é uma tendência atual, usando catálogos ou bancos de dados de princípios de solução.

No item 7.3.3 foram propostas uma normalização de funções e uma respectiva representação gráfica da função. Nos catálogos ou bancos de dados, para cada função poderão ser registrados os diferentes princípios de solução alternativos. Cada princípio de solução pode ser acompanhado da respectiva descrição de funcionamento, representações esquemáticas, dados para o dimensionamento e de projeto detalhado.

Propostas da forma de apresentação e organização desses bancos de dados, de princípios de solução, podem ser encontrados em Fiod Neto (1993), Koller (1985) e Rodenacker (1991).

Encontrados os princípios de solução alternativos para cada função, o passo seguinte é arranjar os princípios de modo a facilitar a visão e a obtenção de estruturas de princípios de solução para a estrutura funcional global do problema em desenvolvimento. A forma recomendada é colocar em uma matriz, como descrito no item 6.3.1 e mostrado na Figura 6.5, do método da matriz morfológica, em que na primeira coluna são listadas as funções e em cada linha, para cada função, os correspondentes princípios de solução encontrados ou gerados.

As demais etapas do desenvolvimento da concepção, pelo método da função síntese, podem ser elaboradas seguindo o mesmo procedimento

descrito nos passos 4^o ao 6^o do método da matriz morfológica. Isto é, pela combinação dos princípios de solução das diferentes funções, obtenção de estruturas alternativas de princípios ou concepções alternativas, seleção da melhor solução e, finalmente, descrição da concepção escolhida.

7.4 Engenharia reversa

Como foi descrito neste capítulo, sempre se considerou o projeto de inovação, ou seja, dada uma nova necessidade, desenvolver um sistema partindo da função global e progressivamente estabelecer a estrutura funcional, buscar princípios de solução montando a matriz morfológica, definir as estruturas de princípios de solução e escolher a melhor solução para a concepção, até o projeto detalhado. Mas, na grande maioria dos casos da prática, o que se tem é um produto que deve ser melhorado, ou seja, um problema de reprojeção de sistema, quando se tem um sistema físico com ou sem desenhos de projeto detalhado.

Outra situação para realizar um processo inverso é quando se pretende conhecer um produto concorrente ou copiar e começar a produzir um produto existente.

A esse procedimento denominou-se engenharia reversa, que é definida por Otto e Wood (1998, 2001) como o processo de análise de um objeto para identificar os componentes do sistema e suas inter-relações e criar uma representação do sistema em outra forma ou em um nível de abstração mais elevado, para posterior modelagem, simulação e busca de nova solução. Na abstração, chega-se ao nível da função global do sistema, seguindo um caminho inverso do método da função síntese, como se observa nos passos seguintes:

- 1^o passo: examinando o produto físico ou o desenho técnico do mesmo, determinam-se as relações do sistema técnico com o meio ambiente, selecionando e analisando as interfaces, ou as entradas e saídas, como descritas no item 7.3.1, e analisando e caracterizando o fluxo funcional entre as entradas e saídas;
- 2^o passo: determinação e descrição do princípio de funcionamento do sistema. Isso pode ser feito, primeiramente, compondo os elementos funcionais, eliminando juntas ou uniões fixas e elementos de funções auxiliares, simplificando a configuração na forma adequada da função. Em segundo lugar, são substituídos os elementos funcio-

- nais por símbolos esquemáticos, que são ligados por linhas simples ou indicações do fluxo das funções representativas dos elementos;
- 3º passo: determinação e descrição da estrutura funcional. Separando os grupos funcionais, o sistema é representado por uma estrutura funcional e são determinadas ou medidas as grandezas funcionais envolvidas e as relações de entradas e saídas de cada função da estrutura;
 - 4º passo: determinação e descrição da função global do sistema. A função principal e as secundárias ou parciais são substituídas por uma função global na sua forma mais abstrata, junto com as especificações do produto;
 - 5º passo: estabelecida a abstração do sistema, esta pode ser utilizada para os objetivos seguintes: comparação da concepção e das especificações de produtos concorrentes; cópia de um produto existente; reprojeto paramétrico; reprojeto adaptativo, com variações de alguns princípios de solução; e invenção de nova solução para contornar privilégios de patentes;
 - 6º passo: nos casos de reprojeto paramétrico e/ou adaptativo do próprio produto ou de invenção de nova solução para contornar proteções de patentes, o procedimento para chegar ao novo produto é o mesmo, o método da função síntese descrito no item 7.3. Isto é, desenvolver estruturas funcionais variantes com o objetivo de encontrar uma estrutura melhor, montar a matriz morfológica de princípios de solução e desenvolver concepções alternativas.

A engenharia reversa, no que se refere à compra de produtos concorrentes para desmontar, medir, testar desempenho, estabelecer modelos de representação e de abstração, bem como definir as especificações para fins de comparação e conhecimento de produtos concorrentes, é uma atividade ética e legal (Samuelson e Scotchmer, 2002). A cópia ou a engenharia reversa de produtos não protegidos por patentes, ou a busca de novos princípios de solução para contornar invenções patenteadas também são atividades normalmente efetuadas e legais.

Resumindo, as razões para efetuar a engenharia reversa são as seguintes:

- um fabricante original não produz mais um determinado produto ou peça de reposição;

- o fabricante original não existe mais, mas consumidores necessitam do produto;
- não há suficiente documentação de um produto original;
- a documentação original de projeto foi perdida ou nunca existiu;
- algumas características de baixa qualidade devem ser melhoradas;
- analisar as características boas e ruins de produtos concorrentes;
- conhecer as características ou métodos de produtos concorrentes para desenvolver produtos melhores;
- conhecer características ou componentes de produtos desativados ou descartados que apresentaram alto desempenho ou durabilidade cujas soluções podem ser usadas em novos produtos;
- materiais ou processos de manufatura obsoletos devem ser substituídos por tecnologias atuais e menos dispendiosas.

7.5 Resumo

Os principais resultados do presente capítulo são resumidos a seguir:

1. *O método da síntese funcional segue um procedimento bem definido, compreendendo as seguintes atividades: formular o problema ou a função global do sistema em desenvolvimento; estabelecer uma estrutura ou um fluxo de funções do problema ou processo; pesquisar ou criar princípios de solução alternativos para cada função da estrutura, montando a matriz morfológica; combinar um princípio de cada função da estrutura, para formar concepções alternativas do problema global; e selecionar as concepções viáveis.*
2. *O método da síntese funcional é mais apropriado ao desenvolvimento de sistemas técnicos que: são uma combinação de elementos ou partes que formam um todo complexo que tem ou serve a um propósito; o propósito pode ser declarado por uma função geral ou global; a função global do sistema pode ser desdobrada, sucessivamente, em funções de complexidade menor até o nível de funções elementares; podem ser considerados como processos de transformação sucessiva, do estado e das propriedades, de grandezas de entrada, nas de saída; normalmente, podem ser considerados como processos de transformação de estado e das propriedades de grandezas do tipo de energia, material e informações.*
3. *A decomposição funcional de sistemas técnicos é elaborada levando-se em conta a experiência dos projetistas em projetos de natureza semelhante, ana-*

logias com sistemas existentes e utilizando o método de brainstorming, a técnica de análise de sistema funcional (FAST), a descrição do processo do sistema em desenvolvimento pelo método IDEF0 e a análise das especificações de projeto ou composição destes.

- 4. Realizada a decomposição funcional do sistema técnico, estabelecida a estrutura funcional e elaborada a matriz morfológica, o método da síntese funcional permite a rápida geração de um elevado número de concepções alternativas, dentre as quais se escolhe a melhor solução.*
- 5. A engenharia reversa é o processo pelo qual um produto de uma empresa concorrente é submetido à análise tendo os seguintes objetivos: conhecer o desempenho e as especificações, os pontos fortes e fracos de produtos concorrentes para avaliar e comparar o seu próprio produto; com base no produto físico existente ou em desenhos, desenvolver formas abstratas de representação e de modelagem para a simulação e o reprojeto paramétrico ou o reprojeto adaptativo; copiar um produto existente, não protegido por patentes, para ser produzido pela empresa e, por último, para identificar a concepção ou princípios de solução do produto, privilegiados através de patentes e, assim, encontrar alternativas de concepção para a mesma necessidade do mercado.*
- 6. O processo de engenharia reversa de um produto se desenvolve em três estágios distintos. No primeiro, o produto é tratado como uma função global, é usado e submetido à experimentação ao longo de seus parâmetros de operação, é estudado quanto às necessidades do consumidor, é identificado quanto a funções, componentes e princípios físicos. Então o produto é desmontado em seus componentes, são feitos estudos de identificação de materiais e de projeto para manufatura, de análise funcional e identificado o conjunto de especificações do produto. No segundo estágio, são desenvolvidos e implementados modelos de projeto, análises estratégicas, calibragem de modelos e experimentações. No terceiro estágio se iniciam atividades de reprojeto paramétrico, reprojeto adaptativo ou projeto de inovação do produto.*

7.6 Problemas e temas de discussão

1. Faça uma breve descrição do método da síntese funcional utilizando representações esquemáticas das várias etapas.
2. Quais são as principais características de sistemas técnicos, conforme descritos no presente capítulo?

3. Apresente cinco exemplos típicos de sistemas, justificando o seu enquadramento como sistemas técnicos, com base nas características definidas na questão anterior.
4. Quais são as principais considerações que devem ser efetuadas quando são estabelecidas as interfaces do sistema em desenvolvimento e do meio ambiente no qual estará inserido?
5. Escolha um exemplo de sistema técnico de seu conhecimento e elabore as seguintes etapas do método da síntese funcional: formulação da função global do sistema; desdobramento funcional; elaboração de estruturas funcionais alternativas; exercício de seleção da melhor estrutura funcional. Para a estrutura escolhida, represente a estrutura usando padronização mostrada na Figura 7.7 e construa uma matriz morfológica para o sistema.
6. Na Figura 7.7 tem-se uma proposta de padronização da representação de funções elementares de sistemas técnicos em geral. Descreva pelo menos três domínios de conhecimento em que essa padronização de funções elementares é plenamente utilizada para a representação dos sistemas técnicos.
7. Escolha um sistema técnico existente, um equipamento de seu conhecimento, e elabore uma decomposição funcional, bem como, sucessivamente, uma decomposição em subsistemas e componentes construtivos do mesmo sistema.
8. Faça uma discussão sobre a eficiência de métodos de desdobramento funcional de sistemas técnicos propostos na literatura técnica.
9. No desdobramento funcional de sistemas técnicos, quais são aspectos ou critérios que devem ser observados nos sucessivos níveis de decomposição?
10. Descreva o processo de desenvolvimento da engenharia reversa de produtos.
11. Escolha um produto que lhe é familiar e desenvolva o processo de engenharia reversa sobre o mesmo, até a elaboração do conjunto de especificações.
12. Faça uma análise crítica dos aspectos éticos, legais, econômicos e técnicos envolvidos num processo de execução da engenharia reversa de um produto industrial.

7.7 Referências bibliográficas

- BACK, N. *Metodologia de projeto de produtos industriais*. Rio de Janeiro, Guanabara Dois, 1983.
- BALDWIN, D. "IDEF/SADT related documents". 2001. Disponível em: URL: <http://oldweb.uwp.edu/academic/mis/baldwin/idef.html>; acessado em: 25/1/2007.
- CROW, K. "Value analysis and functions analysis system technique". *Product Development Forum. 2002 DRM Associates*. Disponível em: URL: <http://www.npd-solutions.com>; acessado em: 19/4/2005.
- FIOD NETO, M. "Desenvolvimento de sistema computacional para auxiliar a concepção de produtos industriais". Florianópolis, 1993. 313p. Tese (doutorado). PPGEM – UFSC.
- HUNDAL, M. S. "A systematic method for developing function structures, solutions and concept variants". *Mechanical Machines Theory*. v.25, n.3, 1990, p.243-256.
- HUNDAL, M. S. *Systematic mechanical designing: a cost and management perspective*. New York, ASME Press, 1997.
- KOLLER, R. *Konstruktionsmethode für der Maschinenbau*. Heidelberg, Springer Verlag, 1985.
- MENDES, L. A. "Desenvolvimento e validação de um reator piloto para processamento de materiais por plasma". Florianópolis, 2001. 264p. Tese (doutorado). PPGEM, UFSC.
- OGLIARI, A. "Sistematização da concepção de produtos auxiliada por computador com aplicações no domínio de componentes de plástico injetado". Florianópolis, 1999. 349p. Tese (doutorado). PPGEM – UFSC.
- OTTO, K. N.; WOOD, K. L. "Product evolution: a reverse engineering and redesign methodology". *Journal of Research in Engineering Design*. v.10, n.4, 1998, p.226-243.
- OTTO, K. N.; WOOD, K. L. *Product design: techniques in reverse engineering and new product development*. New Jersey, Prentice Hall, 2001.
- PAHL, G.; BEITZ, W. *Engineering design: a systematic approach*. 2.ed. London, Springer Verlag, 1996.
- RODENACKER, W. G. *Methodisches Konstruieren*. 4.ed. Berlin, Springer Verlag, 1991.

- ROTH, K. *Konstruieren mit Konstruktions Katalogen*. Berlin, Springer Verlag, 1982.
- SAMUELSON, P.; SCOTCHMER, S. "The law and economics of reverse engineering". *Yale Law Journal*. v.111, n.7, May 2002.
- SCALICE, R. K. "Desenvolvimento de uma família de produtos modulares para o cultivo e beneficiamento de mexilhões". Florianópolis, 2003. 260p. Tese (doutorado). PPGEM – UFSC.
- ULLMAN, D. G. *The mechanical design process*. New York, McGraw-Hill, 1992.
- VDI 2221. *Methodik zum entwickeln und konstruieren technischer Systeme und Produkte*. Düsseldorf, VDI Verlag, 1985.
- VDI 2860. *Montage und Handhabungstechnik: Handhabungsfunktionen, Handhabungseinrichtungen, Begriffe, Definitionen, Symbole*. Düsseldorf, VDI Verlag, 1990, 16p.

Parte IV

Projeto conceitual – seleção da concepção

Capítulo 8

Projeto para viabilidade econômica do produto

8.1 Introdução

Nos Capítulos 6 e 7 foram estudados vários métodos utilizados na geração de soluções alternativas para o produto em desenvolvimento. Concluída essa atividade, tem início o processo de seleção da melhor solução e, à exceção de projetos especiais, o principal critério de escolha é a sua viabilidade econômica. O processo de seleção da solução é tratado de maneira mais formal no presente capítulo, considerando-se a viabilidade econômica, e no Capítulo 9, em que será estudada uma metodologia de seleção da solução adotando múltiplos critérios. A preocupação na obtenção e avaliação da solução de menor custo deve ocorrer ao longo de todo o processo de desenvolvimento do produto, especialmente nas fases de projeto informacional, conceitual, preliminar e de projeto detalhado, como foi apresentado no Capítulo 2 (Figuras 2.17 a 2.20). Nas Figuras 1.2 a 1.4 do Capítulo 1, verificou-se que é especialmente importante ter a preocupação com o custo nas duas primeiras fases do projeto do produto. Nessas duas fases são tomadas as decisões que mais comprometem o custo do produto e, se forem necessárias modificações, o custo dessas seria baixo. Barton, Love e Taylor (2002) citam diversas fontes onde são discutidos os dados de que 70% dos custos do produto já estão definidos com as decisões tomadas no início da atividade de projeto. Isso mostra a maior importância que se deve dar à avaliação do custo da solução e à adoção de princípios

que levem aos conceitos de projeto para custo ou projeto para viabilidade econômica nas três primeiras fases do processo de projeto, ou seja, até o projeto conceitual e preliminar, quando as soluções ainda estão pouco definidas.

Acrescentando alguns dados à Figura 1.2, tem-se uma representação da porcentagem de comprometimento dos custos, da aplicação de conhecimento no desenvolvimento, das despesas realizadas e da facilidade em realizar modificações, se necessárias, ao longo do ciclo de vida do produto (Figura 8.1).

Como se pode notar pela Figura 8.1, a maioria das decisões, no que se refere ao custo e à aplicação de conhecimento na solução, é tomada nas primeiras fases de projeto, enquanto as despesas se realizam em maior porcentagem nas fases posteriores do ciclo de vida do produto. Até a fase do projeto detalhado, em que o protótipo é construído e testado, e onde toda a documentação para fabricação e pós-venda já deve estar concluída, o comprometimento de custos do ciclo de vida do produto é da ordem de 95%.

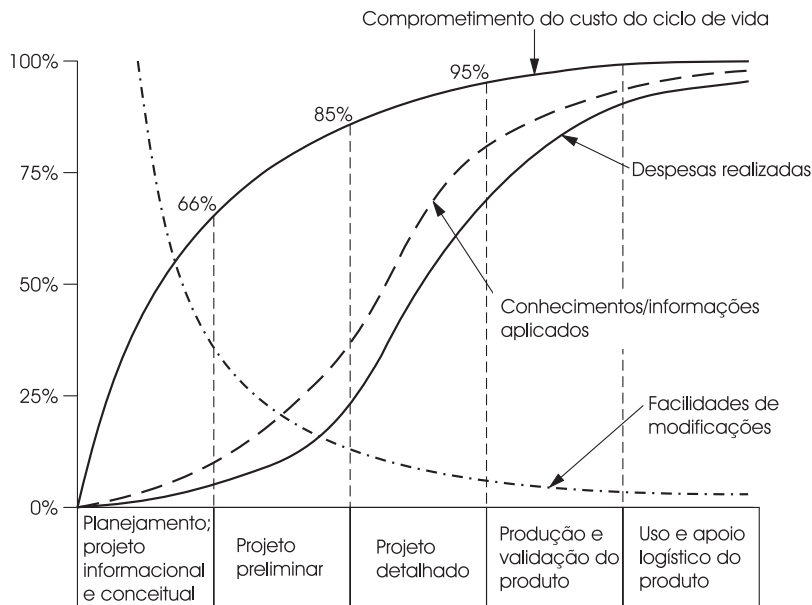


Figura 8.1 Porcentagem de comprometimento do custo, conhecimento aplicado, despesas realizadas e facilidade de modificações ao longo do ciclo de vida do produto (Halog, 2002; adaptado de Fabrycky e Blanchard, 1991).

Na Figura 8.1, verifica-se que é mais importante efetuar estudos de viabilidade econômica no início do ciclo de vida, quando a solução é pouco definida e os custos, de difícil determinação. Para o caso típico da produção de bens de capital, a Figura 8.2 enfatiza a visibilidade e as dificuldades para efetuar a análise dos custos nas diferentes fases do ciclo de vida. O custo de aquisição do produto é representado pela parte menor emersa e os custos de pós-venda pela parte maior submersa do *iceberg*. A visibilidade ou facilidade de identificação dos custos é maior na parte emersa e menor na parte submersa.

Com base nas considerações anteriores, surge o conceito de viabilidade econômica do ciclo de vida. No projeto se consideram soluções que minimizam os custos ao longo do ciclo de vida do produto, levando em conta, assim, os custos de aquisição e os custos de pós-venda, que incluem distribuição, uso e manutenção, até o descarte ou reciclagem.

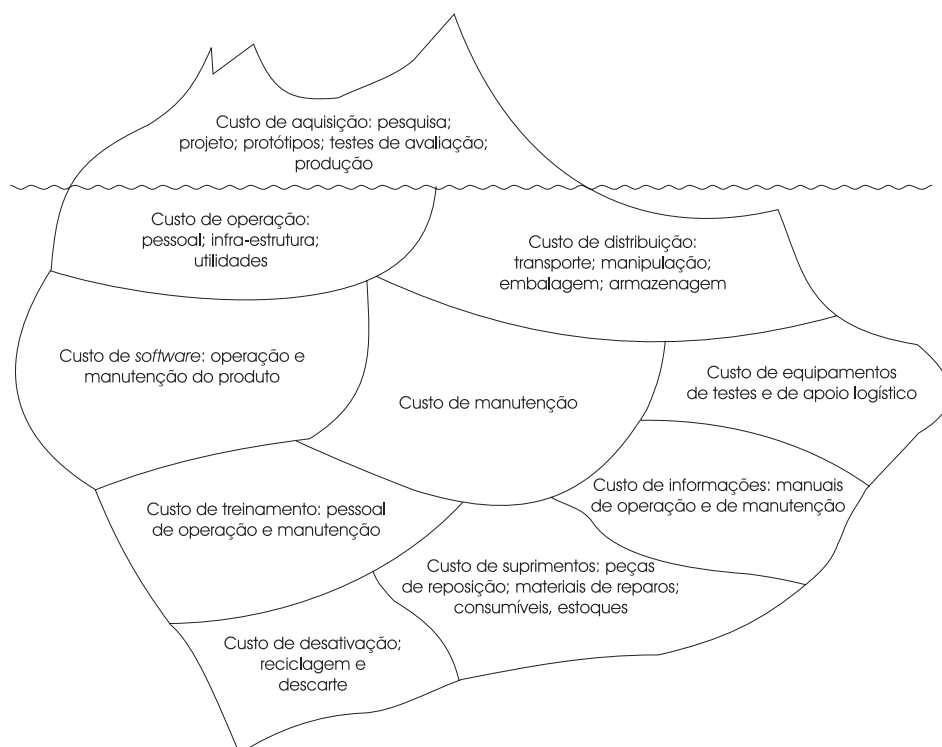


Figura 8.2 Visibilidade dos custos do ciclo de vida do produto representada por um *iceberg* cuja maior parte está sempre imersa (adaptado de Blanchard e Fabrycky, 1990).

O custo de aquisição e, mais recentemente, o custo do ciclo de vida do produto tornaram-se um fator de competitividade cada vez mais importante. Isto porque, com a globalização, a grande maioria dos produtos vem apresentando certa maturidade em aspectos tecnológicos e estéticos e, assim, o custo é o dado de decisão do consumidor.

Este capítulo visa introduzir os conceitos básicos necessários aos projetistas ou à equipe de projeto a fim de que tenham os conhecimentos para selecionar concepções economicamente viáveis e para adotar princípios de solução que minimizem o custo do produto em todas as fases do ciclo de vida. Para aprofundar-se sobre o tema, podem ser consultadas as obras de Blanchard e Fabrycky (1990) e Fabrycky e Blanchard (1991).

O item 8.2 apresenta uma breve descrição dos conceitos fundamentais necessários à equipe de projeto para que se considerem adequadamente os aspectos econômicos no desenvolvimento do produto.

8.2 Conceitos fundamentais de custos do produto

Como citado no item anterior, é conveniente considerar o custo do produto em duas grandes classes: custo de aquisição e custos de pós-venda.

O **custo de aquisição** ou **preço do produto** corresponde aos custos de pesquisa, projeto, construção e teste de protótipos, elaboração de informações de operação e manutenção e fabricação do produto, custos de administração, custos de garantia e ao lucro da empresa fabricante.

Os **custos de pós-venda** se referem aos recursos necessários a embalagem, transporte, manipulação, armazenagem, instalação, operação, manutenção, potenciais custos de processos de responsabilidade civil, desativação e reciclagem.

Essa distinção é importante porque o custo de pós-venda de equipamentos, em geral, é maior do que o custo de aquisição e é fortemente influenciado por decisões adotadas no projeto e porque, atualmente, o usuário começa a optar por um produto que tenha o menor custo ao longo de todo o seu ciclo de vida. O **custo do ciclo de vida** do produto é considerado como a soma do **custo de aquisição** e dos **custos de pós-venda**.

Como o custo do ciclo de vida depende essencialmente das decisões tomadas nas fases de projeto, adota-se o termo de **projeto para custo** para expressar a orientação que a equipe de projetistas deve ter ao buscar solu-

ções de mínimo custo em todas as fases de desenvolvimento do produto ou que mantenham o custo total abaixo de um custo-meta estabelecido. O método de análise do valor descrito no Capítulo 6 é uma das formas de sistemática de projeto para custo.

O processo de análise de custo de soluções para o problema de projeto, com o objetivo de decidir pela melhor alternativa, denomina-se análise de custo do ciclo de vida. A **análise de custo do ciclo de vida** é uma sistemática analítica que adota, passo a passo, figuras de mérito nas várias fases do desenvolvimento para chegar a uma solução eficaz no que concerne ao seu custo. É um processo iterativo, efetuado ao menos uma vez em cada uma das fases de projeto do produto, ou melhor, toda vez que se avalia o projeto em desenvolvimento para verificar se a solução é economicamente viável. Essa análise será descrita em mais detalhes no item 8.3.

Uma **solução economicamente viável** é aquela em que o custo de produção é menor do que o preço de venda do produto. O custo de produção é normalmente chamado de custo-meta.

O **custo-meta** é definido em função da análise de nichos de mercado, da avaliação do poder aquisitivo do consumidor, da compreensão dos fatores determinantes de custo, do compromisso entre custos e das demais especificações de projeto, da variação da demanda, das relações de custo com o volume de produção e do lucro pretendido pela empresa.

Conforme exposto no item 2.4, no projeto informacional se define o custo-meta do produto e nas fases do projeto conceitual, preliminar e detalhado, o custo das soluções em desenvolvimento deve ser determinado para verificar se está abaixo do custo-meta. Na fase do projeto detalhado, esse valor pode ser determinado com razoável precisão, mas nas fases de projeto conceitual e preliminar, onde as soluções estão pouco definidas, os custos devem ser estimados. Adota-se então o termo de **estimativas de custo**, que são formas de determinar o custo das soluções desenvolvidas, por analogias ou similaridades com outros produtos, por interpolação ou extrapolação com dados históricos e outros modelos de avaliação dos custos que serão descritos mais adiante no item 8.4.

Uma vez efetuada a estimativa de custo das soluções, para efetuar a comparação e assim selecionar a alternativa mais adequada, adotam-se diversos critérios ou **métodos de análise de custo**, tais como: mínimo custo de aquisição; mínimo custo do ciclo de vida; máximo retorno de investimento; perfis de fluxo de caixa e tempo de retorno de investimento. Esses métodos serão descritos ao longo do próximo item.

8.3 Análise de custo do ciclo de vida de produtos

O processo de análise de custo do produto foi objeto de estudo de vários pesquisadores e, como descrito por Durairaj *et al.* (2002), tem-se proposto na literatura diversas metodologias de análise, entre elas as de Ahmed (1995), Dahlén (1996), Fabrycky e Blanchard (1991), PMI (2002) e Woodward (1997).

A Figura 8.3 mostra um fluxograma desse processo de análise do custo do ciclo de vida, uma adaptação de metodologias propostas por Halog (2002) e por Fabrycky e Blanchard (1991).

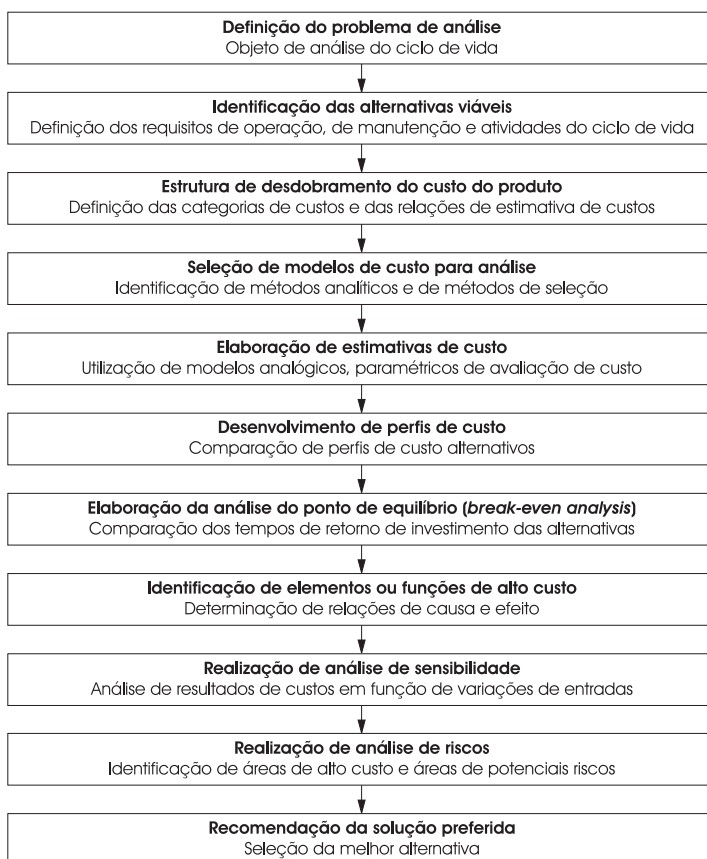


Figura 8.3 Metodologia de análise do custo do ciclo de vida do produto (adaptado de metodologias propostas por Halog, 2002 e Fabrycky e Blanchard, 1991).

Para tornar o processo de análise mais eficaz, como mostrado na Figura 8.3, é necessária uma equipe multidisciplinar, com conhecimento nas áreas mostradas na Figura 8.4: engenharia; estatística; informática e matemática; finanças; vendas e economia. Se a atividade de projeto é desenvolvida dentro de um ambiente de engenharia simultânea, a equipe que vem desenvolvendo o projeto já deve ter competência nessas disciplinas, caso contrário uma equipe deve ser especialmente designada para efetuar essa análise de custo do ciclo de vida.

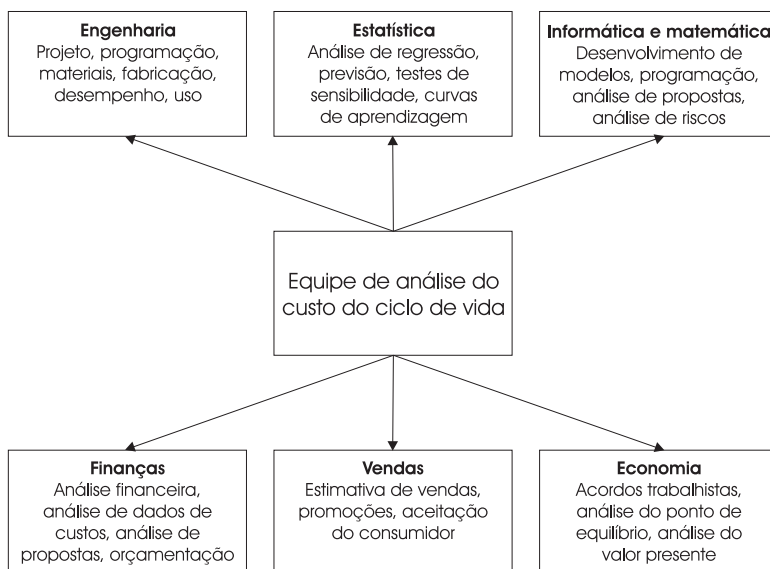


Figura 8.4 Áreas de conhecimento necessárias para análise do custo do ciclo de vida.

A seguir serão detalhadamente descritas as onze atividades apresentadas na metodologia, bem como os métodos empregados para sua realização.

8.3.1 Definição do problema de análise

A análise de custo do ciclo de vida do produto deve ser realizada em toda a sua plenitude, pelo menos na parte final de cada uma das quatro fases de projeto, como parte do processo geral de revisão e aprovação das concepções em andamento. Nas fases, cada concepção deve ser avaliada de modo a verificar se a solução atende a todas as especificações estabele-

cidas, conforme descrito no Capítulo 5. Nas etapas, o custo de aquisição, ou de todo o ciclo de vida das diversas alternativas em estudo, deve ser estimado ou determinado, e os resultados comparados ao custo-meta estabelecido para o produto.

Uma análise de custo pode ser necessária com muito mais frequência do que somente no final das quatro fases de projeto. Análises de custo mais simples podem ser necessárias para diversas tomadas de decisão, como: princípio de solução de menor custo; escolha de um material mais barato; método de fabricação mais econômico; fabricar ou adquirir de fornecedores um componente ou subsistema; nível de confiabilidade e manutenibilidade a adotar para minimizar os custos associados; nível de automação apropriado de um equipamento comparado com a disponibilidade de mão-de-obra para operação etc.

Considerando que essas análises tomam tempo e têm também seus custos, o problema de análise deve ser bem definido: deve-se ter conhecimento do nível de extensão, para cada tomada de decisão e, ainda, com que precisão deve ser o resultado.

Para se ter uma idéia da precisão que se pode obter, a Tabela 8.1 apresenta dados de erros percentuais na estimativa de custo de projetos, considerando seus estágios de desenvolvimento. Os dados são baseados e adaptados de avaliações feitas por Kerzner (2001). Como se pode observar, os erros variam de 35%, no caso em que o escopo do projeto ainda não foi definido, até 5%, quando o projeto detalhado estiver completo. Como exemplo do custo de um novo motor, um erro de 35% poderia acontecer definindo somente a sua nova potência e um de 5%, quando os componentes estão dimensionados e desenhados, e os planos de fabricação e montagem elaborados. Isso dá também uma diretriz para a definição de métodos de estimativa de custos, métodos de análise de custos e tempo gasto na busca de dados de custos.

8.3.2 Identificação das alternativas viáveis

Concluída a fase de geração de soluções alternativas, como foi descrito nos Capítulos 6 e 7, é provável que haja várias concepções para o problema em desenvolvimento, se não do produto como um todo, de partes ou determinadas funções para as quais se encontraram ou foram criados princípios de solução alternativos.

Tabela 8.1 Precisão de avaliação de custo de projetos (adaptado de Kerzner, 2001, p. 745)

Estágio de desenvolvimento do projeto	Erro porcentual
Projeto sem detalhar o escopo	> $\pm 35\%$
Projeto informacional – especificações de projeto	$\pm (25 \text{ a } 30\%)$
Projeto conceitual – concepções do produto	$\pm (20 \text{ a } 25\%)$
Projeto preliminar – concepções dimensionadas e otimizadas	$\pm (10 \text{ a } 15\%)$
Projeto detalhado – protótipo construído e testado, documentação de fabricação	$\pm 5\%$

Na fase de projeto conceitual, em que as soluções estão, ainda, numa forma descritiva e esquemática, a identificação das concepções alternativas viáveis para a análise do custo do ciclo de vida é crítica, principalmente pela dificuldade de projeção dos custos ao longo de todo o ciclo. De qualquer forma, as soluções tecnicamente viáveis devem ser submetidas a uma análise de custo, pois a viabilidade econômica é um dos principais critérios na seleção da melhor solução, como descrito no Capítulo 9.

Na fase de projeto preliminar e após a fase final de otimização é pouco provável que se tenha mais de uma solução para o produto como um todo. Mas haverá problemas parciais de análise de custo para selecionar o material mais barato, verificar os custos de alternativas de níveis de confiabilidade, de manutenibilidade, operação ou automação do equipamento. Durante a fase de projeto detalhado, como o produto já se encontra em estágio avançado de definição, restam poucos problemas de identificação de soluções alternativas a serem submetidas à análise de custo. Como exemplos de soluções alternativas que deverão ser submetidas à análise de custos tem-se: tipos de protótipos e alternativas de testes; fabricação interna ou externa de componentes; processos alternativos de fabricação e montagem etc.

8.3.3 Estrutura de desdobramento do custo do produto

Definidas as alternativas de solução a serem submetidas à análise do custo do ciclo de vida, o passo seguinte é o desenvolvimento da estrutura de desdobramento de custo das mesmas, que tem por objetivo identificar as atividades a serem desenvolvidas nas diversas fases e a determinação ou alocação dos custos associados. No Capítulo 3, item 3.7.2, estão descri-

tas várias formas de realizar o desdobramento da atividade de projeto do produto: orientado às funções do produto; às atividades a serem realizadas; ou ao produto pela sua decomposição em subsistemas e componentes.

Nos casos de desenvolvimento de produtos novos é mais adequado utilizar o desdobramento nas funções do produto, conforme apresentado no Capítulo 7, na descrição do desenvolvimento da estrutura funcional do método da síntese funcional. Havendo essa decomposição, pode-se efetuar o desdobramento do custo do produto, determinando ou alocando o custo de cada função por sua importância ou complexidade, determinadas por métodos como Delphi e Pareto. Aqui os métodos são utilizados para avaliar os percentuais de custo ou de complexidade de cada uma das funções do produto.

Para o desenvolvimento de produtos de inovação, no desdobramento de custos, também é usado o desdobramento do processo de desenvolvimento nas atividades que deverão ser realizadas ao longo do ciclo de vida do produto. A Figura 8.5 mostra um modelo de desdobramento de custo do ciclo de vida que é uma simplificação da estrutura de desdobramento proposta por Blanchard e Fabrycky (1990). O desdobramento de custo mostrado é de macroatividades e já apresenta um nível apropriado para estimativas de custo no projeto conceitual. O desdobramento do processo de desenvolvimento de produtos abordado no Capítulo 2, item 2.4, no que se refere às tarefas, é adequado para a determinação do custo do ciclo de vida nas fases de projeto preliminar e detalhado em que já se requer uma precisão maior.

Nos casos de reprojeto ou desenvolvimento de produtos pelo processo de engenharia reversa, dispondo do produto, dos desenhos e/ou componentes que o constituem, o desdobramento mais fácil e apropriado para a estrutura de custo do ciclo de vida é o mostrado na Figura 3.9, Capítulo 3, de estrutura de desdobramento do produto em seus componentes.

8.3.4 Seleção de modelos de custo para análise

Como foi mencionado anteriormente, na análise de custo do projeto de um produto devem ser considerados diferentes pontos de vista, entre os quais:

- identificação de concepções ou soluções alternativas viáveis;

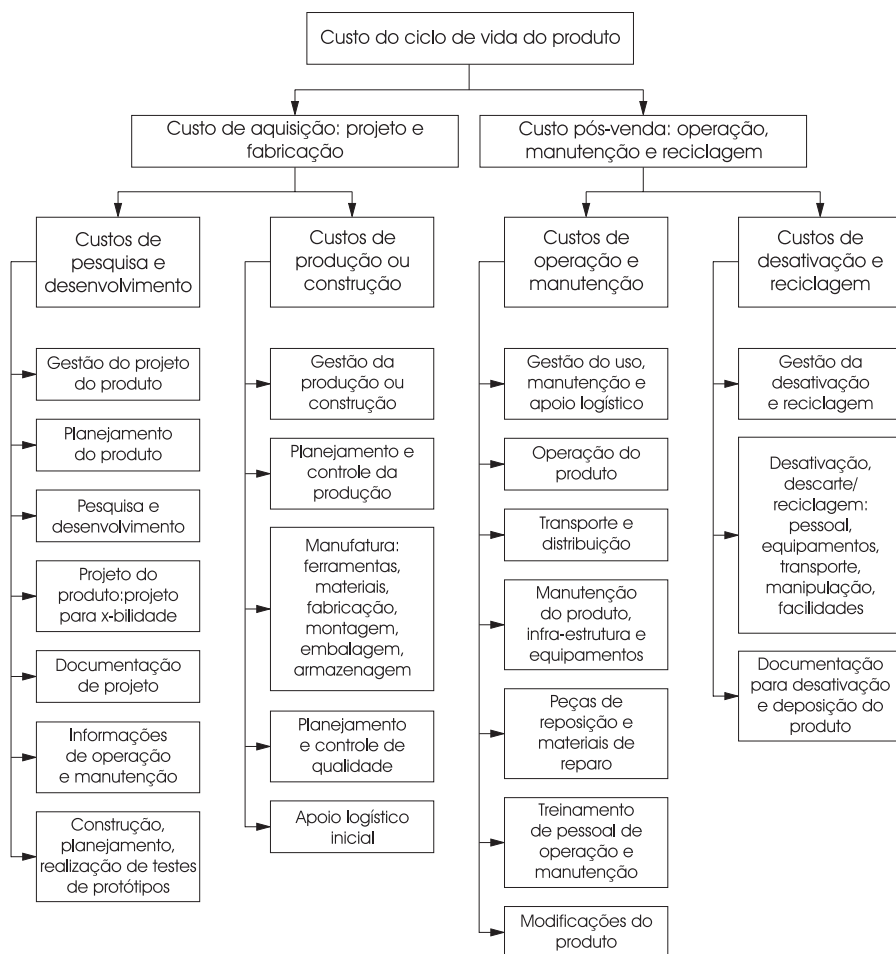


Figura 8.5 Estrutura de desdobramento do custo do ciclo de vida do produto (adaptado de Blanchard e Fabrycky, 1990).

- estágio atual de desenvolvimento do projeto;
- precisão de avaliação de custos requerida;
- determinação de custo de aquisição, do custo do ciclo de vida ou de uma atividade do processo de desenvolvimento;
- se é um projeto de inovação, uma evolução de produto existente ou um projeto de engenharia reversa;
- forma de comparação ou critério de seleção das concepções alternativas, de mínimo custo total, menor tempo de retorno do investimento, máximo lucro;
- recursos e tempo disponíveis para a análise de custo.

Com base nessas considerações, devem-se escolher os modelos ou métodos mais apropriados para a determinação dos custos, a viabilidade econômica e a seleção da melhor concepção entre as alternativas desenvolvidas para o produto.

Nos próximos itens da metodologia proposta, serão descritos, de forma resumida, vários métodos dando indicações de aplicações, dentro de cada passo da metodologia de análise, e suas vantagens e limitações. Entre os diversos métodos, serão apresentados alguns modelos de estimativa ou determinação de custos, curvas de aprendizagem, perfis de custos, fluxo de caixa e tempo de retorno de investimento, mínimo custo total, máximo retorno e máximo lucro.

8.3.5 Elaboração de estimativas de custo

A literatura apresenta uma variedade muito grande de métodos de estimativa de custos. Em geral, esses métodos podem ser enquadrados nos seguintes tipos:

- equações matemáticas baseadas em análise de regressão de dados históricos;
- relações baseadas em características físicas, parâmetros técnicos ou características de desempenho do produto;
- alocação ou decomposição do custo-meta total nos custos de funções, montagens ou componentes do produto (de cima para baixo – *top-down*). Esse tipo de método é também chamado de método de analogia;
- relações de custo com o volume de produção, entre estas as curvas de aprendizagem ou de experiência;
- custo do produto pela modelagem ou composição dos custos unitários dos recursos utilizados ao longo de todo o ciclo de vida (de baixo para cima – *bottom-up*).

No primeiro tipo, com base em dados históricos, pode-se efetuar uma previsão de custo de produtos a serem produzidos (Figura 8.6).

A Figura 8.6 apresenta uma equação linear, mas podem ser ajustadas curvas não lineares, exponenciais, parabólicas, dependendo dos dados históricos disponíveis.

Nos métodos paramétricos são estabelecidas relações do custo do produto de acordo com certas características físicas ou parâmetros do produ-

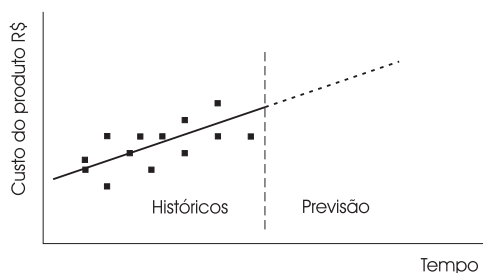


Figura 8.6 Previsão de custo pela extrapolação de dados históricos.

to. Como exemplos típicos de estimativa de custo em função de parâmetros do produto têm-se: custo direto de mão-de-obra ou custo total em função do custo ou do peso de material; custo indireto (*overhead*) como uma porcentagem dos custos diretos; custo total de um equipamento em função de sua capacidade de carga, produção ou seu tamanho. Esses são métodos indicados para estimar o custo do produto nas fases iniciais de projeto, mas podem-se cometer erros ao serem desconsiderados certos custos ou quando, no novo produto, forem usadas novas tecnologias.

É muito freqüente a empresa desenvolver novos produtos dentro de uma determinada família ou então semelhantes a produtos concorrentes. Nesses casos, se existirem semelhanças ou similaridades de tecnologias ou de número de componentes, o custo do produto a ser desenvolvido pode ser estimado por analogias. Se o custo-meta total está definido, o método de decomposição é usado para obter os custos das funções, subsistemas ou componentes do produto. Sendo um projeto de evolução de um produto já existente, os custos dos subsistemas ou componentes podem ser determinados pela avaliação das percentagens de contribuição no custo total, determinada por uma equipe de avaliadores.

No caso de um produto de inovação, não há dados sobre subsistemas ou componentes do futuro equipamento. Como descrito no Capítulo 7, o primeiro dado que se obtém é uma estrutura de funções ou as funções que o produto deverá possuir. Então, determinando fatores de importância percentual dessas funções, pode-se estimar ou alocar custos aos subsistemas correspondentes das funções proporcionalmente aos valores desses fatores.

Outra forma de estimar o custo do produto é em função do volume de produção. Com o aumento do número de unidades produzidas ocorre uma redução do custo; primeiramente, porque os custos fixos são distri-

buídos em um número maior de produtos e, segundo, porque com a repetição das atividades ocorre um aprendizado e aumento de experiência na fabricação dos produtos subsequentes. Essa aprendizagem e a associada redução de custos se verificam em todas as atividades do ciclo de vida como consequência da familiarização dos colaboradores na realização das atividades, do desenvolvimento de métodos mais eficientes na fabricação e montagem das peças, de ferramentas mais apropriadas e melhoramentos no gerenciamento do processo. A redução de custo é em geral representada pelas chamadas curvas de aprendizagem (Figura 8.7). Nesta figura, cada curva representa a redução do custo da unidade para um valor de $x\%$ cada vez que dobra o volume de produção. Assim, a curva inferior indica que a quinta unidade tem o custo de 70% de produção da primeira unidade, a décima unidade custa 70% da quinta ou 49% da primeira. De forma semelhante tem-se as outras curvas, mas com 90% de redução a cada vez que se duplica o número de unidades produzidas.

As curvas de aprendizagem ou de redução de custo por unidade de produção podem ser expressas pela equação:

$$C_i = C_1 \cdot i^{-K} \tag{8.1}$$

em que C_1 é o custo da primeira unidade, i é a i ésima unidade produzida e K uma constante de declividade a ser determinada pelo ajuste de curvas de experiência.

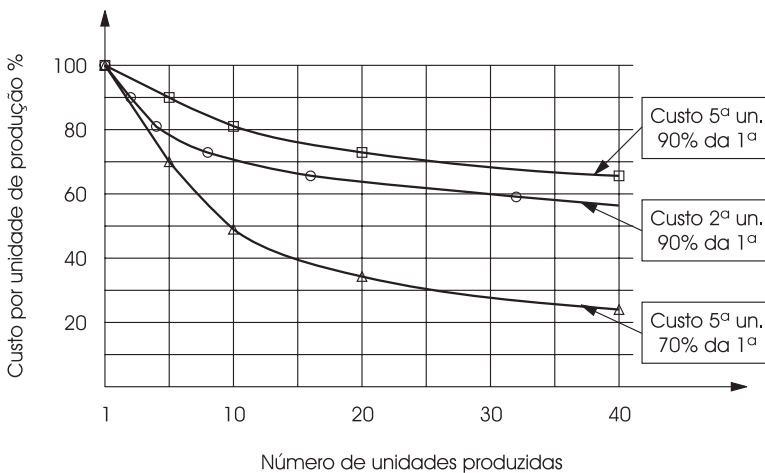


Figura 8.7 Curvas de aprendizagem, mostrando a redução dos custos das unidades de produção.

A forma mais completa de estimativa é a de composição dos custos de todas as atividades ao longo do ciclo de vida do produto. Para que o processo seja eficaz, é necessário um detalhado desdobramento do ciclo de vida em suas atividades e um banco de dados de custos unitários de mão-de-obra de projeto, de materiais, de manufatura, informações e treinamentos, manipulação e transporte, facilidades, instalações, gerenciamento, operação, confiabilidade, manutenção, descarte, reciclagem entre muitos outros. Blanchard e Fabrycky (1990) apresentam, no apêndice C de sua obra, um modelo detalhado que pode ser adotado como referência para o cálculo do custo do ciclo de vida de produtos. Esse método de estimativa de custo requer que o projeto já esteja em estágio avançado de desenvolvimento, sendo mais apropriado para avaliações na fase do projeto detalhado.

A Figura 8.8 dá orientações para a aplicação dos métodos de estimativa ao longo das fases de projeto e de fabricação. A figura mostra que, para as primeiras fases, os métodos paramétricos e de equação de ajuste de dados históricos são os mais recomendados para a estimativa dos custos totais. Nas fases intermediárias, quando o escopo e o projeto conceitual já foram definidos, os métodos analógicos são os mais apropriados. E, finalmente, quando o projeto detalhado do produto e o projeto do processo de fabricação já estão concluídos, os modelos de composição dos custos permitem fazer uma estimativa final e mais precisa.

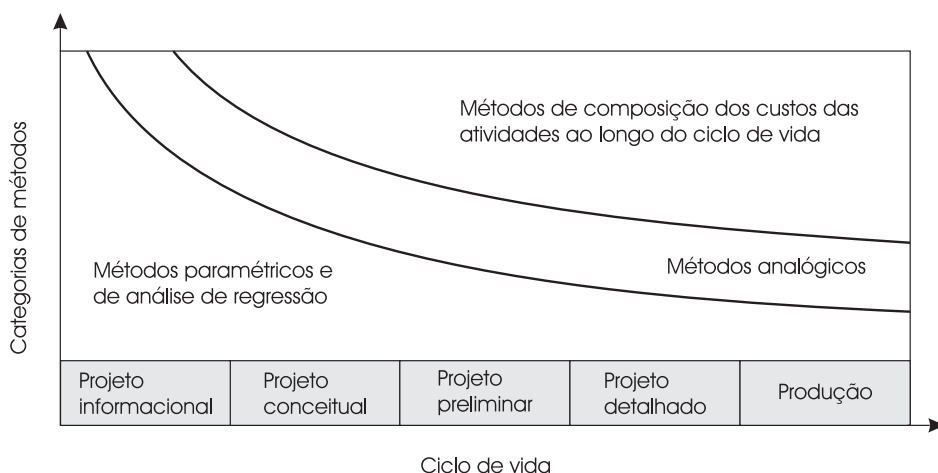


Figura 8.8 Orientação de métodos de estimativa de custo ao longo das fases de projeto e fabricação.

8.3.6 Desenvolvimento de perfis de custo

Determinados os custos ao longo do ciclo de vida, o passo seguinte é o processamento desses dados para que se possa efetuar uma análise dos mesmos ou, então, comparar os resultados com outros de concepções alternativas para o mesmo problema. A apresentação dos dados de custos ao longo do tempo em que se realizam é feita de duas formas: os custos são expostos nos perfis das concepções alternativas em valores atuais (valor presente, momento da tomada de decisão), podendo então comparar os perfis para efeito de seleção da solução de perfil mais apropriado; na outra forma, os dados de custo são representados ao longo do ciclo de vida, à época das despesas, considerando variações de custos e de inflação, permitindo uma visão e mesmo comparações de orçamentos das concepções alternativas.

Os passos a serem seguidos na construção e análise desses perfis são os seguintes:

- identificar todas as atividades, ao longo do ciclo de vida, que geram custos na forma da estrutura de desdobramento de custo (Figura 8.5) e estimar seus custos conforme descrito no item anterior;
- identificar os fatores de correção para transformar os custos ao longo do ciclo de vida em valores presentes ou atuais, no momento da tomada de decisão. Os fatores de correção são influenciados por inflação, variações de preços de materiais e componentes, variações salariais, juros etc.;
- converter esses custos, mês a mês ou ano a ano, em valores presentes e traçar os perfis de custo (Figura 8.9), perfis de três concepções alternativas, no caso;
- analisar o perfil dessas concepções alternativas. Nesta figura, a concepção I pode ser interpretada como uma solução de custo inicial elevado, por exemplo, no projeto e fabricação e custo baixo ao longo do seu uso, manutenção até o descarte. A concepção III, ao contrário, representa uma concepção de baixo custo no projeto e fabricação, mas um custo elevado nas fases de uso e manutenção. A concepção II é intermediária às duas anteriores. A primeira seria uma solução de projeto e fabricação de alta confiabilidade e qualidade, logo de baixos custos de uso e manutenção. Na concepção III ter-se-ia uma solução de tendências contrárias às da primeira;

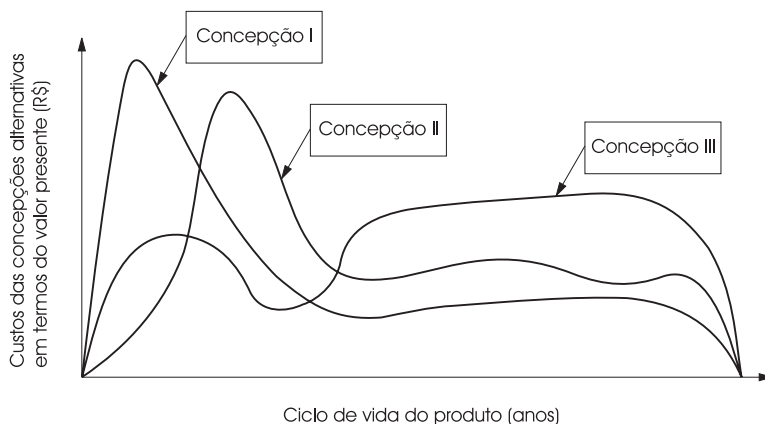


Figura 8.9 Representação dos perfis de custo de concepções alternativas.

- selecionar a concepção de melhor qualidade. Conforme descrito no item anterior, a concepção I apresentaria um custo de aquisição elevado e um custo mais baixo nas fases de pós-venda. Na concepção III, ao contrário, ter-se-ia um custo de aquisição mais baixo, mas um custo de uso e de manutenção mais elevado e, portanto, de qualidade mais baixa;
- selecionar a concepção com o menor custo total do ciclo de vida. Este menor custo total é o menor somatório de todos os custos, ou a menor área sob os perfis da Figura 8.9. Dessa forma, ter-se-ia um segundo critério para selecionar uma concepção.

Como visto na Figura 8.9, há perfis de custos dados em valor presente, em uma mesma base, para efeito de comparação de soluções alternativas. Se os dados forem, agora, projetados no futuro, de mês a mês ou ano a ano, introduzindo fatores de correção, de inflação, curvas de aprendizagem, elevação de custos de mão-de-obra e outras variações de custos, ter-se-á um perfil de orçamento de forma semelhante ao anterior, porém útil, para verificar quais as despesas ou recursos monetários necessários ao longo do tempo no ciclo de vida do produto.

8.3.7 Elaboração da análise do ponto de equilíbrio

Outra forma de realizar a análise e comparação de concepções alternativas para o projeto de um produto é através da chamada análise do ponto de equilíbrio (*break-even analysis*), que é a determinação do momento em

que ocorre o equilíbrio entre os gastos realizados e a receita com a venda dos produtos. Esse ponto também é conhecido como o período de retorno do valor do investimento inicial (*payback time*).

Para fazer essa análise é necessário efetuar o levantamento dos custos ou investimentos necessários para projetar e produzir, bem como efetuar uma previsão da receita, ao longo do tempo, prevista na comercialização do respectivo produto. Para efetuar a comparação de concepções alternativas, os investimentos e as receitas, ou seja, o fluxo de caixa, devem ser colocados sob uma mesma base, na forma do valor atual ou presente.

O valor presente é calculado pela seguinte equação:

$$VP = \frac{VF}{(1+i)^n} \quad (8.2)$$

Nesta equação, o valor futuro VF no ano n , havendo uma taxa de interesse i , é transformado no valor presente VP .

A Figura 8.10 apresenta os gráficos do fluxo de caixa de duas concepções de projeto. A concepção I tem um investimento maior, leva mais tempo para haver retorno, mas dá um retorno total maior até o final do período de produção. A concepção II apresenta um investimento inicial menor, um tempo de retorno menor e uma receita total menor.

Qual das duas soluções seria então a melhor? Isso depende dos seguintes pontos de vista: prevendo a maior receita, a alternativa I seria a escolhida; como o desenvolvimento de produção de produtos é uma atividade de risco, a solução II, por apresentar investimento e tempo de retorno do investimento menores, é a solução preferida sob o ponto de vista de menor risco.

8.3.8 Identificação de elementos ou funções de alto custo

Considerando-se um caso hipotético e tendo sido determinados e atualizados os custos de todas as atividades previstas ao longo do ciclo de vida, como descrito nos dois primeiros passos do item 8.3.6, e adotando-se uma estrutura de desdobramento de custos (Figura 8.5), pode-se montar a Tabela 8.2.

Na tabela se observam, com facilidade, quais as atividades que apresentam porcentagem elevada de contribuição nos custos. Esses itens devem ser submetidos à análise com o objetivo de verificar as possíveis

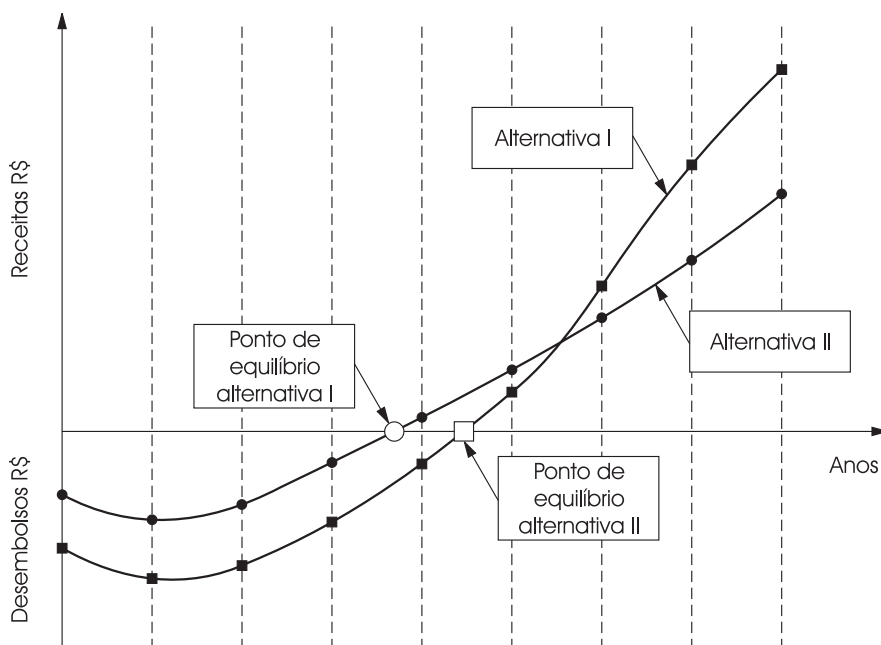


Figura 8.10 Fluxo de caixa de soluções alternativas de projeto e análise do ponto de retorno de investimento.

causas dos custos elevados e quais seriam as decisões de projeto que permitiriam reduzi-los. Por exemplo, a manutenção e peças de reposição contribuem com os valores de 10,8% e 6,48%, respectivamente. Somando esses dois termos, a manutenção contribui com 17,28% do total do custo do ciclo de vida do produto. O custo de manutenção é alto quando resulta de um produto de baixa confiabilidade, ou quando ocorrem muitas falhas de componentes ou deterioração de materiais. Consegue-se aumentar a confiabilidade de várias formas, entre as quais: utilizar redundâncias; utilizar melhores materiais e processos de fabricação; reduzir a taxa de utilização de componentes; adotar políticas de manutenção mais eficazes; etc. Estas são formas de reduzir os custos de manutenção, embora possa aumentar os custos de projeto e fabricação do produto.

Outro exemplo de análise é o alto custo de operação de 27%. Este alto valor poderia ser pelo baixo índice de automação do equipamento e uso de mão-de-obra de alto custo, ou, então, por insumos caros. Para redução desses custos de operação, o caminho mais provável de sucesso é a alteração do projeto do produto, aumentando-se o índice de automação, o rendimento no consumo ou a adoção de alternativas de consumíveis.

Tabela 8.2 Custos das atividades do ciclo de vida de um produto

Itens	Categorias de custos das atividades do ciclo de vida do produto	Custos (R\$) - valor presente	Custos percentuais (%)
1	Pesquisa e desenvolvimento	44.000	8
1.1	Gestão do projeto do produto	4.400	0,8
1.2	Planejamento do projeto	2.200	0,4
1.3	Pesquisa	6.600	1,2
1.4	Projeto do produto	24.200	4,4
1.5	Documentação de projeto	2.200	0,4
1.6	Manuais de operação e manutenção	2.200	0,4
1.7	Construção e testes de protótipos	2.200	0,4
2	Produção	192.500	35
2.1	Gestão da produção	19.250	3,5
2.2	Planejamento e controle da produção	19.250	3,5
2.3	Materiais, fabricação e montagem	134.750	24,5
2.4	Planejamento e controle da qualidade	9.625	1,75
2.5	Apoio logístico inicial	9.625	1,75
3	Operação e manutenção	297.000	54
3.1	Gestão do uso, manutenção e apoio	14.850	2,7
3.2	Operação do produto	148.500	27
3.3	Transporte e distribuição	14.850	2,7
3.4	Manutenção, infra-estrutura e equipamentos	59.400	10,8
3.5	Peças de reposição e materiais de reparos	35.640	6,48
3.6	Treinamento de operação e manutenção	14.850	2,7
3.7	Modificações do produto	8.910	1,62
4	Desativação e reciclagem	16.500	3
4.1	Gestão de desativação e reciclagem	3.300	0,6
4.2	Desativação	11.000	2
4.3	Documentação de desativação e deposição	2.200	0,4
	Custo total do ciclo de vida	550.000	100

8.3.9 Realização da análise de sensibilidade

Identificados os custos das atividades do ciclo de vida do produto e, como visto no item anterior, a contribuição percentual de cada uma, no passo seguinte é conveniente procurar por relações entre os custos des-

sas atividades. As variações das entradas de uma atividade afetam seus próprios custos ou os de outras atividades.

No item anterior verificou-se que uma melhora no projeto do produto, a escolha de melhores materiais e processos de fabricação, em geral, reduzem os custos de manutenção. Essa melhora no projeto e nos materiais e processos de fabricação geralmente aumenta os seus próprios custos e, como consequência, o custo de aquisição do produto. A análise de sensibilidade consiste neste processo em determinar as causas e a relação entre as variáveis e verificar quais são os seus efeitos para obter uma solução de menor custo total.

Como outro exemplo de análise de sensibilidade, considera-se o custo elevado de 3% na atividade de desativação e reciclagem mostrada na Tabela 8.2. As possíveis causas para o custo elevado dessa atividade seriam: a utilização de materiais pouco recicláveis; componentes que falharam ou materiais do equipamento desativado que requerem condições especiais de deposição; e resíduos da fabricação ou de consumíveis altamente poluentes. Como formas de reduzir esses custos, poder-se-iam selecionar alternativas de materiais, processos de fabricação e consumíveis e desenvolver um projeto com maior confiabilidade para reduzir componentes que falham. Essas melhorias provavelmente aumentarão seus próprios custos e, certamente, reduzirão custos de desativação e reciclagem. A intensidade de variação de cada atividade é uma importante decisão de projeto.

8.3.10 Realização da análise de riscos

A determinação do custo do ciclo de vida é altamente dependente de suposições e estimativas efetuadas durante a coleta de dados de custo. É possível melhorar o processo utilizando dados históricos, estatísticos, de fornecedores e apoio de especialistas, embora sempre haja certo grau de incerteza ou risco de erro nessas avaliações. Segundo Woodward (1997), as incertezas nesse processo têm as seguintes fontes:

- diferenças entre o desempenho esperado e o atual dos subsistemas podem afetar os futuros custos de operação e manutenção;
- mudanças nos perfis de operação e manutenção, provocadas pelas modificações nas atividades dos usuários;

- problemas técnicos não previstos;
- avanços tecnológicos futuros que poderiam resultar em alternativas de custo menor e encurtar a vida útil das alternativas de solução propostas;
- mudanças nos preços de energia ou de mão-de-obra poderiam tornar outras alternativas de recursos mais atrativas em termos de custos;
- imprecisões na base de dados, erros nas relações de estimativa e mudanças nas taxas de custo e inflação entre o tempo de estimativa e o de aquisição dos recursos.

Havendo essas incertezas na determinação desses custos, deve ser determinada a probabilidade de ocorrência dos erros e estudados os meios para eliminar ou mitigar seus efeitos.

8.3.11 Recomendação da solução preferida

Concluída a análise do custo do ciclo de vida, deve ser elaborado um relatório no qual serão descritas as concepções que apresentam viabilidade econômica, indicando as hipóteses consideradas na estimativa de custos, bem como as recomendações e orientações sugeridas para melhorar as concepções.

Esse resultado é o ponto de partida para a seleção final da concepção, quando os outros atributos do produto serão considerados, como está descrito no Capítulo 9.

8.4 Aplicações da análise de custo nas tomadas de decisão no processo de projeto

Nas discussões anteriores deste capítulo, foram dados vários exemplos de aplicação da análise de custo do ciclo de vida do produto. Para deixar mais clara a importância dessa análise, um resumo de possíveis aplicações será apresentado a seguir, entre as quais, algumas já mencionadas nos itens anteriores:

1. A primeira e mais importante aplicação do custo do ciclo de vida é a determinação da viabilidade econômica do produto. Sendo um

- produto comercializável, a viabilidade econômica indica que o custo deve ser menor do que o preço de venda, permitindo lucros da empresa fabricante, um requisito indispensável.
2. A análise do custo do ciclo de vida é aplicada como suporte na seleção da melhor concepção global entre diversas soluções alternativas. Como critérios de custo, descritos nos itens anteriores, tem-se: menor custo de aquisição; menor custo total do ciclo de vida; menor tempo de retorno do investimento.
 3. A determinação dos custos das atividades ao longo do ciclo de vida permite realizar a análise de compromissos entre especificações de projeto e, com isso, determinar os níveis mais apropriados de certos atributos. Nesse tipo de aplicação, a análise de custos pode ser adotada para decidir o nível de confiabilidade mais apropriado, considerando somente o efeito da elevação da confiabilidade sobre os custos de produção e manutenção. A Figura 8.11 mostra o efeito de variação da confiabilidade sobre o custo de produção e custo de manutenção. Como mostra a figura, o custo de produção cresce quando se requer mais confiabilidade e o custo de manutenção decresce, pois ocorrem menos falhas. Levando em conta a soma desses custos ter-se-ia um valor ótimo de confiabilidade, onde o custo total apresenta o mínimo. Caso semelhante poderia ser mostrado considerando o efeito da precisão de fabricação sobre os custos de fabricação e montagem. O custo de fabricação cresce e o custo de montagem decresce com a precisão. Considerando a soma, uma precisão de mínimo custo total seria encontrada.
 4. A análise de custo das atividades desenvolvidas ao longo do ciclo de vida pode ser aplicada a outras inúmeras tomadas de decisão, tais como: seleção da melhor alternativa de aquisição de componente; escolha do perfil alternativo de operação e de condições de meio ambiente; componentes normalizados, ou não; alternativa de canais de distribuição, embalagem, transporte, manipulação e armazenamento; relações entre operação manual e automática; testes embutidos ou externos etc.

Seguindo esse raciocínio, poderiam ser listadas outras tantas formas em que a análise de custo do ciclo de vida dá suporte na busca da melhor alternativa de projeto do produto.

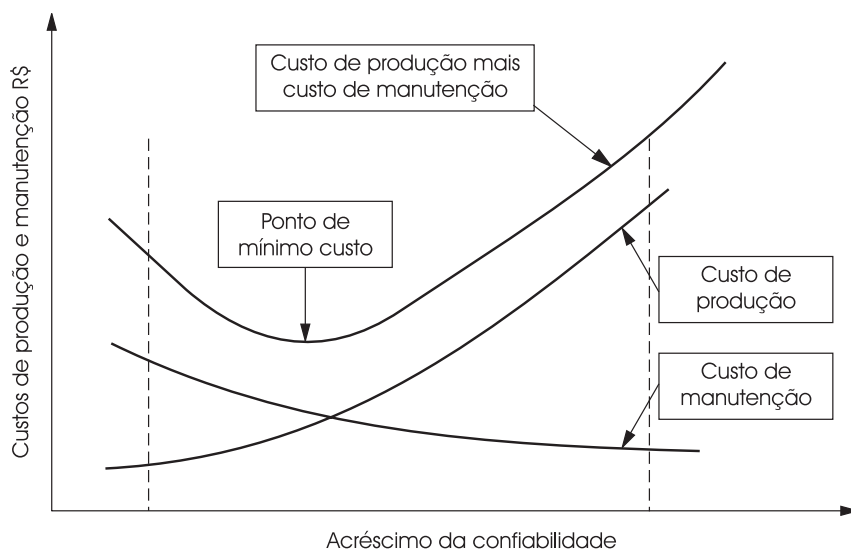


Figura 8.11 Custos de produção e manutenção em função da confiabilidade.

8.5 Controle de custos de desenvolvimento do produto

Como visto neste capítulo, o conhecimento do custo do ciclo de vida de um produto tem dois objetivos principais: primeiramente, sob o ponto de vista de projeto, para verificar qual concepção apresenta o menor custo total ou o mais adequado perfil de custo, dando suporte à decisão de escolher a melhor solução para dar continuidade ao desenvolvimento; segundo, na aquisição de um equipamento e para selecionar a melhor proposta sob o ponto de vista do custo do ciclo de vida.

Ao tomar a decisão de adquirir um equipamento com base no custo do ciclo de vida ou no desenvolvimento do produto, é necessário monitorar e controlar o projeto para verificar se as atividades progredem de acordo com o que foi planejado. Para alcançar esse objetivo, a gerência deve estabelecer procedimentos de monitoramento e de controle que incluem: geração de relatórios; rastreamento de fatores críticos de sucesso; e estabelecimento de esquemas de incentivo.

No controle de custos deve haver as seguintes preocupações: influenciar os fatores que provocam mudanças no custo-meta de modo a obter benefícios resultantes de possíveis variações; determinar variações no custo

realizado em relação ao custo planejado; e gerenciar as mudanças quanto ao modo e ao momento em que elas ocorrem.

Para efetuar o monitoramento e o controle, é conveniente que os custos sejam determinados cumulativamente na forma do orçamento ao longo do período do ciclo de vida (Figura 8.12). Dessa forma, o monitoramento e o controle dos custos são realizados pelas seguintes ações:

- monitoramento do desempenho dos custos, verificando os gastos realizados conforme a curva de gastos;
- registro das mudanças havidas para detectar as variações em relação ao planejado;
- gerenciamento das mudanças, autorizando as que trazem benefícios e impedindo as inadequadas;
- identificação das razões das variações, as que provocaram resultados tanto positivos quanto negativos;
- notificação das mudanças autorizadas, se houver, às partes envolvidas para garantir que estas sejam registradas e implementadas.

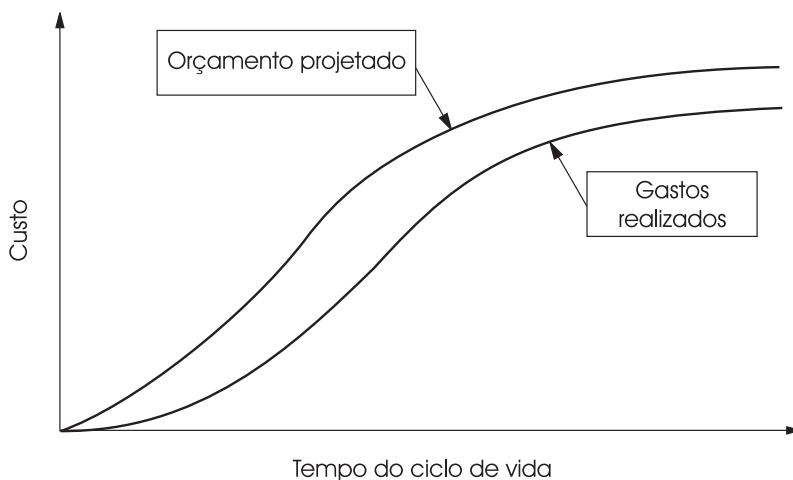


Figura 8.12 Curva de orçamento projetado e de gastos realizados acumulados ao longo do ciclo de vida do produto.

Uma forma mais objetiva e quantitativa de acompanhamento e análise dos custos de um projeto é pela utilização do conceito de valor agregado (*Earned Value – EV*). Para o melhor entendimento desse conceito considere-se a Figura 8.13, na qual os valores representados de acordo com Kerzner (2001) são definidos como segue:

- $ACWP$ = custo atual do trabalho executado na data de controle (*Actual Costs of Work Performed*);
- $BCWS$ = custo planejado do trabalho programado (*Budgeted Cost for Work Scheduled*);
- $BCWP$ = valor do trabalho executado (*Budgeted Cost for Work Performed*);
- ECC = projeção do custo na conclusão do projeto (*Estimated Cost at Completion*);
- BCC = custo-meta ou planejado do projeto na conclusão (*Budgeted Cost at Completion*);
- PO = projeção do acréscimo de custo na conclusão do projeto (*Projected Overrun*);
- $CV = BCWP - ACWP$ = é a variação entre o custo planejado para o trabalho executado e o custo atual do trabalho executado (*Cost Variance*). Se este valor for negativo, então o custo planejado foi ultrapassado.
- $SV = BCWP - BCWS$ = é a variação entre o custo planejado para o trabalho executado e o custo planejado para o trabalho programado (*Schedule Variance*). Se este valor for negativo, tem-se a condição de atraso na programação.
- TV = variação entre tempo programado e de execução (*Time Variance*).

Os valores de CV e SV são, em geral, colocados sob a forma de índices percentuais, como segue:

$$ICV\% = \frac{CV}{BCWP} \times 100; \quad (8.3)$$

$$ISV\% = \frac{SV}{BCWS} \times 100 \quad (8.4)$$

Na forma da equação 8.3, quando o valor é negativo, o valor planejado foi ultrapassado, e quando positivo, o trabalho realizado custou menos. Só calculando o valor CV tem-se um valor de despesa a mais ou a menos em real (R\$) do trabalho realizado; já o valor $ISV\%$ indica a ordem de grandeza do desvio do cronograma previsto para o projeto.

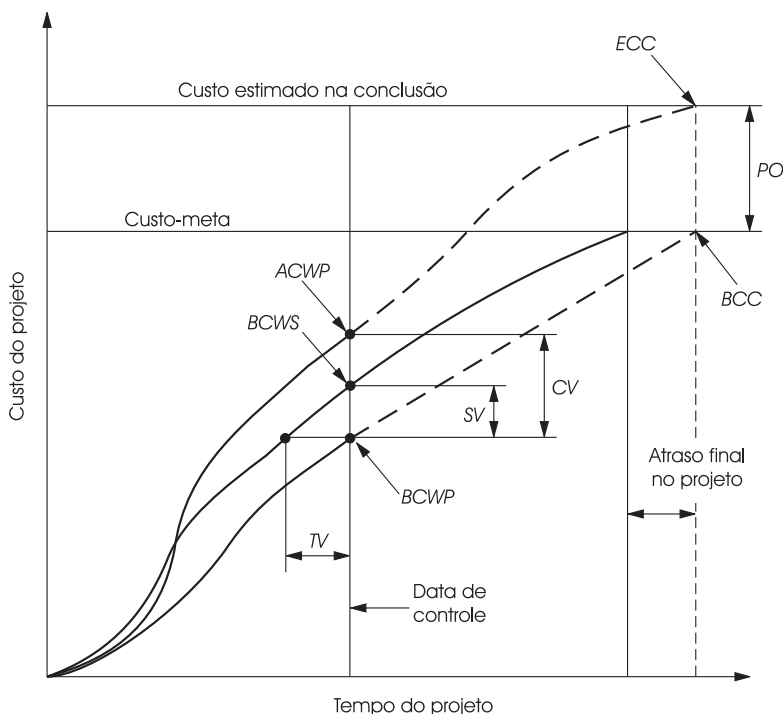


Figura 8.13 Representação da análise do valor agregado (*Earned Value Analysis*), (Kerzner, 2001).

8.6 Resumo

Neste capítulo foram tratados os aspectos gerais de custos que a equipe de desenvolvimento deve conhecer, para que possa desenvolver ou identificar uma concepção economicamente viável, comparar concepções alternativas e adotar princípios de projeto que tornem o produto mais competitivo sob este ponto de vista. Como principais conclusões têm-se as seguintes:

1. A avaliação do custo e a preocupação em obter a solução de menor custo devem ocorrer ao longo de todo o processo de desenvolvimento do produto, especialmente nas fases de projeto informacional, conceitual, preliminar e de projeto detalhado, pois é nessas fases, e por decisões de projeto, que se comprometem cerca de 95% dos custos do ciclo de vida do produto.
2. O custo total do ciclo de vida compreende os custos de todas as atividades desenvolvidas ao longo do período, desde o planejamento até a desativação

ou reciclagem do produto. É conveniente que esse custo seja decomposto em duas grandes classes: os custos de aquisição e os custos de pós-venda.

- 3. O custo de aquisição, ou preço do produto, compreende os custos de pesquisa, projeto, construção e teste de protótipos, elaboração de informações de operação e manutenção do produto, fabricação do produto, custos de administração, custos de garantia e o lucro da empresa fabricante.*
- 4. Os custos de pós-venda, ou operação, e manutenção referem-se aos recursos necessários a embalagem, transporte, manipulação, armazenagem, instalação, operação, manutenção, potenciais custos de processos de responsabilidade civil, desativação e reciclagem.*
- 5. O custo de pós-venda de equipamentos, em geral, é maior do que o custo de aquisição e é fortemente influenciado por decisões adotadas no projeto porque, atualmente, o usuário começa a optar por um produto que tenha o menor custo ao longo de todo o seu ciclo de vida.*
- 6. O custo de aquisição e, mais recentemente, o custo do ciclo de vida do produto tornaram-se fatores de competitividade cada vez mais importantes porque, com a globalização, a grande maioria dos produtos vem apresentando uma maturidade próxima em termos de tecnológicos e estéticos e, assim, o custo é o principal dado de decisão do consumidor.*
- 7. Como o custo do ciclo de vida depende essencialmente das decisões tomadas nas fases de projeto, o termo de projeto para custo é adotado para expressar a orientação que a equipe de projeto deve ter ao buscar soluções de mínimo custo em todas as fases de desenvolvimento do produto ou que mantenham o custo total abaixo de um custo-meta estabelecido.*
- 8. Solução economicamente viável é aquela em que o custo de produção é menor do que o preço de venda do produto, garantindo, assim, um lucro para a empresa produtora.*
- 9. Métodos de estimativa de custo são formas de determinar o custo das soluções desenvolvidas por meio de: equações matemáticas baseadas em análise de regressão de dados históricos; relações baseadas em características físicas, parâmetros técnicos ou características de desempenho do produto; alocação ou decomposição do custo-meta total nos custos de funções, montagens ou componentes do produto (de cima para baixo, top-down); e pela modelagem ou composição dos custos unitários dos recursos utilizados ao longo de todo o ciclo de vida (de baixo para cima, bottom-up). Os primeiros métodos dão menor precisão e são recomendados para a estimativa nas fases de projeto conceitual e preliminar. O método de composição dos custos unitários*

- é mais recomendado para a fase de projeto detalhado, quando já se requer maior precisão de resultados.*
10. *Os métodos de análise de custo são utilizados para efetuar comparações entre concepções alternativas e, assim, selecionar a alternativa mais adequada adotando-se diversos critérios, tais como: mínimo custo de aquisição; mínimo custo do ciclo de vida; máximo retorno de investimento; perfis de fluxo de caixa e tempo de retorno de investimento.*
 11. *Análise de custo do ciclo de vida é uma sistemática analítica que adota, passo a passo, figuras de mérito nas várias fases do desenvolvimento para chegar a uma solução eficaz no que concerne ao seu custo. É um processo iterativo efetuado ao menos uma vez em cada uma das fases de projeto do produto, ou, melhor, toda vez que se avalia o projeto em desenvolvimento, para verificar se é uma solução economicamente viável.*
 12. *Para realizar a análise de custo do ciclo de vida, uma equipe multidisciplinar é necessária, com conhecimento em diversas áreas: engenharia; estatística; informática e matemática; finanças; vendas e economia. Um ambiente de engenharia simultânea é o mais apropriado.*
 13. *A análise de custo do ciclo de vida tem como principais aplicações: determinação da viabilidade de concepções de projeto; suporte à seleção da melhor concepção; definição dos níveis de atributos conflitantes mais apropriados, efetuando uma análise de compromisso e determinação de quais são as atividades mais críticas do ciclo de vida em termos de custos elevados.*

8.7 Problemas e temas de discussão

1. Defina os seguintes termos: custo do ciclo de vida; análise de custo do ciclo de vida; projeto para custo e viabilidade econômica do produto.
2. O que você entende por custo: direto; indireto; fixo; variável; por unidade de produção; de aquisição; e de pós-venda?
3. Quais são as principais razões para determinar o custo do ciclo de vida do produto?
4. Descreva os principais métodos de estimativa de custos de um produto.
5. O que entende por estrutura de desdobramento de custos? Para que ela serve?

6. Qual é a diferença entre estrutura de desdobramento de custos e estrutura de desdobramento do trabalho? Quais são os possíveis relacionamentos entre as duas estruturas?
7. Quais são as possíveis orientações adotadas no desdobramento de custo de produtos e qual é a recomendação de uso, considerando-se projetos de produtos novos ou projetos de evolução?
8. Quais são as recomendações de aplicação, ao longo das fases de desenvolvimento do projeto do produto, dos diferentes métodos de estimativa de custo? Qual é a ordem de precisão que se obtém com cada um desses métodos?
9. Descreva o processo de análise do custo do ciclo de vida do produto.
10. O que entende por perfis de custo do ciclo de vida de concepções alternativas? Quais são os benefícios que esses perfis trazem para realizar a análise de custo do ciclo de vida do produto?
11. O que entende por análise do ponto de equilíbrio (*break-even analysis*)? Como essa análise pode auxiliar na seleção da melhor solução entre concepções alternativas?
12. Por que deve ser usado o valor atual ou presente na comparação de concepções alternativas, adotando os métodos dos perfis de custo, do ponto de equilíbrio e do custo total do ciclo de vida?
13. Quais são as razões de redução do custo da unidade de produção em função do volume de produção e que pode ser representada pela curva de aprendizagem?
14. Explique as diferenças entre custo do ciclo de vida e orçamento de um projeto, no que diz respeito aos conceitos e perfis de representação.
15. Os métodos de estimativa de custos são diversos e com diferentes precisões. Indique quais métodos são mais apropriados a cada uma das fases de desenvolvimento do projeto, dando as principais razões de tais relacionamentos.
16. Quais seriam as orientações que a equipe de projeto deveria adotar para definir o preço da proposta de fornecimento de um equipamento, considerando dois casos: equipamento para atender a uma função totalmente nova; e outro para uma função similar a equipamentos que já tenham experiência.

8.8 Referências bibliográficas

- AHMED, N. U. "A design and implementation model for life cycle cost management system". *Information & Management*. v.28, n.4, 1995, p.260-261.
- BARTON, J. A.; LOVE, D. M.; TAYLOR, G. D. "Design determines 70% of cost? A review of implications for design evaluation". *Journal of Engineering Design*. v.12, n.1, 2002, p.47-58.
- BLANCHARD, B. S.; FABRYCKY, W. J. *Systems engineering and analysis*. New Jersey, Prentice Hall, 1990.
- DAHLÉN, P.; BOLMSJÖ, G. S. "Life-cycle cost analysis of the labor factor". *International Journal of Production Economics*. v.46, 1996, p.459-467.
- DURAIRAJ, S. K.; ONG, S. K.; NEE, A. Y. C.; TAN, R. B. H. "Evaluation of life cycle cost analysis methodologies". *International Journal Corporate Environment Strategy*. v.9, n.1, Feb/2002, p.30-39.
- FABRYCKY, W. J.; BLANCHARD, B. S. *Life cycle cost and economic analysis*. New York, Prentice-Hall, 1991.
- HALOG, A. Selection of Sustainable product improvement alternatives. Karlsruhe, 2002. 245p. Thesis (Doctor in Economy). Faculty of Economy, Fridericiana University.
- KERZNER, H. *Project management: a systems approach to planning, scheduling and controlling*. New York, John Wiley, 2001.
- PROJECT MANAGEMENT INSTITUTE – PMI. *Um guia do conjunto de conhecimentos do gerenciamento de projetos*. Maryland, Project Management Intitute, 2002. 218p.
- WOODWARD, D. G. "Life cycle costing – theory information acquisition and applications". *International Journal of Project Management*. v.15, n.6, 1997, p.335-344.

Capítulo 9

Processo de avaliação e seleção de concepções do produto

9.1 Introdução

A seleção de soluções ocorre em todas as fases do desenvolvimento de um produto, mas, na fase final do projeto conceitual, essa atividade é realizada com mais profundidade e abrangência, visando identificar a melhor concepção dentre as alternativas desenvolvidas, conforme descrito nos Capítulos 6 e 7. A seleção da concepção tem consideráveis conseqüências sobre os negócios da empresa, a manufatura, o uso, a manutenção e a comercialização do produto. Decisões errôneas, nessa fase do processo, podem tornar-se irreversíveis ou muito dispendiosas para ser revertidas mais tarde se a solução escolhida já estiver em produção.

A seleção da solução no final da fase do projeto conceitual é um momento de tomada de decisão muito importante durante o processo de projeto do produto. Nessa fase, as informações sobre as concepções alternativas submetidas à seleção estão, em geral, em um estágio inicial, são abstratas, esquemáticas e incompletas. É por estas razões que uma metodologia de seleção é muito importante para garantir que a melhor ou a mais adequada concepção seja escolhida.

Na literatura são encontradas várias proposições de métodos de seleção, desde as mais simples até as estruturadas ou sistematizadas (Back, 1983, Kerzner, 2001, Otto e Wood, 2001, Li e Azarm, 2000 e Ullman, 1992).

Como proposições simplificadas para a seleção de soluções têm-se várias formas ou métodos:

- as concepções são submetidas a consumidores, usuários ou a outras organizações para a tomada de decisão na escolha das soluções;
- um executivo ou dirigente decide pela solução que é levada até o fim ou até que seja evidenciada a sua inviabilidade;
- havendo uma necessidade operacional para o sucesso da empresa e se a solução atende à mesma, deve ser escolhida;
- uma solução é escolhida por atender ao requisito de ser uma extensão de uma linha de produtos;
- a concepção é escolhida por intuição, sem adoção de nenhum critério explícito ou análise de compromisso;
- a concepção com maior número de votos da equipe é a escolhida;
- construção e teste de protótipos de todas as concepções geradas, sendo escolhida aquela que apresenta o melhor resultado.

No caso do processo de seleção sistematizado, recomenda-se que este seja efetuado em duas etapas (Mistree *et al.*, 1995). Na primeira, busca-se uma triagem das soluções para identificar quais as que atendem aos critérios gerais estabelecidos, que normalmente é realizada sob uma forma qualitativa. Na seqüência, essas soluções são submetidas a uma segunda etapa, na qual as soluções que passaram pela triagem são ordenadas pela qualidade, adotando-se métodos de avaliação e ordenação sistematizados e quantitativos (Stoll, 1999).

Os métodos adotados para a triagem das soluções são mais intuitivos, do tipo listagem de prós e contras, passa não passa, melhor ou pior, se atende ou não a determinados limites ou restrições. Os métodos adotados na segunda etapa envolvem: estabelecimento de critérios de seleção geralmente quantitativos; estabelecimento de pesos de importância de cada um dos atributos; valoração dos critérios para as diferentes soluções alternativas; e determinação do valor de uma função critério global ou função utilidade para cada solução alternativa, tendo por objetivo a ordenação das concepções.

No próximo item é apresentada uma metodologia para o desenvolvimento da triagem e da ordenação de soluções, quando serão descritos métodos alternativos para cada atividade do processo de seleção. A apresentação de métodos alternativos tem vários motivos: mesmo que os métodos de desenvolvimento de concepções sejam orientados para a obtenção de múltiplas soluções, nem sempre a equipe de projeto consegue desenvolver muitas soluções e, tão semelhantes que exigem métodos sofisticada-

dos, com valoração de múltiplos critérios para diferenciá-las. A seleção de soluções não é somente adotada para determinar a melhor concepção no final da fase de projeto conceitual, mas também ao longo de todo o projeto do produto, na escolha do material, do processo de fabricação, do perfil de uso e manutenção e em tantos outros problemas semelhantes, quando os métodos devem ser menos dispendiosos; os diferentes tipos de projeto de inovação, evolução, variação e o projeto reverso, como descrito no Capítulo 5, apresentam diferentes níveis de abstração e, assim, também requerem métodos com diferentes complexidades e abrangências em seu processo de seleção da melhor solução.

De acordo com as considerações anteriores, há tipos de projetos e necessidades de tomada de decisão em diferentes estágios de desenvolvimento, mas a metodologia descrita a seguir considera o caso mais geral e complexo: a avaliação e a seleção da solução no final do projeto conceitual de um produto de inovação.

9.2 Metodologia de avaliação e seleção da concepção

No Capítulo 8 foram mostrados métodos de seleção de soluções usando somente o custo para efeito de comparação. Dentre os valores de custos estabelecidos como critério de seleção, foram destacados o custo de aquisição, o custo do ciclo de vida do produto, o tempo até o início do retorno de investimento, o valor do retorno de investimento ou de lucro máximo. Como foi visto, também são adotadas formas sistemáticas para determinação desses valores, mas considera-se somente um critério, o custo. A viabilidade econômica e a viabilidade física são requisitos indispensáveis para qualquer problema de projeto de produto.

No caso de ser necessário um estudo aprofundado para a seleção da melhor concepção, é conveniente desenvolver um processo sistematizado, com as atividades apresentadas na Tabela 9.1, onde são considerados métodos de múltiplos atributos e, geralmente, numéricos.

9.2.1 Descrição e apresentação das concepções alternativas

Conforme descrito nos Capítulos 6 e 7, no processo de geração, as informações das concepções são mais qualitativas do que quantitativas,

geralmente abstratas, esquemáticas ou verbalmente descritas. Nos métodos intuitivos, *brainstorming*, Delphi, questões evocativas e listagem de atributos, descritos no item 6.2, as soluções normalmente são apresentadas por informações verbais. No caso do método da matriz morfológica, recomenda-se apresentar as soluções de forma esquemática, como mostrado na Figura 6.6. No método da síntese funcional, as soluções podem ser apresentadas por estruturas funcionais (Figura 7.5) ou de forma esquemática (Figura 7.6).

Tabela 9.1 Atividades do processo de avaliação e seleção da concepção do produto

Nº	Atividades	Métodos	Resultados
1	Descrição e apresentação das concepções alternativas	Reunião da equipe de projeto	Concepções apresentadas
2	Apresentação e seleção de critérios generalizados	Análise da lista de critérios generalizados	Critérios generalizados do produto
3	Escolha do método de triagem	Métodos: passa não passa, atendimento de limites, método de Pugh	Método de triagem selecionado
4	Elaboração da triagem das concepções	Método de triagem selecionado	Concepções que passaram a triagem
5	Detalhar e rerepresentar as concepções viáveis	Descrição escrita e verbal, com desenhos esquemáticos	Concepções rerepresentadas e analisadas
6	Definição dos critérios específicos	Dimensionamento dos atributos generalizados	Critérios específicos dimensionados
7	Escolha do método de valoração das concepções	Método da função utilidade	Método de valoração escolhido
8	Determinação dos pesos dos critérios	Método de Delphi e de comparação de critérios	Valores de importância dos critérios
9	Valoração dos critérios	Avaliação das soluções e valoração dos critérios	Critérios valorados
10	Determinação do valor da função utilidade e ordenação das concepções	Ordenação por valores absolutos ou relativos	Concepções ordenadas
11	Análise das melhores concepções	Análise de sensibilidade e dos perfis das concepções	Seleção da melhor concepção

De acordo com as considerações apresentadas, esses métodos propiciam a geração de várias concepções alternativas e, para tornar o primeiro estágio de triagem de soluções viáveis mais expedito, é suficiente uma descrição abstrata, textual e esquemática simplificada. É recomendável que o nível de descrição e apresentação das diversas concepções alternativas seja o mesmo. Um nível de detalhamento diferente pode levar a decisões tendenciosas na escolha das soluções. Na apresentação das concepções, deve-se relacionar as vantagens e desvantagens de cada uma, bem como uma denominação ou acrônimo e não apenas um número para identificá-las.

9.2.2 Apresentação e seleção dos critérios generalizados

Para iniciar a triagem das concepções geradas ou verificar aquelas que apresentam viabilidade, o ponto de partida é o estabelecimento de critérios ou os limites que permitem distinguir as soluções úteis daquelas que devem ser abandonadas.

Como descrito no item anterior, na fase do projeto conceitual, as informações das concepções são geralmente abstratas e esquemáticas, dificultando a comparação das soluções, em conformidade com o conjunto das especificações de projeto elaboradas na forma descrita no Capítulo 5. Assim, recomenda-se adotar, na atividade de triagem das concepções, critérios generalizados e qualitativos em menor número, para separar as concepções viáveis das inviáveis. Esses critérios devem ser claramente definidos, independentes, não ambíguos, redigidos positivamente, igualmente aplicáveis a todas as concepções e que avaliam um único atributo de qualidade.

Cada projeto tem suas próprias características e, como consequência, um conjunto de critérios mais apropriado para selecionar as concepções viáveis. Para o estabelecimento desse conjunto pode-se buscar referência em uma base de dados de atributos típicos de produtos, como mostrado na Tabela 5.1. Na apresentação e seleção dos critérios generalizados para o problema em estudo, recomenda-se que os mesmos sejam desdobrados ou que sejam definidos seus parâmetros de avaliação. O desdobramento tem por objetivo um melhor entendimento e visão do critério generalizado, é útil e também preparatório para o estabelecimento de critérios específicos para a segunda etapa do processo de ordenação e seleção da melhor solução. Tanto ele quanto a determinação do conjunto de critérios

específicos devem basear-se fundamentalmente nas especificações de projeto do produto, que, por sua vez, se originam das necessidades dos usuários do projeto e do produto.

A Tabela 9.2 traz exemplos típicos de critérios generalizados, desdobramento em critérios específicos e parâmetros de avaliação dos mesmos.

Uma vez analisados os critérios generalizados, e confrontando-os com o problema em desenvolvimento, escolhem-se os critérios mais adequados e o método de triagem das soluções viáveis, como descrito a seguir.

Tabela 9.2 Exemplos de critérios generalizados e específicos de seleção de concepções

Nº	Critérios generalizados típicos	Critérios específicos típicos	Dimensões dos critérios específicos
1	Atendimento à função	Seqüência das operações Tempos de execução Precisão de movimentos Velocidades de movimentos	Qualitativo (s) (micrômetro ou rad) (rad/s ou m/s)
2	Tecnicamente viável	Princípio de solução viável Materiais disponíveis Fabricação e montagem viável	Qualitativo Qualitativo Qualitativo
3	Viabilidade econômica	Custo mínimo de produção Tempo de retorno de investimento Lucro sobre investimento	(R\$) (meses) (%)
4	Fácil manutenção	Custo de manutenção preventiva Custo de manutenção corretiva Tempo médio de manutenção preventiva Tempo médio de manutenção corretiva	(R\$) (R\$) (h-homem) (h-homem)
5	Alta confiabilidade	Probabilidade de sucesso Taxa de falhas Tempo médio entre falhas Criticalidade das falhas	(%) (Falhas/hora de operação) (h) Qualitativo
6	Boa aparência	Forma plástica agradável Unidade de composição Contraste de cores	Qualitativo Qualitativo Qualitativo
7	Fácil uso	Arranjo dos controles Aprendizado de uso fácil Forças de acionamento Fácil leitura de mostradores	Qualitativo Qualitativo (N) Qualitativo

continua

Tabela 9.2 Exemplos de critérios generalizados e específicos de seleção de concepções (*continuação*)

Nº	Critérios generalizados típicos	Critérios específicos típicos	Dimensões dos critérios específicos
8	Apropriado ao meio ambiente	Processo de fabricação não poluente Mínimo consumo de energia Mínimo custo de reciclagem Mínimo de contaminação	Qualitativo (J) (R\$) Qualitativo
9	Fácil transporte	Fácil manipulação Dimensões compactas Resistência à aceleração	Qualitativo (m ³) (m/s ²)
10	Alta inovação	É patenteável Diferenciação tecnológica adequada	Qualitativo Quantitativo
11	Segurança	Atende às normas Baixo risco de acidentes	Qualitativo Qualitativo
12	Fácil armazenagem	Sem acondicionamento de ambientes Altura de empilhamento	Qualitativo (m)

9.2.3 Escolha do método de triagem

A triagem de soluções pode ser efetuada de forma rápida, verificando se atendem à função do produto, se são física e economicamente viáveis.

Outra forma mais sistematizada de triagem é a feita por comparação, adotando-se como referência uma das concepções desenvolvidas de um produto existente, um modelo anterior, um produto concorrente ou, ainda, parâmetros limites para diferenciar as soluções viáveis das inviáveis. Recomenda-se o método de Pugh (Otto e Wood, 2001), simples e fácil de aplicar, o qual permite evidenciar as melhores soluções, identificar as viáveis quando a concepção de referência é viável ou um modelo de produto existente. No método, os critérios generalizados são introduzidos em uma matriz (Tabela 9.3) e, em geral, são considerados com igual importância ou peso (Pugh, 1991). As soluções, denominadas por acrônimos e não por simples números, são registradas nas colunas com a solução de referência adotada para comparação.

Na coluna da solução de referência, para cada critério registra-se o valor zero (0). Para as outras concepções, cada critério é comparado com o correspondente da solução de referência e, se for melhor, registra-se um

sinal positivo (+); sendo igual, assinala-se com zero (0) e, caso seja pior, adota-se o sinal negativo (-).

9.2.4 Elaboração da triagem das concepções

Após registradas na matriz de decisão as concepções (a serem submetidas à triagem), a solução de referência e os critérios generalizados, o passo seguinte é a avaliação das concepções. Considerando um critério por vez atribui-se um conceito para cada concepção alternativa.

A avaliação dos critérios deve ser elaborada pela equipe de projeto e, em geral, recomenda-se a participação de especialistas em determinadas áreas específicas, usuários e fornecedores de componentes. A valoração deve ser efetuada por consenso dos participantes e emitidos os conceitos com o registro dos sinais (+), (-) ou (0).

Avaliados todos os critérios e, no presente, considerando um problema hipotético, têm-se preenchidas todas as células da matriz (Tabela 9.3). Somando os conceitos de cada concepção, podem-se separar as melhores soluções daquelas não satisfatórias. Considerando-se os dados simulados na Tabela 9.3, observa-se que as concepções LM, XY, AB e REF podem ser destacadas para estudos mais aprofundados na segunda fase do processo de seleção, abandonando as demais.

Antes de prosseguir com o processo de seleção, é conveniente que as alternativas viáveis sejam analisadas com o objetivo de verificar a possibilidade de melhorar essas concepções ou, então, obter novas soluções pela combinação das resultantes da triagem.

9.2.5 Detalhar e reapresentar as concepções viáveis

Na segunda fase do processo de seleção, geralmente, um reduzido número é submetido à análise mais detalhada com o objetivo de diferenciar e ordenar as concepções alternativas do produto considerando-se múltiplos critérios. Para que isso seja efetuado com mais eficácia, é conveniente que as concepções sejam descritas em mais detalhes, identificando os princípios de solução dos subsistemas e as possíveis tecnologias e riscos envolvidos no desenvolvimento, fabricação e uso do produto.

As concepções devem ser reapresentadas e discutidas pela equipe de desenvolvimento, considerando, também, os critérios específicos identificados (Tabela 9.2).

Tabela 9.3 Triagem de concepções adotando o método de Pugh

Nº	Critérios generalizados adotados	Concepções alternativas geradas					
		Sol. REF.	Sol. AB	Sol. BD	Sol. XY	Sol. JK	Sol. LM
1	Desempenho de função	0	+	+	-	-	0
2	Viabilidade econômica	0	0	-	+	-	0
3	Fácil uso	0	+	0	+	-	0
4	Alta confiabilidade	0	-	-	0	0	+
5	Fácil manutenção	0	-	-	0	0	+
6	Boa aparência	0	+	0	+	0	+
7	Segurança	0	0	0	+	-	+
8	Fácil transporte	0	0	-	+	+	0
9	Fácil armazenagem	0	+	+	0	-	0
10	Reciclagem econômica	0	0	-	+	0	+
Soma de (+)		0(0)	4(+)	2(+)	6(+)	1(+)	5(+)
Soma de (-)		0(-)	2(-)	5(-)	1(-)	5(-)	0(-)
Soma de (0)		10(0)	4(0)	3(0)	3(0)	4(0)	5(0)
Resultado final (+) + (-)		0(+)	2(+)	3(-)	5(+)	4(-)	5(+)

9.2.6 Definição dos critérios específicos

Na apresentação das concepções, analisando-as conjuntamente aos critérios específicos, a equipe de desenvolvimento deve preocupar-se com a revisão desses critérios, procurando melhorá-los e complementá-los. De forma semelhante ao caso da triagem, na segunda etapa da seleção deve-se considerar, para definição e redação dos critérios, as seguintes diretrizes:

- em sua definição, os critérios específicos deverão ser desdobramentos dos critérios generalizados;
- os critérios específicos devem abranger as especificações relevantes e as restrições impostas da forma mais completa possível, de tal forma que um critério essencial não seja ignorado;
- individualmente, e na medida do possível, os critérios devem ser independentes uns dos outros, de modo que providências adotadas para melhorar um critério não afetem os demais;
- os critérios deverão ser expressos, tanto quanto possível, por parâmetros quantitativos, mensuráveis e positivos;

- quando os critérios não puderem ser avaliados por parâmetros mensuráveis, estes deverão ser expressos em termos verbais qualitativos.

A Tabela 9.2 apresenta exemplos de critérios generalizados, seus desdobramentos em critérios específicos e possíveis formas de mensuração na forma quantitativa ou qualitativa. Para serem definidos os critérios, deve haver consenso na equipe de projeto, mas o fundamental é que as soluções atendam aos seguintes aspectos:

- compatibilidade com as capacidades atuais da empresa e dos fornecedores: linha de produtos existentes, espaços, equipamentos, ferramentas, dispositivos de fixação, habilidades operacionais, gerenciais e de engenharia;
- riscos de desenvolvimento: dificuldades técnicas ou habilidades de atender aos prazos de lançamentos do produto;
- satisfação dos usuários: desempenho da função, custos de utilização e manutenção, vantagens competitivas, participação no mercado;
- diferenciação dos produtos concorrentes: inovação tecnológica, facilidade de cópia e capacidade de contra-ações, possíveis reações da concorrência;
- financeiros: os custos de desenvolvimento, fabricação, marketing e outros devem garantir elevado retorno de investimento no menor tempo, para que seja um negócio atraente e permita re-investimentos em novas tecnologias, facilidades e pesquisas para futuros produtos.

9.2.7 Escolha do método de valoração das concepções

Para uma seleção ou ordenação mais precisa de concepções alternativas para o projeto de um produto, são estabelecidas funções que recebem diferentes denominações: função utilidade, objetiva, critério ou função mérito. Essas funções são apresentadas por equações de diferentes formas, tais como apresenta Sen (2001):

$$U_j = \sum_{i=1}^n w_i \cdot u_{i,j}; \quad (9.1)$$

$$U_j = \sum_{i=1}^n w_i |\log (u_{i,j})|; \quad (9.2)$$

$$U_j = \prod_{i=1}^n w_i \cdot u_{i,j} \quad (9.3)$$

em que:

U_j é o valor da função utilidade da concepção alternativa j ;

$u_{i,j}$ é o valor atribuído ao critério i da concepção alternativa j ;

w_i é o peso de importância do critério i ;

n é o número de critérios específicos adotados;

$j = 1$ a m , onde m é o número de concepções submetidas à avaliação.

A equação 9.1 é linear e trata todos os valores de critérios de forma similar. Na equação 9.2 os valores de critérios menores contribuem mais que os maiores na função mérito total. Na última equação 9.3, se um critério for valorado com o valor zero, a função utilidade total se anula, o que nem sempre expressa a realidade da utilidade da concepção. No caso de existência de critérios obrigatórios, e sendo esses valorados com zero, o que anula a concepção, podem-se reavaliar os critérios, ou rever as soluções das concepções, tendo em vista esse sistema de critérios.

A função linear da equação 9.1 é, em geral, a mais recomendada, pois proporciona um adequado ordenamento e é mais simples e de menor custo em sua utilização.

9.2.8 Determinação dos pesos dos critérios

Já foi mencionado no Capítulo 5 que os critérios devem ser estabelecidos tendo por base as necessidades dos usuários internos e externos e, por conseqüência, as especificações de projeto. Quando os critérios são definidos, dificilmente pode-se considerar que os mesmos tenham o mesmo peso ou sejam igualmente importantes. Assim, a equipe de projeto deve dar atenção especial à determinação dos valores dos pesos w_i . Usualmente, emprega-se o método de Delphi e o método de comparação ou importância relativa, aos critérios, um a um.

No método de Delphi considera-se que uma equipe avalia os valores dos pesos de importância dos critérios. Recomenda-se a formação de uma equipe de avaliadores, incluindo especialistas, fora da equipe de desenvolvimento do projeto. Os valores atribuídos pelos membros de avaliação são tratados estatisticamente, eliminando os valores de grande variância e determinando a média. Os valores atribuídos podem ser do tipo porcen-

tual, em escalas de 1 a 5, de 0 a 10, mas, com maior freqüência, adota-se o valor de 0 a 1, tal que:

$$\sum_{i=1}^n w_i = 1 \quad (9.4)$$

onde i é o i -ésimo critério e n , o número de critérios.

No método de avaliação dos pesos de importância pela comparação aos pares, da importância relativa dos critérios monta-se uma matriz (Tabela 9.4).

Tabela 9.4 Matriz de avaliação por comparação dos pesos dos critérios de seleção

		Critérios X_i						Soma da linha	Pesos
		X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	S_i	w_i
Critérios, X_i	X_1	-	1	0	0,5	1	0	2,5	0,167
	X_2	0	-	1	1	0	1	3	0,200
	X_3	1	0	-	1	0	0	2	0,133
	X_4	0,5	0	0	-	0,5	1	2	0,133
	X_5	0	1	1	0,5	-	0	2,5	0,167
	X_6	1	0	1	0	1	-	3	0,200

Na matriz, como sugere Stoll (1999), os critérios de seleção são indicados nas linhas e nas colunas. Comparando-se cada critério a cada um dos outros, decide-se qual dos dois é o mais importante a cada comparação. Ao critério mais importante atribui-se o valor 1 e, ao outro, o valor 0. Quando os dois critérios são considerados igualmente importantes, atribui-se o valor 0,5 a cada um. Assim são preenchidas todas as células da matriz, obtendo-se os valores de S_i .

Na seqüência efetua-se a soma dos valores de cada linha, obtendo-se os pesos absolutos S_i . Por último determinam-se os pesos relativos dos critérios pela equação:

$$w_i = \frac{S_i}{\sum_{j=1}^n S_j} \quad (9.5)$$

em que n é o número de critérios.

Considerando-se um caso hipotético tem-se, na última coluna da Tabela 9.4, os valores dos pesos de importância dos critérios de seleção.

9.2.9 Valoração dos critérios

Mesmo considerando que, nesse ponto do processo de seleção, as concepções que passaram pela triagem foram desenvolvidas com mais detalhes, como mencionado no item 9.2.5, as informações sobre as candidatas para o projeto conceitual do produto são, ainda, bastante abstratas e a valoração de cada um dos critérios u_{ij} para refletir com precisão a qualidade das diferentes concepções é um grande desafio.

O primeiro passo da etapa é a escolha da escala para valorar os critérios. Normalmente, por haver necessidade de valorar critérios qualitativos e quantitativos, é usada a escala de 1 a 5, mas outras escalas, de 0 a 8 ou 1 a 10, podem ser usadas quando se quer uma resolução maior.

Para os critérios qualitativos, a valoração é efetuada adotando os conceitos e os respectivos valores mostrados na Tabela 9.5. Critérios tais como estética, segurança e fácil aprendizado de uso de um equipamento se enquadram no tipo de critério qualitativo.

Tabela 9.5 Valoração de critérios qualitativos

Valoração qualitativa dos critérios	Valoração numérica dos critérios
Satisfatório	1
Regular	2
Bom	3
Muito bom	4
Excelente	5

Os critérios quantitativos são, em geral, mensuráveis por parâmetros contínuos. Para que os critérios possam ser aplicados, em conjunto com critérios qualitativos na função utilidade para estabelecer o escore das concepções, a valoração dos mesmos deve ser colocada sob a mesma base e na mesma escala de 1 a 5.

Para estabelecer a valoração desses tipos de critérios, tais como custo, potência, velocidade e rendimento, procede-se da seguinte forma (Stoll, 1999):

- para cada critério quantitativo, identificam-se os valores extremos, $A_{máx\ i,j}$ e $A_{mín\ i,j}$ nas diversas concepções submetidas à análise;
- se o valor máximo $A_{máx\ i,j}$ representa a solução preferencial, o parâmetro normalizado é dado pela equação:

$$R_{i,j} = \frac{A_{i,j} - A_{máx\ i,j}}{A_{máx\ i,j} - A_{mín\ i,j}} \quad (9.6)$$

onde o valor $R_{i,j}$ representa o parâmetro normalizado do critério i e da concepção j ;

- quando o menor valor do parâmetro indica a solução preferencial, a equação de normalização é a seguinte:

$$R_{i,j} = 1 - \frac{A_{i,j} - A_{máx\ i,j}}{A_{máx\ i,j} - A_{mín\ i,j}}; \quad (9.7)$$

- se os valores extremos dos critérios das concepções não representam dados para a valoração máxima ou mínima da concepção, então podem-se estabelecer valores ideais para $A_{máx\ i,j}$ e $A_{mín\ i,j}$, que serão introduzidos nas equações 9.6 e 9.7;
- para o valor máximo do parâmetro normalizado de um determinado critério, igual a 1, obtido para a concepção melhor qualificada ou uma solução ideal, atribui-se o valor 5 e, para o menor, o valor 1. Isto, para que os critérios quantitativos sejam colocados sob a mesma base, idêntica à valoração dos critérios qualitativos, mostrados na Tabela 9.5;
- para os valores intermediários, entre 0 e 1, deve-se efetuar uma valoração, que pode ser feita de forma intuitiva pela equipe, por especialistas ou por interpolação matemática.

As curvas de interpolação, entre os máximos e os mínimos, usadas para valorar os critérios das concepções intermediárias dependem de cada caso. Essas relações podem ser: constantes, lineares e não-lineares, como mostram respectivamente as Figuras 9.1a, b, c, e d. Nas relações de interpolação, como já mencionado, os extremos da curva, o mínimo e o máximo, não significam necessariamente as valorações de um critério da pior e melhor concepção gerada. Quer dizer, o menor parâmetro quantitativo obtido é maior do que o mínimo aceitável, ou o valor da melhor solução não alcançou o máximo desejável.

9.2.10 Determinação do valor da função utilidade e ordenação das concepções

Concluídas a valoração e a determinação dos pesos de importância dos critérios, o passo seguinte é o cálculo do valor da função utilidade

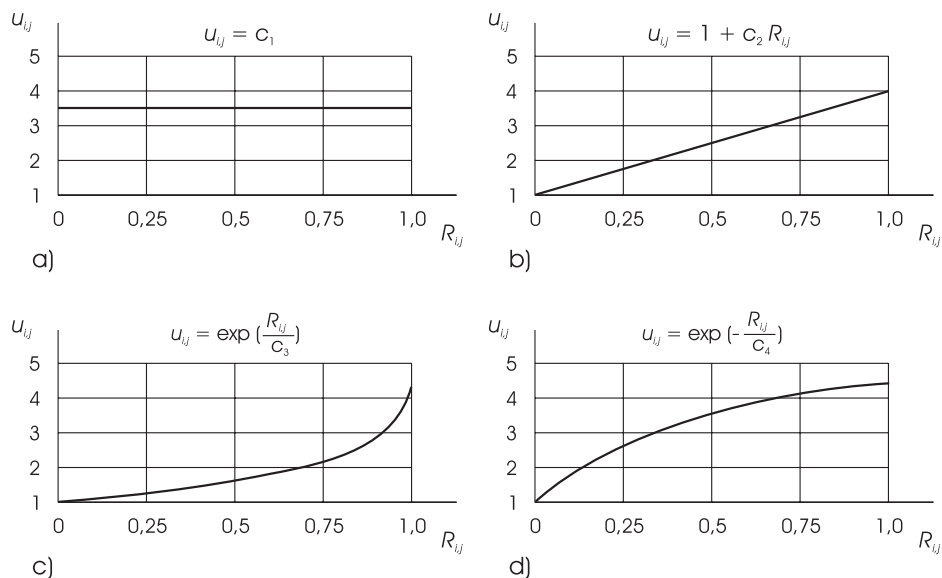


Figura 9.1 Funções de interpolação da valoração de critérios quantitativos de seleção.

das concepções para obter a ordenação das mesmas (Back, 1983). Supondo que as quatro melhores concepções da simulação apresentada na Tabela 9.3 sejam submetidas à segunda etapa do processo de seleção, adotando a equação 9.1, poder-se-ia obter um resultado como mostra a Tabela 9.6.

Nesta tabela, a primeira coluna registra os critérios de seleção específicos X_i e a segunda, os pesos dos critérios w_i . Nas demais colunas, para cada concepção, registra-se o parâmetro do critério que pode ser qualitativo ou quantitativo $A_{i,j}$, os parâmetros normalizados $u_{i,j}$ e os valores dos produtos w_i e $u_{i,j}$.

Na penúltima linha são registrados os valores da função utilidade de cada concepção e na última, a ordenação da qualidade das soluções, concluindo o processo de seleção da solução.

9.2.11 Análise das melhores concepções

A equipe de projeto não deve considerar a concepção que obteve o melhor escore como a solução definitiva, mas validar e comparar os resultados da valoração das melhores concepções e realizar uma análise de sensibilidade. Nessa análise determina-se a sensibilidade das soluções a variações nos pesos e nas valorações dos critérios de seleção. Isso é re-

Tabela 9.6 Determinação dos valores da função utilidade das concepções do produto

Critérios de seleção	Pesos dos critérios w_i	Concepções geradas											
		Concepção AB			Concepção LM			Concepção REF			Concepção XY		
		$A_{i,1}$	$U_{i,1}$	$w_i * U_{i,1}$	$A_{i,2}$	$U_{i,2}$	$w_i * U_{i,2}$	$A_{i,3}$	$U_{i,3}$	$w_i * U_{i,3}$	$A_{i,j}$	$U_{i,4}$	$w_i * U_{i,4}$
X_1	w_1												
X_2	w_2												
X_3	w_3												
X_4	w_4												
X_5	w_4												
X_6	w_5												
...	...												
...	...												
Valor da função utilidade		$\sum_{i=1}^n w_i * U_{i,1}$			$\sum_{i=1}^n w_i * U_{i,2}$			$\sum_{i=1}^n w_i * U_{i,3}$			$\sum_{i=1}^n w_i * U_{i,4}$		
Ordenação das concepções		3ª Posição			1ª Posição			4ª Posição			2ª Posição		

comendado porque as informações sobre as concepções ainda são muito abstratas. No Capítulo 12, é apresentado um maior detalhamento sobre análise de sensibilidade.

No que concerne à validação ao concluir a determinação dos valores da função de utilidade, como visto no item anterior, a equipe de trabalho está apta a identificar as melhores concepções e, quando o número é elevado, dividir as soluções em grupos cujos resultados da avaliação sejam comparáveis. As alternativas de um mesmo grupo usualmente apresentam certas características próprias. As características devem ser examinadas e, se forem desejáveis, incluídas como atributos adicionais numa revisão da seleção, para garantir que nenhum critério importante tenha sido omitido, valorando as concepções erroneamente. Os valores dos pesos de importância dos critérios de seleção e as respectivas valorações também devem ser re-examinados para verificar se não ocorreram julgamentos tendenciosos, especialmente se apresentaram resultados inesperados.

Quanto à análise de sensibilidade, ela se torna importante quando o número de alternativas em estudo é elevado e se as duas ou três melhores soluções apresentam valores próximos da função utilidade. A análise de

sensibilidade consiste na verificação dos efeitos de pequenas variações nos valores dos pesos de importância e na valoração dos critérios.

Durante o processo de seleção, já descrito, os pesos w_i são determinados pela experiência, por conhecimentos e preferências dos participantes da equipe. Assim, recomendam-se efetuar uma análise de sensibilidade do valor da função de utilidade, introduzir variações dos pesos de importância, verificando os efeitos sobre os resultados da valoração das concepções que apresentaram os melhores posicionamentos. Se suas posições não se alterarem, é bem provável que a mais bem posicionada inicialmente seja a melhor concepção.

Matematicamente, a análise de sensibilidade pode ser representada pelas equações:

$$\delta U_j = \pm \delta w_i * u_{i,j}; \quad (9.8)$$

$$U_j^{k+1} = U_j^k + \delta U_j \quad (9.9)$$

Nessas relações, j representa a solução na qual se efetua a análise de sensibilidade e i é o critério correspondente ao peso de importância submetido à variação. Se não houver alteração na ordem de posições das concepções, o processo de seleção é estável e a mais bem colocada é a melhor concepção. De forma semelhante pode-se efetuar a análise de sensibilidade ao introduzir variações nas valorações dos critérios.

Por fim, recomenda-se analisar os escores da função de utilidade de concepções que apresentam resultados muito próximos ou, mesmo, valores iguais (Pahl e Beitz, 1996). Essa análise é facilitada pela representação dos perfis de soluções, como mostra a Figura 9.2. As áreas mostradas nesta figura representam valores das parcelas da função utilidade da equação 9.1. Supondo que as duas melhores soluções obtiveram o mesmo escore no processo de seleção, 3,875, a forma de verificar qual é a melhor é a comparação do perfil, ou seja, aquela que apresenta valorações mais uniformes em todos os critérios, e não valores altos em critérios de pouco peso e valores menores em critérios de maior importância.

Comparando os dois perfis da Figura 9.2, observa-se que a solução da função utilidade U_1 apresenta valores mais uniformes da valoração dos critérios, ou mais próximos do valor médio de 3,875. Na solução U_2 tem-se o mesmo escore total de 3,875, mas uma maior dispersão em torno do valor médio, dos valores de $u_{i,2}$.

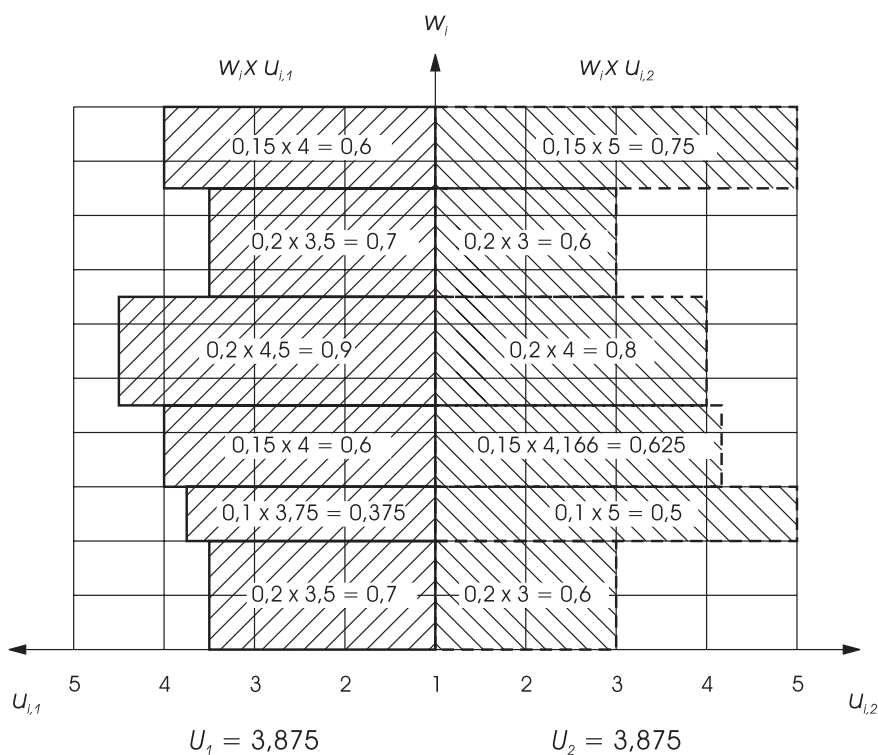


Figura 9.2 Comparação dos perfis da função de utilidade de duas concepções.

9.3 Resumo

1. A seleção da concepção tem consideráveis conseqüências sobre os negócios da empresa, a manufatura, o uso, a manutenção e sobre a comercialização do produto. Se não são tomadas decisões favoráveis nessa atividade, chega-se a situações irreversíveis ou muito dispendiosas para serem revertidas mais tarde, principalmente se a solução escolhida já estiver em produção.
2. As informações sobre as concepções alternativas que são submetidas à seleção no final da fase do projeto conceitual estão, em geral, em um estágio inicial, são abstratas, esquemáticas e incompletas. Portanto, é conveniente adotar uma metodologia de seleção para garantir que a melhor ou a mais adequada concepção seja escolhida.
3. Recomenda-se que o processo de seleção das concepções seja efetuado em duas etapas. Na primeira, busca-se uma triagem das soluções para identificar quais são as soluções que atendem a critérios gerais qualitativos

- e, na segunda, as soluções que passaram pela triagem são ordenadas pela qualidade, adotando-se métodos de avaliação e ordenação sistematizados e quantitativos.*
- 4. Na triagem das soluções viáveis são realizadas as seguintes atividades: descrição e apresentação das concepções alternativas geradas; apresentação de critérios generalizados; definição dos critérios de seleção aplicáveis ao problema; escolha do método de triagem; e elaboração da triagem das concepções viáveis.*
 - 5. Na segunda etapa, na valoração e ordenação das concepções que passaram pela triagem, são desenvolvidas as seguintes atividades: detalhamento e reapresentação das concepções viáveis; definição dos critérios específicos; escolha do método de valoração das concepções; determinação dos pesos dos critérios; valoração dos critérios; determinação do valor da função utilidade; ordenação das concepções; e análise das melhores concepções.*
 - 6. Os critérios específicos de seleção: devem ser complemento e desdobramento dos critérios generalizados; necessitam abranger as necessidades dos usuários, as especificações relevantes e as restrições impostas da forma mais completa possível; precisam ser independentes, de modo que as providências adotadas para melhorar um critério não afetem outros; critérios devem ser expressos por parâmetros quantitativos e mensuráveis; os critérios que não podem ser avaliados por parâmetros mensuráveis deverão ser expressos em termos verbais qualitativos.*
 - 7. Concluído o processo de determinação do valor da função utilidade das soluções, deve-se efetuar uma análise de validade dos resultados obtidos procedendo da seguinte forma: classificar as concepções em três grupos, por exemplo, as concepções de maior valor, menor e valor intermediário; examinar as características próprias de cada grupo e verificar se os critérios adotados tratam, igualmente e plenamente, todas as concepções ou se há necessidade de reformular os critérios e os correspondentes pesos de importância; se houver necessidade de reformulação, a valoração das concepções será repetida; para as três concepções mais bem posicionadas, por exemplo, verificar o efeito de variações na valoração dos critérios de seleção e dos pesos de importância sobre o valor da função utilidade dessas concepções; não havendo alterações na ordenação das concepções, o processo mostra-se estável, caso contrário, pode haver necessidade de reformular os critérios de seleção e os pesos; e, finalmente, os perfis das soluções devem ser construídos para apoiar a decisão final sobre a melhor concepção.*

9.4 Problemas e temas de discussão

1. Quais são as razões que levam a equipe de projeto a adotar um procedimento sistemático para a seleção da melhor concepção na fase final do projeto conceitual?
2. Para problemas de menor porte e de menor responsabilidade podem-se adotar métodos simplificados para a seleção da solução. Descreva alguns métodos expeditos de seleção de soluções.
3. Quais são as principais razões pelas quais se devem evitar a construção e o teste de protótipos de todas as concepções geradas e usar as informações abstratas das mesmas como base para selecionar soluções viáveis de um problema de projeto de produto?
4. Por que se recomenda realizar a seleção da melhor solução em duas etapas, a primeira de triagem e a segunda pela avaliação e ordenação das concepções? Cite, pelo menos, cinco razões.
5. Faça uma descrição das atividades da etapa de triagem de concepções destacando: o estado de informações na entrada e saída de cada atividade; os métodos de processamento das informações; e a constituição da equipe de trabalho.
6. Descreva os métodos usados na determinação dos pesos de importância dos critérios específicos na etapa de valoração e ordenação das concepções.
7. Quais são as diferenças típicas entre os conceitos de critérios generalizados, usadas na primeira etapa, e os critérios específicos da segunda etapa? Usando um problema de livre escolha, apresente exemplos dos dois tipos de critérios.
8. O método de seleção de Pugh permite uma ordenação qualitativa das concepções. Quais seriam as condições típicas nas quais esse método daria resultados suficientes para escolher a melhor concepção do produto?
9. A relação entre os parâmetros normalizados e os resultados da valoração dos critérios de seleção de concepções pode ser, por exemplo, constante, linear e não-linear (Figura 9.1). Explique essas relações em termos de condições típicas, da prática de desenvolvimento do produto, que poderiam levar a esses resultados.

10. Quais são as principais razões para construir o perfil dos resultados das concepções mais bem qualificadas ao longo do processo de seleção de concepções do produto?
11. Como a análise de sensibilidade pode mostrar que a realização do processo de seleção de concepções foi válida?
12. Há possibilidade de erros no processo decisório da seleção de concepções. Quais são os principais riscos que podem afetar os resultados?
13. Supondo que o problema seja a compra de um automóvel, estabeleça os critérios e os respectivos pesos para a seleção do modelo a ser adquirido.
14. Como o método do QFD descrito no Capítulo 5 pode auxiliar na definição dos critérios de seleção e, também, dos pesos de importância dos mesmos?
15. Considere um problema de desenvolvimento do projeto conceitual de um produto. Adotando um problema de livre escolha, em equipe, crie concepções alternativas e realize a seleção da melhor solução, usando a metodologia proposta neste capítulo.

9.5 Referências bibliográficas

- BACK, N. *Metodologia de projeto de produtos industriais*. Rio de Janeiro, Guanabara Dois, 1983.
- KERZNER, H. *Project management: a system approach in planning, scheduling and controlling*. 6.ed. New York, John Wiley & Sons, 2001.
- LI, H.; AZARM, S. "Product design selection under uncertainty and with competitive advantage". *Journal of Mechanical Design*. ASME. v.122, December 2000, p.411-418.
- MISTREE, F.; ALLEN, J. K.; KARANDIKAR, H.; SHUPE, J. A.; BASCARAN, E. "Learning how to design: a minds-on, hands-on, decision-based approach". 1995. Disponível em: URL: http://www.bhargav.com/books/Computers/Learning_How_to_Design.pdf; acessado em: 27/1/2007.
- OTTO, K.; WOOD, K. *Product design: techniques in reverse engineering and new product development*. New York, Prentice Hall, 2001.

- PAHL, G.; BEITZ, W. *Engineering design: a systematic approach*. 2.ed. London, Springer Verlag, 1996.
- PUGH, S. *Total design: integrated methods for successful product engineering*. Wokingham, Addison Wesley, 1991.
- SEN, P. "Communicating preferences in multiple-criteria decision making: the role of the designer". *Journal of Engineering Design*. v.12, n.1, 2001, p.15-24.
- STOLL, H. W. *Product design methods and practices*. New York, Marcel Dekker, 1999.
- ULLMAN, D. G. *The mechanical design process*. New York, McGraw-Hill, 1992.

Capítulo 10

Aspectos legais e éticos na inovação de produtos

10.1 Introdução

Ao desenvolver um produto ou serviço, os profissionais participantes da equipe de desenvolvimento e as empresas de produção, construção e comercialização devem estar cientes de suas responsabilidades perante as leis e normas vigentes e dos aspectos relacionados ao comportamento ético.

Nos tempos atuais de globalização é necessário conhecer as leis e normas nacionais, em primeiro lugar, e, havendo interesse na exportação dos produtos ou serviços, estes também devem estar em conformidade com a legislação internacional ou específica de cada país onde os mesmos serão comercializados.

O primeiro aspecto a ser observado é o relativo à proteção ou à infração de direitos no que tange à inovação. No levantamento de informações para gerar concepções do projeto têm-se, como fontes de informação principal, os produtos do mercado e os inúmeros bancos de patentes nos diversos países. Como já foi mencionado no Capítulo 7, um meio muito freqüente de desenvolvimento de um produto é a engenharia reversa, que, de fato, é a adoção de soluções de produtos existentes. Se esses produtos já comercializados não estiverem protegidos por patentes vigentes, não há impedimento legal para que sejam efetuadas cópias ou adaptações. Do mesmo modo, as invenções que não tenham patentes em vigência no país,

que sejam de domínio público, mesmo patenteadas em outros países, mas cujos pedidos não foram efetuados no Brasil, não apresentam impedimentos de utilização dessas informações em concepções de produtos que se pretende desenvolver aqui. A busca de informações em bancos de patentes será tratada no item 10.2 e os aspectos da patenteabilidade e das vantagens decorrentes da obtenção de uma patente serão discutidos no item 10.3. A preparação da documentação dos pedidos de patente, do registro de desenhos industriais e de marcas, bem como o seu processamento e tramitação, serão apresentados nos itens 10.4 e 10.5.

Quando o produto ou serviço é comercializado, os produtores e comerciantes dos mesmos têm a responsabilidade sobre a qualidade do desempenho, os possíveis acidentes, danos e prejuízos que poderão decorrer de seu uso. Esses aspectos da responsabilidade civil dos fornecedores e os direitos dos consumidores serão apresentados no item 10.6.

Obtida a patente ou o registro, estes devem ser protegidos, sob a tutela das leis vigentes, pelo próprio detentor dos privilégios concedidos. Para responder a possíveis contestações ou provar a autoria da inovação, é necessário estar preparado com meios e procedimentos discutidos no item 10.7. Nesse item serão apresentadas também algumas orientações aos profissionais que venham a atuar como peritos em ações de nulidade de patentes e em processos de responsabilidade civil.

No item 10.8 serão apresentados os aspectos éticos dos profissionais que atuam em atividades de desenvolvimento de produtos e de serviços e as suas responsabilidades perante a sociedade. Finalmente, nos itens 10.9 e 10.10, apresentar-se-á um resumo dos principais aspectos tratados e das conclusões do capítulo, questões e temas de discussão, tendo por objetivo a fixação dos conceitos estudados.

10.2 Busca de informações em bancos de patentes

O documento de patente vem sendo utilizado como valiosa fonte de informação tecnológica. Contribui para isso o fato de as patentes serem documentos uniformes. Existem diversos sistemas, adotados internacionalmente, que facilitam a recuperação de informações de interesse para empresas ou pesquisadores. Os pedidos de patentes são publicados

sistematicamente, dando amplo acesso às informações técnicas ali contidas. Pelas patentes podem-se monitorar as tendências de mercado, o que as empresas competidoras estão fazendo, as novas tecnologias que estão surgindo. De posse desses dados é possível evitar a duplicação de esforços e custos de desenvolvimentos paralelos, saber quais são as informações de domínio público que podem ser utilizadas e quais as soluções protegidas por patentes vigentes e que não podem ser utilizadas sem licença do detentor da patente.

Os documentos de patente de qualquer país possuem uma descrição técnica detalhada e uma estrutura uniforme que permitem a qualquer interessado obter, de forma eficaz, a informação desejada. Essa fonte de informação tecnológica tornou-se um insumo imprescindível para as empresas que desejam se manter atualizadas.

Em cerca de 70% dos casos, seu conteúdo não será publicado em outras fontes, o que torna as patentes uma das mais ricas fontes de informações tecnológicas. O crescimento do número de patentes publicadas no mundo vem alcançando proporções surpreendentes. O acervo mundial de documentos está estimado em 30 milhões, com um crescimento da ordem de 1,2 milhão de novos documentos de patentes a cada ano.

Por documento de patente entende-se tanto o pedido de patente publicado, pendente ainda da concessão, como a patente em vigor ou a patente extinta. As patentes são documentos que contêm:

- um folheto com a descrição pormenorizada da invenção e do estado da técnica, esclarecendo o avanço tecnológico alcançado e demonstrando a sua aplicação industrial. Desenhos técnicos são usados para facilitar a descrição;
- uma folha de rosto, contendo os dados bibliográficos essenciais, tais como: país de origem; titular; data do pedido; título e resumo.

O banco de patentes do Instituto Nacional de Propriedade Industrial (INPI) armazena, aproximadamente, 25 milhões de documentos, oriundos dos principais países industrializados, principalmente dos Estados Unidos, da Europa Ocidental e do Japão. O próprio interessado pode realizar, na sede administrativa do órgão, no Rio de Janeiro, uma pesquisa nesse banco para recuperar documentos de seu interesse. O interessado apresenta a tecnologia ou campo de conhecimento a ser pesquisado e, em conjunto com técnicos do INPI, esse processo é refinado, objetivando definir

com precisão os campos da Classificação Internacional de Patentes correspondentes ao objeto da pesquisa. A mesma pesquisa poderá também ser realizada somente por técnicos do INPI.

O acervo do banco de patentes no INPI está disponível para cópia e as solicitações podem ser feitas diretamente, por meio de formulário próprio para solicitação disponível na internet, no *site* do INPI, por carta, fax, *e-mail* ou por suas delegacias e representações. O núcleo de atendimento da divisão de documentação do Centro de Documentação e Informação Tecnológica (CEDIN), do INPI, é responsável pelo atendimento das solicitações que podem ser de empresas, órgãos públicos, centros de pesquisa ou clientes individuais.

O CEDIN dispõe ainda do Programa de Fornecimento Automático de Informação Tecnológica (PROFINT), que trata da disseminação seletiva de informação tecnológica contida nos documentos de patente nacionais e estrangeiros. Essa seleção é feita segundo o campo de atuação ou de interesse do cliente, que recebe a documentação à medida que ela chega ao banco de patentes. O programa permite a identificação da documentação de interesse de cada empresa à qual são enviadas cópias das folhas de rosto dos documentos de patentes. Só podem aderir ao PROFINT empresas que atuam em atividades de pesquisa e desenvolvimento, mediante contato com o CEDIN. A empresa deve definir área de interesse, preencher contrato de adesão e efetuar a devida retribuição.

Levantamento de família de patentes é a segunda modalidade de busca *on line* e consiste em pesquisar, nos bancos de dados internacionais, os documentos de patente publicados em outros países que correspondam a um primeiro depósito considerado como original. A informação é levantada a partir de um número de depósito (incluindo a data) de pedido de patente publicado em qualquer país. Essa busca é muito útil quando o cliente deseja saber, por exemplo, em que países uma determinada tecnologia está sendo protegida. Há ainda a busca em CD-ROM fornecido pelo CEDIN e serve, também, como suporte na complementação de uma pesquisa.

A pesquisa por informações sobre patentes internacionais pode ser feita em bancos de patentes gratuitos:

- Pedidos do Tratado de Cooperação em Matéria de Patentes: este *site* (www.wipo.int), produto do projeto WIPO IPDL (Biblioteca Digital de Propriedade Intelectual da Organização Mundial da Propriedade

- Intellectual – OMPI), é a base que contém informações das primeiras páginas (informação bibliográfica, resumo e desenho) dos pedidos de patente depositados sob o tratado do PCT (Tratado de Cooperação em Matéria de Patentes), publicados a partir de janeiro de 1998.
- Patentes dos EUA – USPTO: é o *site* (www.uspto.gov) do USPTO (*United States Patent and Trademark Office*), organização de marcas e patentes, que contém os dados de primeira página das patentes norte-americanas, a partir de janeiro de 1976, isto é, os dados bibliográficos, resumo, referências citadas e o examinador responsável.
 - Base de Patentes do Escritório Europeu de Patentes: este *site* (ep.espacenet.com) é mantido pelo Escritório Europeu de Patentes (EPO) e permite a pesquisa nos dados bibliográficos de patentes de diversos países, e também no texto das reivindicações. Algumas das patentes selecionadas podem ser vistas na sua forma integral, inclusive desenhos, com possibilidade de se obter cópias das patentes correspondentes.
 - Patentes do Japão: o *site* www.jpo.go.jp é mantido pelo escritório japonês de patentes e permite a pesquisa nos dados bibliográficos dos pedidos de patentes no Japão.

As principais bases de dados disponíveis são as do Escritório Europeu de Patentes, contendo informações sobre documentos de patentes, a partir de 1978; do escritório de patentes dos Estados Unidos, a partir de 1969, e do escritório japonês de patentes, a partir de 1976.

As facilidades de busca informatizada de informações são grandes, podendo ser feita *on line* em três grandes bancos de dados internacionais: DIALOG, ORBIT-QUESTEL e o STN, que gerenciam mais de 600 bases de dados em todas as áreas do conhecimento humano, incluída a propriedade industrial. São aproximadamente 200 milhões de itens de informação que podem ser acessados de forma iterativa com as redes internacionais de dados. São oferecidos serviços de levantamento de assunto e o levantamento da família de patentes.

Na busca pelo assunto, o cliente recebe, como resultado, o levantamento do estado da técnica na área de interesse. A busca é retrospectiva e algumas bases abrangem um período superior a vinte anos, permitindo a restrição por períodos predeterminados pelo usuário. A recuperação da informação pode ser feita *on line*, obtendo-se o resultado no ato da busca, ou *off line* (resultado impresso no exterior), em um prazo de 10 a 15 dias.

Processada a pesquisa, o técnico analisa a informação recuperada e elabora, se necessário, um relatório contendo informações adicionais para melhor compreensão do usuário. Esse relatório complementar é enviado com o resultado da pesquisa (*on line* ou *off line*), mais a guia de recolhimento complementar e um formulário de avaliação.

Para a obtenção dos melhores resultados, deve-se observar que:

- o título da busca deve ser o mais específico possível;
- o assunto deve ser descrito em detalhe, especificando bem a informação;
- caso necessário, informar itens que não se deseja recuperar;
- fornecer palavras-chave, termos técnicos e científicos, sinônimos e grafias alternativas, em inglês;
- especificar os idiomas dos documentos que deseja receber. Os resumos são sempre em inglês, independente da língua original do documento;
- as restrições por período podem ser determinadas pelo usuário, assim como o número de referências.

10.3 Avaliação da inovação e da patenteabilidade

Ao desenvolver uma solução para um produto ou processo, a inovação alcançada deve ser avaliada para identificar a probabilidade de sucesso e se os benefícios advindos da obtenção da patente compensam os esforços e custos envolvidos ao longo do processo de patenteamento. Em primeiro lugar, a probabilidade de sucesso depende dos avanços que se obteve quando a solução for comparada com o estado da técnica que pode ser aferido com a busca de anterioridades identificadas no levantamento de patentes, como descrito no item precedente. Da mesma forma, os resultados devem ser avaliados em relação a qualquer informação da literatura técnica, de produtos ou processos existentes e divulgados antes de submeter um pedido de patente ou registro da solução desenvolvida. Deve-se avaliar, ainda, a possibilidade de concorrentes desenvolverem soluções que contornam os princípios adotados na concepção e se traz diferenciações que acarretem vantagens no mercado.

Essa avaliação é complexa e já houve tentativas de estabelecer métricas para analisar ganhos de inovação ou parâmetros de patenteabilidade (Redelinguys, 2000), mas os resultados até o presente são pouco práticos. O que se recomenda é estabelecer questionamentos ou critérios subjetivos, como os listados a seguir:

1. A solução apresenta novidade, é uma invenção?
2. A concepção gerada é uma solução que não é óbvia em decorrência dos conhecimentos do estado da técnica?
3. A concepção é útil e aplicável na indústria?
4. É um avanço em relação ao estado da técnica, compreendido pelos pedidos de patente, patentes internacionalmente vigentes e qualquer conhecimento publicado?
5. Qual é a provável vida útil da patente tendo em vista novas soluções que os concorrentes poderão apresentar?
6. Qual é o possível crescimento da participação no mercado e aumento do faturamento?
7. A inovação trará motivações adicionais aos colaboradores da empresa e aos consumidores devido à introdução de inovações?
8. Haverá um retorno econômico tendo em vista os esforços e recursos financeiros despendidos no processo de obtenção e manutenção da patente?
9. Quais são as facilidades que garantirão que não haverá infringência da patente?
10. Quais serão os riscos em relação a prováveis problemas de responsabilidade civil?
11. Quais são as possibilidades de haver oposições ao patenteamento da inovação?
12. Qual será o possível valor de ser o detentor da patente?

A patente é um título de propriedade temporário, outorgado ao inventor ou a pessoas cujos direitos derivem da mesma, excluindo terceiros, sem sua prévia autorização, de atos relativos à matéria protegida, tais como a fabricação, comercialização, importação, uso e venda.

Para que seja concedida uma patente, o objeto de patenteamento deverá ser considerado novo e não compreendido no estado da técnica. Deve ser resultado de uma atividade inventiva tal que, para um técnico no as-

sunto, não seja uma decorrência evidente ou óbvia do estado da técnica. E, finalmente, deve ser suscetível de aplicação industrial.

Na Lei de Propriedade Industrial (LPI, 1996), os objetos patenteáveis são a invenção e modelo de utilidade. No caso da invenção, os requisitos de patenteabilidade são a novidade, atividade inventiva e a aplicação industrial. No modelo de utilidade, o objeto, ou parte dele, deve ser de uso prático, ser suscetível de aplicação industrial e apresentar nova forma ou disposição, envolvendo ato inventivo que resulte em melhoria funcional no seu uso ou em sua fabricação.

De acordo com a LPI, não são considerados patentáveis os seguintes objetos:

- as descobertas, teorias científicas e métodos matemáticos;
- as concepções puramente abstratas;
- os esquemas, planos, princípios ou métodos comerciais, contábeis, financeiros, educativos, publicitários, de sorteio e de fiscalização;
- as obras literárias, arquitetônicas, artísticas e científicas ou qualquer criação estética;
- os programas de computador em si;
- a apresentação de informações;
- as regras de jogo;
- as técnicas e métodos operatórios, bem como métodos terapêuticos ou de diagnóstico para aplicação no corpo humano ou animal;
- o todo ou parte de seres vivos naturais e materiais biológicos encontrados na natureza, ou ainda que dela isolados, inclusive o genoma ou germoplasma de qualquer ser vivo natural e os processos biológicos naturais.

No presente contexto, o conceito de estado da técnica é entendido como tudo o que é acessível ao público antes da data do depósito do pedido de patente, por descrição oral ou escrita, pelo uso ou qualquer outro meio, no Brasil ou no exterior. Para aferição da novidade, o conteúdo do pedido depositado, e ainda não publicado, é parte deste estado da técnica, ou da prioridade reivindicada, desde que seja publicado subsequente-mente.

A LPI não considera a divulgação de invenção ou modelo de utilidade ocorrida durante os doze meses anteriores à data do depósito ou da prioridade do pedido de patente como estado da técnica quando for efetuada:

pelo inventor; pelo INPI, com a publicação oficial do pedido de patente depositado; e por terceiros, com base em informações obtidas do inventor ou em decorrência de atos realizados pelo mesmo.

A Lei de Propriedade Industrial de 1971 compreendia patentes de modelo e desenho industrial. De acordo com o código em vigência atualmente, o desenho industrial é registrável e, se aprovado, confere ao autor a propriedade sobre o objeto. É entendido como desenho industrial a forma plástica ornamental de um objeto ou conjunto ornamental de linhas e cores que possa ser aplicado a um produto, resultando em um aspecto visual novo da configuração externa, podendo servir de tipo ou modelo de fabricação industrial.

O desenho industrial é considerado novo se não está compreendido no estado da técnica, como já definido nos casos da invenção e do modelo de utilidade. Nesse caso, não é incluída a divulgação ocorrida no período de 180 dias que precederam a data do depósito ou da prioridade reivindicada, se forem promovidas de acordo com as três situações descritas para o caso das patentes.

A novidade do desenho industrial, ou a sua originalidade, é considerada quando resultar uma configuração distintiva em relação a objetos anteriores. Uma obra de caráter puramente artístico não é registrável como desenho industrial. Da mesma forma não são registráveis obras que são contrárias à moral e aos bons costumes.

10.4 Processo de patenteamento ou registro de inovações

A LPI prevê as patentes de invenção (PI), e de modelo de utilidade (MU), e o registro de desenho industrial (DI).

No caso de pedidos de patentes de invenção e de modelo de utilidade, o processo de patenteamento compreende várias etapas:

- elaboração do pedido de patente – constituído dos seguintes documentos: requerimento, relatório descritivo, reivindicações, desenhos (se forem necessários), resumo e comprovante do pagamento da retribuição relativa ao depósito;
- depósito do pedido de patente – na apresentação, o pedido é submetido a um exame preliminar para verificar se atende ao reque-

rido acima. Se estiver de acordo, o pedido será depositado com data igual à da sua apresentação. Caso o pedido não atenda ao exposto, mas contenha dados do objeto, do inventor e do depositante, essa documentação poderá ser entregue ao INPI, o qual estabelecerá as exigências a serem cumpridas num prazo de 30 dias. A data desse depósito é fundamental para efeito de definição da prioridade e início do processo de patenteamento e de vigência da patente, caso esta seja concedida;

- sigilo do pedido depositado – uma vez depositado o pedido de patente, este será mantido em sigilo por um período de 18 meses, contado a partir da data do depósito;
- a publicação do pedido de patente – após o período de 18 meses será efetuada a publicação por iniciativa do INPI. Nessa publicação deverão constar dados identificadores do pedido de patente, ficando cópia do relatório descritivo, das reivindicações, do resumo e dos desenhos à disposição do público, no INPI. A publicação do pedido pode ser antecipada por iniciativa do depositante, para a qual deverá submeter um requerimento;
- o exame do pedido de patente – o exame só poderá ser iniciado 60 dias após a data da publicação e a pedido do depositante, dentro de um prazo máximo de 36 meses contados da data do depósito, sob pena de arquivamento do pedido. Durante o período do exame poderão ser feitas exigências diversas ao depositante, que tem prazo de 60 dias para o atendimento. Concluído o exame, são elaborados o relatório de busca de anterioridades e o parecer relativo à patenteabilidade do pedido, adaptação do pedido à natureza reivindicada, reformulação do pedido, ou exigências técnicas;
- a concessão da patente de invenção ou do modelo de utilidade – concluído o exame, é proferida a decisão, deferindo ou indeferindo o pedido de patente. Sendo a decisão favorável, é concedida a carta patente. A patente de invenção tem vigência de 20 anos e, no caso da patente de modelo de utilidade, a vigência é de 15 anos, períodos contados a partir da data do depósito.

O acompanhamento de todo o processo pode ser feito pela publicação dos vários atos na Revista de Propriedade Industrial (RPI) do INPI, tais como: depósito do pedido de patente; publicação do pedido de patente;

pedido de exame; oposições apresentadas; resultado do exame; expedição da carta patente etc.

A Figura 10.1 apresenta mais detalhadamente o possível desenvolvimento do processo de patenteamento de invenções e de modelos de utilidade. Resumindo, os principais prazos envolvidos neste processo são os seguintes:

- a publicação do pedido de patente é efetuada ao final do prazo de 18 meses, mas pode ser antecipada por requerimento do depositante;
- o pedido de exame precisa ser efetuado pelo depositante, em um prazo máximo de 36 meses do depósito do pedido de patente;
- havendo indeferimento do pedido de patente, o depositante tem um prazo de 60 dias para entrar com recurso contra o indeferimento;
- deferido o pedido de patente, o depositante tem o prazo de 60 dias para requerer a carta patente;
- concedida a patente, ocorre um prazo de seis meses para interposição de nulidade da patente.

No caso do desenho industrial, o processo de registro se desenvolve de forma semelhante ao anterior, contendo as principais etapas:

- elaboração do pedido de registro – os documentos que deverão constar do pedido são: requerimento; relatório descritivo, se necessário; reivindicações, se for o caso; desenhos ou fotografias; informação do campo de aplicação; e comprovante do pagamento da retribuição correspondente ao depósito. O Ato Normativo nº 161 estabelece as normas de procedimentos no registro do desenho industrial;
- depósito do pedido de registro – apresentado o pedido no INPI ou nas suas agências, este é submetido a um exame preliminar e, se estiver devidamente instruído, será protocolizado, considerando como data do depósito a data da apresentação. Se a documentação não estiver completa, o depositante poderá atender às exigências do INPI num prazo de 5 dias;
- publicação e concessão do pedido de registro – efetuado o depósito e estando este em conformidade com o disposto nas normas, o pedido será publicado na RPI e, simultaneamente, é concedido o registro de um certificado. Por requerimento do depositante poderá haver um período de sigilo do pedido, por 180 dias, contados a partir da data

do depósito, quando então o mesmo será processado. Esse registro tem vigência por 10 anos, contados da data do depósito do pedido e prorrogável por três períodos sucessivos de 5 anos cada um.

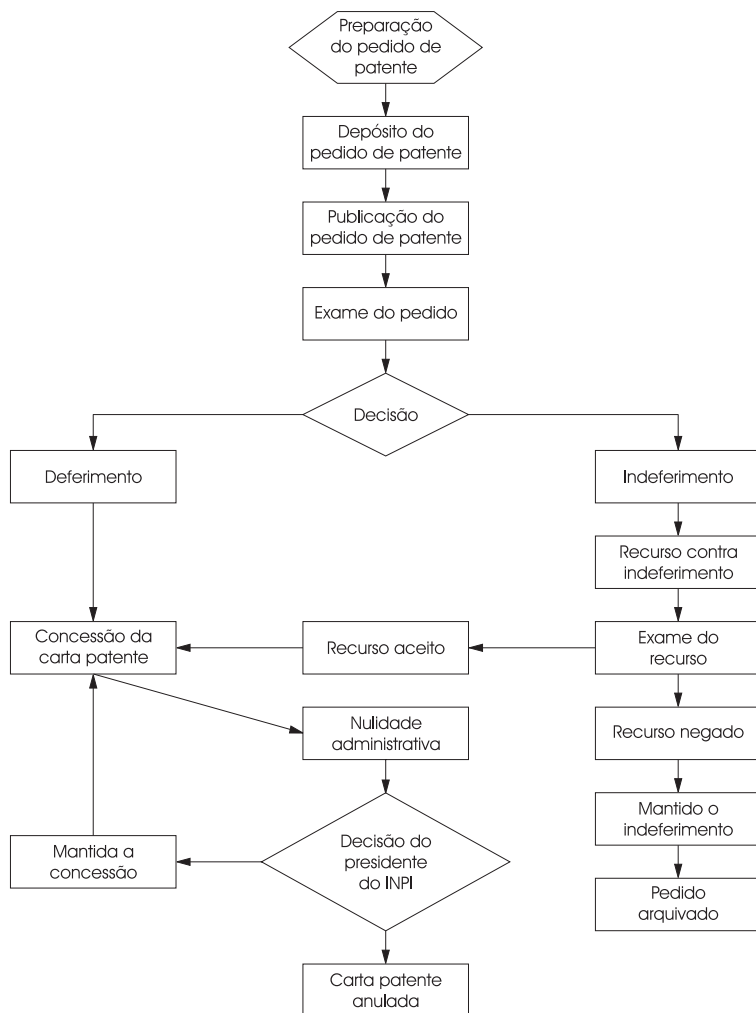


Figura 10.1 Fluxograma da tramitação no processo de obtenção de patentes PI e MU.

Serão discutidas em mais detalhes a redação e a forma de apresentação do relatório descritivo, das reivindicações, dos desenhos e do resumo dos pedidos de patente, que requerem conhecimentos mais especializados da concepção desenvolvida e do estado da técnica relacionado ao produto ou processo em questão. As informações apresentadas nos itens 10.4.1 e

10.4.2 referem-se ao processamento nacional, com base na LPI nº 9.279 e nos Atos Normativos nº 127 e nº 161. Todas as informações relativas ao andamento dos pedidos de patente de invenção, de modelo de utilidade e de registro de desenho industrial são publicadas pela Revista da Propriedade Industrial, editada pelo INPI.

O processamento de patentes em nível internacional será tratado no item 10.4.3, sendo as informações baseadas no Tratado de Cooperação em Matéria de Patentes (PCT), do qual o Brasil é signatário.

10.4.1 Elaboração dos pedidos de patente

Neste item serão discutidos os principais aspectos relativos à redação do conteúdo do relatório descritivo, das reivindicações, dos desenhos e do resumo, conforme o que determina a Lei de Propriedade Industrial, nº 9.279, os Atos Normativos nº 127 e nº 161, bem como outras leis, normas e resoluções encontradas no *site* do INPI (www.inpi.gov.br). O presente texto não tem por objetivo entrar em maiores detalhes do processo de patenteamento, especialmente no que se refere à formatação desses documentos. Há, também, inúmeros escritórios especializados que prestam serviços na elaboração do pedido e no acompanhamento do processo de patenteamento de invenções.

No entanto, é conveniente que o inventor participe da elaboração do pedido de patente e da preparação de informações para atender, se for o caso, às exigências em tramitações de processos de patenteamento e judiciais de oposições ou de infringências a patentes. Para isso é necessário que o inventor tenha conhecimento das principais orientações que devem ser seguidas na redação desses documentos. Para o depósito do pedido de **patente de invenção (PI)**, estas orientações constam do Ato Normativo nº 127, em seu item 15.1, e as principais são as apresentadas a seguir.

- O **relatório descritivo** deve:
 - ser iniciado pelo título;
 - referir-se a uma única invenção, ou a um grupo de invenções inter-relacionadas de maneira que constituam um só conceito inventivo;
 - precisar o setor técnico a que se refere a invenção;
 - descrever o estado da técnica que possa ser considerado útil à compreensão, à busca e ao exame da invenção, citando, sempre

- que possível, os documentos correspondentes, destacando os problemas técnicos existentes;
- definir os objetivos da invenção e descrever, de forma clara, concisa e precisa, a solução proposta para o problema existente, bem como as vantagens da invenção em relação ao estado da técnica;
 - ressaltar, nitidamente, a novidade e evidenciar o efeito técnico alcançado;
 - descrever a invenção de forma consistente, precisa, clara e suficiente, de maneira que um técnico no assunto possa realizá-la, fazendo remissão aos sinais de referência constantes dos desenhos, se houver, e, se necessário, utilizar exemplos e quadros comparativos, relacionando-os ao estado da técnica;
 - quando a natureza da invenção for tal que englobe mais de uma forma de execução, ressaltar a melhor delas, conhecida pelo depositante, na data do depósito;
 - indicar, explicitamente, a utilização industrial quando essa não for evidente a partir da descrição da invenção.
- As **reivindicações** devem atender às seguintes principais orientações:
 - a quantidade de reivindicações independentes e dependentes deve ser suficiente para definir corretamente o objeto do pedido;
 - as reivindicações devem ser numeradas consecutivamente, com algarismos arábicos;
 - as reivindicações podem ser de uma ou várias categorias (tais como de produto, processo, sistema, dispositivo, utilização etc.), desde que ligadas por um mesmo conceito inventivo, sendo arranjadas da maneira mais prática possível;
 - as reivindicações devem, preferencialmente, ser iniciadas pelo título ou parte do título correspondente à sua respectiva categoria e conter a expressão “caracterizado por”;
 - cada reivindicação deve definir clara, precisa e positivamente, as características técnicas a serem protegidas pela mesma, evitando-se expressões que acarretem indefinição na reivindicação;
 - exceto quando absolutamente necessário, as reivindicações não podem conter, no que diz respeito às características da invenção,

referências ao relatório descritivo ou aos desenhos, do tipo “como descrito na parte do relatório descritivo” ou “bem como representado pelos desenhos”;

- cada reivindicação deve ser redigida sem interrupção por pontos;
 - não são aceitos em reivindicações trechos explicativos com relação ao funcionamento, vantagens, e simples uso do objeto;
 - reivindicações independentes são aquelas que, mantida a unidade de invenção, visam à proteção de características técnicas essenciais e específicas da invenção em seu conceito integral, cabendo a cada categoria de reivindicação pelo menos uma reivindicação independente;
 - as reivindicações independentes podem servir de base a uma ou mais reivindicações dependentes, devendo, preferencialmente, ser agrupadas na ordem correspondente ao título do pedido;
 - as reivindicações dependentes são aquelas que, mantida a unidade de invenção, incluem características de outra(s) reivindicação(ões) anterior(es) e definem detalhamentos dessas características e/ou características adicionais, contendo uma indicação de dependência a essa(s) reivindicação(ões) e, se necessário, a expressão “caracterizado por”;
 - as reivindicações dependentes não devem exceder as limitações das características compreendidas na(s) reivindicação(ões) a que se referem.
- Os **desenhos, fluxogramas, diagramas e esquemas gráficos** deverão:
 - ser executados com traços indeléveis firmes, uniformes e sem cores, preferivelmente com auxílio de instrumentos de desenho técnico, de forma a permitir sua reprodução;
 - ser isentos de textos, rubricas ou timbres, podendo conter apenas termos indicativos (tais como “água”, “vapor d’água”, “aberto”, “fechado”, corte “AA” etc.) e palavras-chave, no caso de circuitos, diagramas em bloco, fluxogramas e gráficos;
 - ter os termos indicativos, se houver, dispostos de maneira a não cobrir qualquer linha das figuras;
 - ter cortes indicados por hachuras oblíquas que permitam a fácil leitura dos sinais de referência e das linhas diretrizes;

- ser executados com clareza e em escala que possibilite redução com definição de detalhes, podendo conter, em uma só folha, diversas figuras, cada uma nitidamente separada da outra, numeradas consecutivamente e agrupadas, preferivelmente, seguindo a ordem do relatório descritivo;
 - manter a mesma escala, para todos os elementos de uma mesma figura, salvo quando proporção diferente for indispensável à sua compreensão;
 - conter, sempre que forem utilizadas figuras parciais para compor uma figura completa, sinais de referência que permitam a clara visualização da continuidade das mesmas;
 - conter todos os sinais de referência constantes do relatório descritivo, observando o uso dos mesmos sinais de referência para identificar determinada característica em todos os desenhos, sempre que essa apareça;
 - a apresentação de reprodução de fotografias em substituição às figuras será aceita apenas nos casos em que esta for a única maneira possível de representar graficamente o objeto do pedido, tais como estruturas metalográficas, e desde que tais reproduções apresentem nitidez tal que permitam a visualização de todos os detalhes do objeto.
- O **resumo** do pedido de patente deve observar as seguintes recomendações de redação:
 - o conteúdo deve ser um resumo do que foi exposto no relatório descritivo, nas reivindicações e nos desenhos;
 - indicar o setor técnico ao qual pertence a invenção;
 - ser redigido de forma a permitir uma compreensão clara do problema técnico, da essência da solução desse problema por meio da invenção e do uso principal ou dos usos principais da invenção;
 - ser redigido de forma a poder servir de instrumento eficaz de pré-seleção para fins de pesquisa em determinado setor técnico, especialmente ajudando o usuário a formular uma opinião quanto à conveniência ou não de consultar o documento na íntegra;
 - ser iniciado pelo título;
 - ser tão conciso quanto a exposição permitir (de preferência de 50 a 200 palavras), preferivelmente não excedendo 20 linhas de texto;

- conter sinais de referência, entre parênteses, correspondentes a cada uma das principais características técnicas, quando ilustradas por desenho constante do pedido;
- não fazer menção ao mérito ou ao valor da invenção requerida.

O item 15.2 do Ato Normativo nº 127 trata da redação da documentação para o pedido de **patente de modelo de utilidade (MU)**. Neste caso a elaboração dos documentos do relatório descritivo, das reivindicações, dos desenhos e do resumo é similar ao caso da patente de invenção, apresentada anteriormente.

Além das exigências acima relacionadas para a redação dos documentos de pedidos de patentes, deverão ser atendidas as seguintes principais especificações gerais: as unidades de pesos e medidas devem ser expressas pelo Sistema Internacional de Unidades (SI); estas unidades, seus múltiplos e submúltiplos e os símbolos das grandezas devem observar o disposto no Quadro Geral de Unidades de Medidas vigente; as equações matemáticas, fórmulas e tabelas, quando inseridas no texto, devem ser identificadas.

10.4.2 Elaboração do pedido de registro de desenho industrial

Para a redação dos documentos necessários ao pedido de registro de **desenho industrial (DI)** devem ser obedecidas as disposições do Ato Normativo nº 161 do INPI. Em seu item 11, são apresentadas as especificações que devem ser seguidas na elaboração dos documentos do relatório descritivo, da reivindicação, campo de aplicação e desenhos ou fotografias. As principais especificações adotadas para a elaboração dos documentos são apresentadas a seguir.

- O **relatório descritivo** é apresentado obrigatoriamente nos casos em que os desenhos ou fotografias não forem suficientes para delimitar e definir claramente o objeto e suas variações, e deve:
 - ser iniciado pelo título;
 - limitar-se aos aspectos de caráter ornamental do objeto;
 - no caso de variantes configurativas, definir claramente tratar-se de variantes do objeto do pedido, indicando sua característica preponderante;

- fazer remissão aos desenhos ou fotografias de forma clara, precisa e concisa, mencionando os números indicativos, quando necessário;
- definir destacadamente o campo de aplicação.
- A **reivindicação** será obrigatória nos casos em que os desenhos ou fotografias apresentados não forem suficientes para delimitar e definir claramente o objeto e suas variações:
 - no caso de variantes, as reivindicações deverão ser tantas quantas forem as variações configurativas ou de concepção de conjunto, de modo que cada reivindicação se limite a uma única variante;
 - cada reivindicação deverá ser iniciada pelo título ou pelo objeto correspondente, no caso de se tratar de conjunto ou similar, fazendo remissão aos números das figuras ou fotografias pertinentes, com indicação das referências numéricas correspondentes, se for o caso.
- O **campo de aplicação** deverá ser preenchido obrigatoriamente no espaço correspondente do requerimento do pedido de registro de desenho industrial, considerando que:
 - a descrição do campo de aplicação deverá ser claramente definida;
 - no caso de se tratar de conjunto, os objetos que o compõem (20, no máximo) deverão se destinar a um mesmo propósito, isto é, pertencer a um mesmo objeto guardando entre si as mesmas características preponderantes (tal como conjunto de embalagens de produtos cosméticos);
 - tratando-se de padrões ornamentais compostos por conjuntos de linhas e cores, aplicados a produtos variados, o campo de aplicação deverá especificar em quais produtos, ou linhas de produtos, tais padrões deverão ser aplicados;
 - no caso de se tratar de conjunto ornamental de linhas e cores que possa ser aplicado a um produto, serão aceitas 20 variantes, no máximo, de conjuntos de linhas e cores que guardem entre si a mesma característica distintiva preponderante.
- Os **desenhos** ou **fotografias** devem:
 - conter perspectiva sempre que se tratar de objeto tridimensional e tantas vistas quantas necessárias para a perfeita visualização do objeto (anterior, posterior, superior, inferior e laterais);

- ser executados com clareza e em escala que possibilite redução com definição de detalhes, podendo conter, em uma só folha, diversas figuras, cada uma nitidamente separada da outra e numerada consecutivamente;
- ter as ilustrações numeradas consecutivamente com um algarismo arábico;
- conter a mesma referência numérica do relatório descritivo, quando for o caso;
- no caso de desenhos ou de fotografias em preto-e-branco, conter indicação correspondente às áreas coloridas;
- no caso de fotografias ou desenhos coloridos, apresentar as cópias necessárias em cores;
- no caso de fotografias, essas deverão manter-se nítidas pelo período de vigência do registro;
- não ser consideradas, para efeito de proteção em desenho industrial, ilustrações relacionadas a detalhes internos que não apresentem características meramente ornamentais.

10.4.3 Pedido de patente internacional

Propriedade intelectual é uma expressão genérica que pretende garantir aos inventores ou responsáveis por qualquer produção intelectual o direito de auferir recompensa pela própria criação. No âmbito internacional, essa recompensa e proteção está sob a égide da Organização Mundial de Propriedade Intelectual – OMPI (*WIPO – World Intellectual Property Organization*), com sede em Genebra, a qual define que constituem a propriedade intelectual as invenções, obras literárias e artísticas, símbolos, nomes, imagens, desenhos e modelos utilizados pelo comércio. A propriedade intelectual abrange duas áreas: o direito autoral (obras literárias e artísticas, programas de computador, domínios na internet e cultura imaterial) e a propriedade industrial (patentes, marcas, desenho industrial, indicações geográficas e proteção de cultivares).

A propriedade industrial é regulamentada pelo Tratado de Cooperação em Matéria de Patentes (*PCT – Patent Cooperation Treaty*), firmado em 19 de junho de 1970, em Washington, com a finalidade de desenvolver o sistema de patentes e de transferência de tecnologia. Até janeiro de 2007 havia 135 países signatários do tratado. O PCT tem como objetivo simpli-

ficar, tornando mais eficaz e econômico, tanto para o usuário como para os órgãos governamentais encarregados na administração do sistema de patentes, o procedimento a seguir no caso de pedido de patente, em vários países. A aplicação do tratado é regulamentada no Brasil pelo Ato Normativo nº 128 do INPI, de 5 de março de 1997.

No que se refere ao pedido internacional, o tratado prevê basicamente depósito e busca internacionais. O depósito do pedido internacional deve ser efetuado em um dos países-membros do PCT e tal depósito terá efeito simultâneo nos demais países-membros nomeados (designados ou eleitos) pelo depositante por ocasião do depósito. O pedido internacional, junto com o relatório internacional da busca, é publicado após o prazo de dezoito meses contados a partir da data de depósito do primeiro pedido. A busca internacional prevista é obrigatória e poderá ser realizada por um dos escritórios internacionais de busca credenciados junto à OMPI. O resultado da busca internacional é encaminhado ao depositante e aos demais países designados pelo mesmo no ato do depósito.

No Brasil, pedidos internacionais para as modalidades de patente de invenção e de modelo de utilidade são depositados no INPI, no Rio de Janeiro, que se incumbirá de enviá-los ao escritório internacional na OMPI e à administração encarregada da pesquisa internacional. Essa organização tem a seu cargo a administração do sistema de registro internacional para marcas e patentes, mantendo e desenvolvendo o respeito pela propriedade intelectual no mundo inteiro.

O depósito do pedido internacional deve ser efetuado mediante requerimento próprio, redigido em inglês (um original e duas cópias) para tramitação internacional, sendo facultada ao interessado a apresentação de uma cópia adicional para uso próprio. O pedido deve observar, entre outras prescrições relacionadas no PCT e no Ato Normativo nº 128, o seguinte:

- a data do recebimento do pedido no INPI será consignada no requerimento e, caso não satisfaça as prescrições, o depositante será notificado, concedendo-lhe prazo para as correções necessárias. Se as exigências não forem atendidas no prazo designado, o INPI notificará ao depositante que seu pedido foi rejeitado;
- a data de depósito internacional será a data do recebimento do pedido regular, ou, se for exigida qualquer correção, a data do recebimento da mesma;

- o depositante poderá solicitar ao escritório internacional de busca que encaminhe às repartições designadas a documentação de seu pedido para que exerça o direito de pedir a revisão, junto àquelas, da decisão do INPI de rejeitar ou retirar o pedido internacional;
- as datas de depósito e publicação internacionais prevalecem para todos os efeitos como as de efetivo depósito e publicação nacionais;
- se o Brasil for designado no pedido, este deverá ser apresentado em português em até 30 (trinta) meses a contar da data da prioridade, conforme o depósito internacional inicial (relatório descritivo, reivindicações, resumo e desenho, se houver), acompanhado de documento que identifique os dados essenciais do pedido internacional, com nomeação dos inventores, além do comprovante do pagamento da retribuição devida;
- uma vez entregue o pedido na recepção do INPI, esta procederá de acordo com as normas relativas aos pedidos nacionais, efetuando apenas uma verificação sumária da documentação, conferindo uma data de simples recebimento.

O depositante pode solicitar um exame preliminar internacional que, juntamente com o relatório de pesquisa internacional, lhe dará subsídios para tomar a decisão de prosseguir com o pedido de patente, na chamada fase nacional de cada membro designado.

Como foi exposto até o presente, tem-se um pedido internacional de patente, mas esta será concedida pela legislação de cada país-membro do PCT ou por grupos de países, como, por exemplo, pelo EPO (*European Patent Office*), que concede patente válida nos países da União Européia.

Desde o início de 2004 já é possível efetuar o depósito eletronicamente, diretamente na OMPI, como escritório de recepção, modificando parte do processamento descrito. Informações adicionais para efetuar o depósito eletrônico podem ser obtidas pela internet, no endereço www.wipo.int. O pedido de patente e demais comunicações sobre o andamento do processo no âmbito do PCT são publicados na revista *PCT Gazette*.

10.5 Registro de marcas

Marca é um sinal distintivo, visualmente perceptível, que identifica e distingue produtos e serviços de outros similares, de procedência di-

versa, bem como certifica a conformidade dos mesmos com determinadas normas ou especificações técnicas. Para obter o registro de uma marca, é necessário apresentar o pedido ao INPI que o examinará com base nas normas legais estabelecidas pela LPI nº 9.279 e pelos Atos Normativos nº 145 e 160.

A LPI, em seu artigo 124, especifica uma ampla lista do que não é registrável na forma de marcas. Alguns exemplos são os seguintes:

- brasão, armas, medalha, bandeira, emblema, distintivo e monumento oficiais, públicos, nacionais, estrangeiros ou internacionais, bem como a respectiva designação, figura ou imitação;
- expressão, figura, desenho ou qualquer outro sinal contrário à moral e aos bons costumes ou que ofenda a honra ou a imagem de pessoas ou atente contra liberdade de consciência, crença, culto religioso ou idéia e sentimento dignos de respeito e veneração;
- designação ou sigla de entidade ou órgão público, quando não requerido o registro pela própria entidade ou órgão público;
- sinal de caráter genérico, necessário, comum, vulgar ou simplesmente descritivo, quando tiver relação com o produto ou serviço a distinguir, ou aquele empregado comumente para designar uma característica do produto ou serviço, quanto a natureza, nacionalidade, peso, valor, qualidade e época de produção ou de prestação do serviço, salvo quando revestidos de suficiente forma distintiva;
- cores e suas denominações, salvo se dispostas ou combinadas de modo peculiar e distintivo;
- indicação geográfica, sua imitação suscetível de causar confusão ou sinal que possa falsamente induzir indicação geográfica;
- nome, prêmio ou símbolo de evento esportivo, artístico, cultural, social, político, econômico ou técnico, oficial ou oficialmente reconhecido, bem como a imitação que pode criar confusão, salvo quando permitidos pela autoridade competente ou entidade promotora do evento;
- pseudônimo ou apelido notoriamente conhecido, nome artístico singular ou coletivo, salvo com consentimento do titular, herdeiros ou sucessores;
- termo técnico usado na indústria, na ciência e na arte, que tenha relação com o produto ou serviço a distinguir;

- objeto que estiver protegido por registro de desenho industrial de terceiro.

De acordo com a legislação, as marcas podem ser classificadas quanto à sua origem, ao uso e à apresentação.

Quanto à origem, são consideradas como marca brasileira e marca estrangeira, atendendo às seguintes condições:

- marca brasileira é aquela regularmente depositada no Brasil, por pessoa domiciliada no país;
- marca estrangeira é a regularmente depositada no Brasil, por pessoa não domiciliada no país, e aquela depositada regularmente em país vinculado a acordo ou tratado do qual o Brasil seja partícipe, ou em organização internacional da qual o país faça parte, depositada no território nacional no prazo estipulado no respectivo acordo ou tratado.

No que refere ao uso, podem ser registrados três tipos de marcas:

- marca de produto ou serviço, usada para distinguir produto ou serviço de outro idêntico, semelhante ou afim, de origem diversa;
- marca de certificação, usada para atestar a conformidade de um produto ou serviço com determinadas normas ou especificações técnicas, notadamente quanto a qualidade, natureza, material utilizado e metodologia empregada;
- marca coletiva, usada para identificar produtos ou serviços provindos de membros de uma determinada entidade.

Finalmente, considerando a forma de apresentação, as marcas são de quatro tipos:

- a nominativa é constituída por uma ou mais palavras no sentido amplo do alfabeto romano, compreendendo, também, os neologismos e as combinações de letras e ou algarismos romanos e ou arábicos;
- a figurativa, constituída de desenho, imagem, figura ou qualquer forma estilizada de letra e número, isoladamente, bem como dos ideogramas de línguas como japonês, chinês, hebraico etc. Nesta última hipótese, a proteção legal recai sobre o ideograma em si, e não sobre a palavra ou termo que ele representa, ressalvada a hipótese de o requerente indicar no requerimento a palavra ou o termo que o ideograma representa, desde que compreensível por uma parcela

significativa do público consumidor, caso em que se interpretará como marca mista;

- a mista é uma combinação de elementos nominativos e figurativos ou nominativos, cuja grafia se apresente de forma estilizada;
- a marca tridimensional, constituída pela forma plástica de produto ou de embalagem, cuja forma tenha capacidade distintiva em si mesma e esteja dissociada de qualquer efeito técnico.

O prazo de validade do registro de marca é de 10 anos, contados a partir da data de concessão. Esse prazo é prorrogável, a pedido do titular, por períodos de 10 anos e de forma sucessiva. Em caso contrário, será extinto o registro e a marca estará, em princípio, disponível. O titular do registro de marca tem a obrigação de utilizá-la para mantê-la em vigor e o prazo para início de uso é de cinco anos, contados da data da concessão do registro.

Os procedimentos do processo de obtenção do registro de marcas compreendem as seguintes etapas:

- busca prévia – não é obrigatória, embora seja aconselhável ao interessado realizá-la antes de efetuar o depósito, com o intuito de verificar se já existe marca anteriormente depositada ou registrada;
- depósito do pedido de registro de marca – requerido através de formulário próprio, no qual são prestadas informações e dados sobre a marca e o requerente. Devem constar ainda do requerimento as etiquetas das marcas, quando for o caso, e o comprovante do pagamento da retribuição correspondente ao depósito;
- exame do pedido – após o depósito, o pedido é submetido a exame formal preliminar e, se devidamente instruído, será protocolizado e publicado na Revista da Propriedade Industrial para apresentação de oposição, no prazo de 60 (sessenta) dias. Decorrido o prazo de oposição, ou se interposta esta, findo o prazo de manifestação, será feito o exame, durante o qual poderão ser formuladas exigências que deverão ser respondidas no prazo de 60 (sessenta) dias;
- concessão do registro da marca – concluído o exame, será proferida decisão, deferindo ou indeferindo o pedido de registro. Se deferido, o depositante deverá, no prazo de 60 dias, comprovar o pagamento das correspondentes retribuições para a expedição do certificado.

O pedido de registro de marca internacional pode ser efetuado pelo Protocolo de Madri (Sistema Internacional de Registro de Marcas), havendo, até janeiro de 2007, 80 signatários. O Brasil ainda não subscreveu o Protocolo, prevendo sua adesão no ano de 2008. Sob o acordo de Madri, as marcas têm validade de 20 anos, podendo ser renovadas por igual período.

10.6 Responsabilidade civil sobre os produtos e serviços

Ao desenvolver um produto, especialmente na fase inicial do projeto, a equipe deve ter em mente os aspectos relacionados à proteção e à defesa do consumidor. Para isso, é fundamental o conhecimento de normas e leis que regulamentem a responsabilidade civil sobre os produtos e serviços que serão ofertados no mercado consumidor. Entre as regulamentações, há o Código de Defesa do Consumidor (CDC), Lei nº 8.078 de 11 de fevereiro de 1990, e outras resultantes de acordos internacionais dos quais o Brasil é signatário.

Nessa legislação são adotados alguns conceitos fundamentais, segundo os quais: consumidor é toda pessoa física ou jurídica que adquire ou utiliza produtos ou serviços como destinatário final; fornecedor é a pessoa física ou jurídica, pública ou privada, bem como os entes despersonalizados que desenvolvem atividades de produção, montagem, criação, construção, transformação, importação, exportação, distribuição ou comercialização de produtos ou prestação de serviços; produto é qualquer bem, móvel ou imóvel, material ou imaterial; serviço é qualquer atividade fornecida no mercado de consumo, mediante remuneração, inclusive as de natureza bancária, financeira, de crédito e securitária, salvo as decorrentes das relações de caráter trabalhista.

No que concerne aos direitos dos consumidores sobre os produtos e serviços desenvolvidos, os principais que a equipe de projeto deve levar em consideração são:

- proteção da vida, saúde e segurança contra os riscos provocados por práticas no fornecimento de produtos e serviços considerados perigosos ou nocivos. Os produtos e serviços colocados no mercado de consumo não deverão acarretar riscos à saúde ou à segurança

dos consumidores, exceto os considerados normais e previsíveis em decorrência de sua natureza e fruição. Os fornecedores, em qualquer hipótese, deverão dar as informações necessárias e adequadas a seu respeito. No caso de produto industrial, cabe ao fabricante prestar essas informações, lançando mão de impressos apropriados que acompanham o produto;

- educação e divulgação sobre o consumo ou uso adequado dos produtos e serviços. O fornecedor de produtos e serviços potencialmente nocivos ou perigosos à saúde ou à segurança deverá informar, de maneira ostensiva e adequada, a respeito da sua nocividade ou periculosidade, sem prejuízo da adoção de outras medidas cabíveis em cada caso;
- informações adequadas e claras sobre os produtos e serviços, com especificações corretas de quantidades, características, composição, qualidade e preço, bem como sobre os riscos que apresentam. O fornecedor não poderá colocar no mercado de consumo produto ou serviço que sabe ou deveria saber apresentar alto grau de nocividade ou periculosidade à saúde ou à segurança. O fornecedor que, posteriormente à sua introdução no mercado de consumo, tiver conhecimento da periculosidade que o mesmo apresenta, deverá comunicar o fato imediatamente às autoridades competentes e aos consumidores, mediante anúncios publicitários;
- proteção contra a publicidade enganosa e abusiva, métodos comerciais coercitivos ou desleais, bem como contra práticas e cláusulas abusivas ou impostas no fornecimento de produtos e serviços;
- modificação das cláusulas contratuais que estabeleçam prestações desproporcionais ou sua revisão em razão de fatos supervenientes que as tornem excessivamente onerosas;
- efetiva prevenção e reparação de danos patrimoniais e morais, individuais, coletivos e difusos;
- o acesso aos órgãos judiciários e administrativos, com vistas à prevenção ou reparação de danos patrimoniais, morais, individuais, coletivos ou difusos, é assegurado aos necessitados.

Além dos aspectos acima mencionados, o fornecedor de produtos e serviços tem, ainda, as seguintes responsabilidades:

- o fabricante, o produtor, o construtor, nacional ou estrangeiro, e o importador respondem, independentemente da existência de culpa, pela reparação dos danos causados aos consumidores por defeitos decorrentes de projeto, fabricação, construção, montagem, fórmulas, manipulação, apresentação ou acondicionamento de seus produtos, bem como por informações insuficientes ou inadequadas sobre sua utilização e risco;
- sobre o produto defeituoso, quando não oferece a segurança que dele legitimamente se espera, levando-se em consideração as circunstâncias relevantes, tais como: sua apresentação; o uso e os riscos que dele se esperam; e, a época em que foi colocado em circulação. São impróprios ao uso e consumo: os produtos cujos prazos de validade estejam vencidos; os produtos deteriorados, alterados, adulterados, avariados, falsificados, corrompidos, fraudados, nocivos à vida ou à saúde, perigosos ou, ainda, aqueles em desacordo com as normas regulamentares de fabricação, distribuição ou apresentação; e os produtos que, por qualquer motivo, se revelem inadequados ao fim a que se destinam. O produto não é considerado defeituoso pelo fato de outro de melhor qualidade ter sido colocado no mercado;
- o fabricante, o construtor, o produtor ou importador só não será responsabilizado quando provar: que não colocou o produto no mercado; que embora tenha colocado o produto no mercado, o defeito inexiste; ou que a culpa é exclusiva do consumidor ou de terceiro;
- o comerciante é responsabilizado quando: o fabricante, construtor, produtor ou importador não possam ser identificados; o produto for fornecido sem identificação clara do seu fabricante, produtor, construtor ou importador; e produtos perecíveis não forem conservados adequadamente. Aquele que efetivar o pagamento ao prejudicado poderá exercer o direito de regresso contra os demais responsáveis, segundo sua participação na causa do evento danoso;
- o fornecedor de serviços responde, independentemente da existência de culpa, pela reparação dos danos causados aos consumidores por defeitos relativos à prestação dos serviços, bem como por informações insuficientes ou inadequadas sobre sua fruição e riscos;
- os fornecedores de produtos de consumo duráveis ou não-duráveis respondem solidariamente pelos vícios de qualidade ou quantidade

que os tornem impróprios ou inadequados ao consumo a que se destinam ou lhes diminuam o valor, assim como por aqueles decorrentes de disparidade com as indicações constantes do recipiente, da embalagem, rotulagem ou mensagem publicitária, respeitadas as variações decorrentes de sua natureza, podendo o consumidor exigir a substituição das partes viciadas. Não sendo o vício sanado no prazo máximo de 30 (trinta) dias, pode o consumidor exigir, alternativamente e à sua escolha: a substituição do produto por outro da mesma espécie, em perfeitas condições de uso; a restituição imediata da quantia paga, monetariamente atualizada, sem prejuízo de eventuais perdas e danos; ou o abatimento proporcional do preço;

- de forma semelhante, o fornecedor de serviços responde pelos vícios de qualidade que os tornem impróprios ao consumo ou lhes diminuam o valor, assim como por aqueles decorrentes da disparidade com as indicações constantes da oferta ou mensagem publicitária, podendo o consumidor exigir, alternativamente e à sua escolha: a reexecução dos serviços, sem custo adicional e quando cabível; a restituição imediata da quantia paga, monetariamente atualizada, sem prejuízo de eventuais perdas e danos; ou o abatimento proporcional do preço.

Os aspectos relacionados anteriormente deverão ser considerados com todo o cuidado para evitar ações de responsabilidade civil que podem resultar de acidentes, prejuízos financeiros, perdas de conceito e espaço no mercado. Para reduzir os riscos a equipe de projeto precisa tomar uma série de providências, entre as quais:

- manter registros de todos os desenvolvimentos efetuados durante as fases de projeto, fabricação e testes do produto. Esse procedimento permite mostrar, em ações de responsabilidade civil, que havia conhecimento do estado da arte nas tecnologias do período de desenvolvimento e comercialização do produto;
- acompanhar o desenvolvimento do produto no mercado, monitorando os defeitos e antecipando-se aos possíveis danos e conseqüentes ações de responsabilidade civil. Uma forma de antecipação é a re-chamada (*recall*) dos produtos e a substituição, se for o caso, do componente defeituoso. Como já foi apresentado no Capítulo 1, na Figura 1.4, o custo com essa medida é alto, mas provavelmente me-

nor do que as perdas com ações de responsabilidade decorrentes de acidentes e danos materiais e morais;

- monitorar o estado da técnica das tecnologias aplicadas ao produto para evitar a obsolescência dos conhecimentos relacionados aos defeitos e às periculosidades.

Quanto ao conceito, a responsabilidade civil deve ser distinguida entre a subjetiva e a objetiva. De forma simples e sucinta, na responsabilidade civil subjetiva é preciso que seja provada a culpa no atuar. Na responsabilidade objetiva não há necessidade desse requisito, basta que existam um dano e a relação causal entre o dano e o fornecimento de produto ou prestação de serviço, que surgirá o dever de reparar o dano, independente da existência de culpa.

Há ainda a responsabilidade objetiva com culpa presumida ou com culpa prescindível. No primeiro caso, embora a culpa não precise ser provada pela vítima, permite-se que o agente faça prova em contrário, isto é, prova de fato que exclua sua culpa. No segundo caso, o agente da conduta lesiva será responsabilizado independentemente da existência de culpa; não há nenhuma indagação acerca de culpa do agente; os fatos são vistos de forma objetiva, não cabendo valoração comportamental do agente ou de quem quer que seja. Ao tratar da responsabilidade civil do fornecedor, o legislador adotou a teoria da responsabilidade civil objetiva, com culpa de todo dispensável ou prescindível, ou seja, previu que o fornecedor em geral responderá pelos danos causados aos consumidores, independentemente da existência de culpa. Assim, o principal elemento do sistema adotado pelo CDC é a ausência de valoração do comportamento do fornecedor causador do dano. Não se valorando o comportamento, não há que se falar em investigação da culpa.

A responsabilidade civil objetiva é calcada na teoria do risco. Segundo essa teoria, toda pessoa que exerce alguma atividade cria um risco de dano para terceiros. Tal risco é, na verdade, risco-proveito, já que é oriundo de uma atividade realizada em proveito do agente. Dessa maneira, em face desse risco criado pela atividade emerge a responsabilização pelos danos causados em decorrência da conduta de quem pratica e se beneficia de tal atividade, não sendo necessária prova de dolo, negligência, imprudência ou de imperícia. Portanto, na responsabilidade objetiva, não se exige da vítima prova de culpa do agente para que o mesmo seja obrigado a reparar

o dano. Exige-se, isso sim, apenas a prova da efetiva ocorrência do dano contra si perpetrado e donexo causal entre a conduta do agente e o dano.

10.7 Perícias em litígios de proteção da inovação e de responsabilidade civil

A atual complexidade da sociedade levou os engenheiros a procurarem apoio em advogados e, inversamente, dar suporte técnico a juízes e advogados em tribunais em que são julgados processos de reclamações de responsabilidade civil, de proteção de patentes ou de registros de desenho industrial ou de marcas. Essa área de atuação é parte do domínio de conhecimento multidisciplinar da engenharia legal, similar ao termo bem conhecido de medicina legal. Assim como é o caso do médico-legista, tem-se o engenheiro legista ou genericamente chamado de perito judicial. Podem ser peritos judiciais, além dos engenheiros e médicos, os arquitetos, contadores, administradores, psiquiatras etc.

O perito é chamado pela Justiça para dar pareceres técnicos em processos judiciais, nos quais podem estar envolvidos pessoas físicas, jurídicas e órgãos públicos. O parecer técnico é dado por meio de um laudo escrito que será assinado pessoalmente pelo perito e que passa a ser uma das peças que compõem um processo judicial. O processo ou ação é o direito que têm as pessoas (físicas ou jurídicas) de demandar ou pleitear em juízo, perante os tribunais, o que lhes pertence ou o que lhes é devido.

Parecer técnico é um laudo, uma opinião, um conselho ou esclarecimento técnico emitido por um profissional legalmente habilitado sobre assunto de sua especialidade. A perícia é a atividade que envolve apuração das causas que motivaram determinado evento ou da asserção de direitos.

Quando ocorre um litígio relacionado a uma contestação em decorrência de falha de um produto ou da falta de atendimento às especificações estabelecidas, há a demanda de um perito para apoiar as partes conflitantes numa ação judicial. O perito pode ser contratado pela vítima em um caso de acidente, ou pelo consumidor que se sinta lesado ou, ainda, pelo produtor ou fornecedor de um produto ou serviço.

O engenheiro perito é necessário para traduzir aspectos legais e declarações de engenharia de um problema. Decisões legais importantes podem depender de questões técnicas envolvendo leis naturais, quantidades

calculáveis ou aderência às especificações de um produto ou processo. Nesses casos os tribunais necessitam de evidências imparciais e objetivas, apresentadas de modo formal para suportar as decisões que somente podem ser fornecidas por análises de engenharia. Alguns exemplos de problemas que exigem a participação de engenheiros peritos são:

- reconstrução de acidente de trânsito – requer a aplicação de princípios científicos e de engenharia e técnicas de investigação para determinar como e por que ocorreu o acidente. Neste caso são necessários conhecimentos tais como: avaliação do projeto, das condições ou das falhas do sistema do veículo ou de componentes (freios, direção, suspensão, sistema de comando e controle do motor) que contribuíram como causas do acidente; cálculo das velocidades no impacto, derrapagens e acelerações, usando evidências de marcas de pneus, danos ao veículo, o que pode ser simulado por computação; identificação dos pontos de contato e da orientação do veículo pela análise em laboratório das evidências físicas nas pinturas e escombros; qualificação das linhas de visão do motorista usando um veículo similar, dados antropométricos, dados do cenário do acidente; avaliação das condições da pista, curvas, iluminação, sinais de trânsito, controles de cruzamentos, passagem de pedestre, drenagem da pista; e, finalmente, a quantificação da evitabilidade do acidente pela avaliação de fatores humanos, demográficos do motorista, visão e visibilidade, condições do veículo, projeto e condições da estrada e dados do meio ambiente;
- dano ou falha estrutural – havendo uma ação decorrente da falha de uma construção, o engenheiro perito é requisitado para fazer avaliações de possíveis causas, que podem ser dos seguintes tipos: erros na escolha do local ou de levantamento das condições do solo; deficiências na programação da construção; projeto com erros por desconsiderar certas combinações de cargas, pela falta de redundâncias, por uniões e conexões inadequadas, escolha ou avaliação inadequada dos materiais; negligências na construção; erros operacionais como mudanças no uso, manutenção inadequada; ocorrências aleatórias de terremotos, tornados, fogo, explosões e enchentes; avaliação do dano da estrutura devido a impactos de veículos; determinação de cargas impostas a estrutura e fundações devido à instalação de máquinas e equipamentos;

- acidentes ou falhas no desempenho em máquinas – para elaborar o laudo técnico sobre esses casos podem ocorrer as seguintes avaliações: inspeção microscópica e macroscópica de componentes falhos; ensaios não destrutivos por partículas magnéticas, por líquidos penetrantes ou raios X; análise metalúrgica, análise química, ensaios de dureza, microscopia óptica e eletrônica; análise experimental de tensões ou análise por elementos finitos; análise de fadiga e mecânica da fratura; testes de materiais, componentes ou sistemas; históricos de manutenção e medidas de manutenibilidade; conformidade com códigos e normas; projeto e análise de proteções e dispositivos de segurança do equipamento; análise de tolerâncias e ajustes; análise de movimentos; precisão de operação e otimização do projeto pela modelagem computacional;
- oposição ou infringência de patentes – nestes casos o engenheiro perito é contratado para elaborar um laudo técnico e participar como testemunha especializada em ações nas quais são apresentadas oposições ao patenteamento da concepção de um produto ou processo, ou, então, em um caso em que houve infringência de uma patente em vigência.

Como se pode observar pelos problemas típicos apresentados, a elaboração de um laudo técnico requer uma formação multidisciplinar do engenheiro perito ou, para problemas mais complexos, é necessária uma equipe de especialistas nas diversas áreas de conhecimento envolvidas no problema objeto do litígio.

Para a realização de uma perícia, o perito, ou equipe de peritos, deve seguir certas orientações ou apresentar características, algumas sugeridas por Boyell (1987): aproximação ao problema; ambiente de trabalho com advogados e em tribunais; procedimentos; características profissionais e registro de documentação.

Aproximação ao problema: para iniciar seu trabalho, o perito deve estabelecer um conjunto de questões e buscar as devidas respostas, conforme sugestão de Castro (2004):

1. O que aconteceu na falha ou no acidente?
2. Onde isso aconteceu?
3. Como ocorreu a falha ou o acidente?
4. Quem causou a falha ou o acidente?

5. Quem é o responsável pelo que aconteceu?
6. Quais são os custos para o reparo ou a reposição?
7. Quais são os danos sofridos pelas várias partes envolvidas?
8. E ainda outras questões específicas relativas à falha ou à falta de conformidade, dependendo de cada caso de produto ou serviço, como observado nos exemplos apresentados anteriormente.

Ambiente de trabalho: os engenheiros sabem quão importante é elaborar uma proposta técnica de um produto ou serviço. Esta deve ser completa, precisa e persuasiva. Se a proposta contiver pequenos erros de fatos ou de lógica, inadequadas justificativas dos resultados ou incompleta lista de vantagens e desvantagens, estes são ampliados pelas partes concorrentes, procurando desqualificá-la. Se na elaboração dessas propostas são exigidas tantas habilidades dos engenheiros, na elaboração de laudos técnicos e no ambiente que envolve processos judiciais a demanda por habilidades é ainda maior. É um ambiente de disputas intrínsecas, de adversários e confrontações. Qualquer erro ou omissão é adotado pelo oponente e usado para contestar e atacar a credibilidade de um argumento, tanto no caso de um laudo escrito ou de um testemunho oral. Outro aspecto que o perito deve observar é que, embora a audiência em um tribunal de Justiça seja altamente qualificada em assuntos legais, geralmente tem muito pouca familiaridade com assuntos científicos e tecnológicos. Fórmulas, gráficos, teoremas e cálculos comuns na engenharia são dificilmente entendidos por juízes e júri. Assim, o engenheiro perito deve traduzir os resultados de suas análises para conceitos e terminologias familiares à audiência nos tribunais.

Procedimentos do engenheiro perito judicial: este é geralmente contratado pelo advogado, em nome de seu cliente, e, inicialmente, é necessário um período de adaptação entre os dois para que se conheçam e identifiquem compatibilidades mútuas para a atividade conjunta na ação judicial em vista. Ao perito, de início, pode ser solicitado que elabore um exame preliminar dos documentos do processo, ou, então, que estude o local onde ocorreu um acidente ou um alegado crime, preparando um relatório preliminar escrito ou oral. Este relatório preliminar pode ter certas observações nas quais o perito indica que deveriam ser coletados mais dados ou que se requer uma análise de engenharia mais aprofundada.

Discutidos esses aspectos com o advogado, o mesmo pode solicitar que o engenheiro elabore um relatório escrito compreensível. Esse é um

documento que, em geral, é submetido à parte oponente na esperança de haver um acordo fora do tribunal e, também, servirá de base ao testemunho do perito no tribunal. É um documento formal que deve, em estilo claro e preciso, enunciar os fatos relevantes conhecidos, as suposições efetuadas, os exames e inspeções realizados, os cálculos elaborados, os resultados obtidos e as conclusões a que se chegou. Esse relatório, apesar de certamente ser examinado também por engenheiros da outra parte, deve ser escrito com lógicas não questionáveis e com conclusões compreensíveis ao advogado que, obviamente, não será versado nas disciplinas de engenharia. O advogado oponente procurará refutar as qualificações do perito pela apresentação de certos aspectos especializados da ação, cabendo a este demonstrar, de forma convincente, que é qualificado para a questão, fazendo com que seu testemunho seja aceito.

Uma vez aceito e qualificado o engenheiro como perito especializado, ele será formalmente questionado pelo advogado que o contratou e também pelo advogado oponente. Assim, deve apresentar todas as habilidades para fazer apresentações técnicas com expressões precisas, completas e com aptidão. As medidas efetuadas, as hipóteses, conclusões e suas interpretações serão com certeza colocadas em dúvida pela parte oponente. Apesar dos comentários críticos que surgem nos debates ocorridos nos tribunais, o perito precisa manter sua dignidade de profissional de engenharia e distinguir as explanações que serão imutáveis, as variáveis e as sujeitas a análises de compromisso e mostrar que as conclusões ou opiniões são próprias.

O relatório ou laudo técnico será anexado ao processo como evidência, mas, implicitamente, o aparente conhecimento e as habilidades do perito serão avaliados e julgados pelo juiz e pelos membros do júri.

Características do engenheiro perito judicial – Além das competências nas disciplinas envolvidas na ação judicial, o perito deve possuir habilidades didáticas e facilidade para redigir documentos técnicos. Defender uma proposta junto à gerência ou explicar uma nova teoria a estudantes é mais fácil do que trabalhar no ambiente estressante de uma sala de tribunal de Justiça. Mesmo sendo um trabalho que demanda muito esforço, pode ser de considerável satisfação quando resultar em um bom argumento apresentado no tribunal. O princípio básico é que os argumentos devem ser objetivos. O perito não compromete sua integridade se suportar os desejos do advogado de seu cliente. Análise verdadeira e correta é ne-

cessária e distorções intencionais ou omissões quebram princípios éticos. Por essas razões o engenheiro perito deve ser remunerado baseando-se no trabalho executado, estipulando uma taxa por hora. Taxas contingenciais, isto é, compensações dependentes dos resultados do processo, não são éticas. Análises e experimentos desfavoráveis ao cliente devem ser relatados ao advogado, que decide o que deve ser apresentado como evidência.

É fundamental que o engenheiro tenha capacidade para tornar assuntos técnicos claros e compreensíveis de forma escrita ou na apresentação oral. Devem ser criados diagramas de fácil visualização e compreensão ao juiz e ao júri. Diagramas de mecanismos, desenhos esquemáticos de máquinas e equipamentos, histogramas e traçados de trajetórias são pouco compreensíveis no ambiente de um tribunal. O engenheiro está acostumado e deve usar altas abstrações, sofisticados métodos numéricos e representações estatísticas quando são necessários para efetuar a análise requerida, mas os resultados e conclusões deverão ser apresentados de forma sucinta. A competência em seu campo de atuação deve ser tal que saiba expressar os conceitos técnicos em linguagem apropriada ao público não-técnico.

Registro da documentação – Considerando o projeto de produtos, é fundamental que todo o desenvolvimento seja registrado no sistema de documentação do projeto, conforme apresentado no Capítulo 2 e nas tabelas do Apêndice. Sob o ponto de vista de litígios de responsabilidade civil e de matéria relativa ao patenteamento das concepções, esse documento é fundamental para preparar as respectivas defesas. Nele estarão registradas as especificações estabelecidas, as concepções alternativas desenvolvidas, as tecnologias conhecidas na época do desenvolvimento, os métodos e normas adotados no dimensionamento, na fabricação e no teste ou validação do produto ou processo que é objeto de ação judicial.

No caso de haver oposições ao pedido de patente, os registros das concepções desenvolvidas podem comprovar quando e quem as concebeu e se consistia, ou não uma inovação em relação ao estado da técnica. Esse sistema de documentação do projeto sugerido no Capítulo 2 também é importante para proteger a patente no caso de haver infringência por terceiros.

Nos processos de responsabilidade civil, devido à ocorrência de danos, acidentes ou não conformidades com as especificações, o registro da documentação é a principal base para demonstrar a boa prática adotada

durante o desenvolvimento do produto, as tecnologias conhecidas e as normas ou leis atendidas. Esses dados, por si só, podem ser atenuantes na culpabilidade dos fabricantes e é a principal base para o preparo da defesa em ações judiciais.

10.8 Ética profissional

Dentro do contexto de desenvolvimento de produtos, é fundamental que os profissionais tenham uma constante preocupação ética. Praticamente todos os objetos utilizados na civilização atual têm alguma participação dos profissionais de engenharia em sua concepção ou fabricação. Se os produtos apresentam benefícios ao conforto e ao lazer do homem, têm também seus malefícios, como, por exemplo, provocar danos ao meio ambiente, esgotar recursos naturais não renováveis ou colocar em risco a segurança e a saúde. É também pelos produtos que se expressam a evolução e a cultura do homem. A maximização dos benefícios e a minimização dos efeitos negativos dependem, em muito, do que se convencionou chamar de ética.

Os engenheiros encontram problemas éticos na sua ação, por exemplo, em situações de conflito de interesses, responsabilidade pela saúde e segurança do público, segredos industriais e propriedade intelectual, propinas de fornecedores, honestidade na apresentação de resultados de ensaios e de investigação e deveres decorrentes do exercício da atividade profissional.

A ética pode ser definida como um conjunto de normas de conduta que deverá ser posto em prática no exercício de qualquer profissão. A ação reguladora da ética atua no desempenho das profissões, fazendo com que o profissional respeite seu semelhante quando no exercício da sua profissão. A ética profissional estuda e regula o relacionamento do profissional com sua clientela, tendo em vistas a dignidade humana e a construção do bem-estar no contexto sociocultural onde exerce sua profissão. Ela atinge todas as profissões, e falar de ética profissional remete ao caráter normativo e até jurídico que regulamenta determinada profissão a partir de estatutos e códigos específicos. No caso do engenheiro, há códigos de ética que apresentam diretrizes de comportamento profissional, e estes consideram como principais deveres os descritos a seguir (Castro, 1996 e Resolução n^o 1002, 2002).

Deveres do engenheiro para com a comunidade: é dever fundamental possuir uma boa preparação, de modo a desempenhar com competência as suas funções e contribuir para o progresso da engenharia e da sua melhor aplicação ao serviço da humanidade. Deve proteger o ambiente e os recursos naturais, garantir a segurança de todos os usuários e do público em geral. O engenheiro deve opor-se à utilização fraudulenta, ou contrária ao bem comum, do seu trabalho. Deve procurar as melhores soluções técnicas, ponderando a economia e a qualidade da produção ou das obras que projetar, dirigir ou organizar.

Deveres do engenheiro para com a entidade empregadora e para com o usuário: o engenheiro deve contribuir para a realização dos objetivos econômico-sociais das organizações em que se integre, promovendo o aumento da produtividade, a melhoria da qualidade dos produtos e das condições de trabalho, com o justo tratamento das pessoas. Deve prestar os seus serviços com diligência e pontualidade, de modo a não prejudicar o usuário nem terceiros. Nunca abandonar, sem justificativas, os trabalhos que lhe forem confiados ou os cargos que desempenhar. O engenheiro não deve divulgar nem utilizar segredos profissionais ou informações, em especial as científicas e técnicas obtidas confidencialmente no exercício das suas funções, salvo se, em consciência, considerar poderem estar em sério risco exigências de bem comum. O engenheiro deve recusar compensações de mais de um interessado no seu trabalho quando possa haver conflitos de interesses ou não haja o consentimento de qualquer das partes.

Deveres do engenheiro no exercício da profissão: o engenheiro, na sua atividade associativa profissional, deve pugnar pelo prestígio da profissão e impor-se pelo valor da sua colaboração e por uma conduta irrepreensível, usando sempre de boa-fé, lealdade e isenção, atuando individualmente ou coletivamente. O engenheiro deve opor-se a qualquer concorrência desleal e só assinar pareceres, projetos ou outros trabalhos profissionais dos quais é autor ou colaborador. Deve emitir pareceres profissionais com objetividade e isenção. O engenheiro deve, no exercício de funções públicas, na empresa e nos trabalhos ou serviços em que desempenhar a sua atividade, atuar com a maior correção e de forma a obstar a discriminações ou desconsiderações. Deve recusar a sua colaboração em trabalhos sobre os quais tenha de se pronunciar no exercício de diferentes funções ou que impliquem situações ambíguas.

Deveres recíprocos do engenheiro: deve avaliar com objetividade o trabalho dos seus colaboradores, contribuindo para sua valorização e pro-

moção profissionais. O engenheiro apenas deve reivindicar o direito de autor quando a originalidade e a importância relativas da sua contribuição o justificarem, exercendo esse direito com respeito pela propriedade intelectual de outrem e com as limitações impostas pelo bem comum. O engenheiro deve prestar aos colegas, desde que seja solicitada, toda a colaboração possível e não deve prejudicar as reputações ou atividades profissionais de colegas, nem deixar que sejam menosprezados os seus trabalhos, devendo, quando necessário, apreciá-los com elevação e sempre com salvaguarda da dignidade da classe.

O profissional de engenharia deve apresentar as qualidades seguintes:

Honestidade: está relacionada à confiança que lhe é depositada, à responsabilidade perante o bem de terceiros e a manutenção de seus direitos. A honestidade é a primeira virtude no campo profissional. É um princípio que não admite relatividade, tolerância ou interpretações circunstanciais.

Sigilo: o respeito aos segredos das pessoas, dos negócios e das empresas deve ser desenvolvido na formação de futuros profissionais, pois se trata de algo muito importante. Uma informação sigilosa é algo que nos é confiado e cuja preservação é obrigatória. Documentos, registros contábeis, planos de marketing, pesquisas científicas, práticas organizacionais, dentre outros, devem ser mantidos em sigilo; sua revelação pode representar sérios problemas para a empresa ou para os clientes do profissional.

Competência: sob o ponto de vista funcional, é o exercício do conhecimento de forma adequada e persistente a um trabalho ou profissão. O conhecimento da ciência, da tecnologia, das técnicas e práticas profissionais é pré-requisito para a prestação de serviços de boa qualidade.

Nem sempre é possível acumular todo conhecimento exigido por determinada tarefa, mas é necessário que se tenha postura ética para recusar serviços quando não se tem a devida capacitação para executá-los.

Prudência: todo trabalho, para ser executado, exige muita segurança. A prudência, fazendo com que o profissional analise situações complexas mais fácil, profunda e minuciosamente, contribui para a maior segurança, principalmente das decisões a serem tomadas. A prudência é indispensável nos casos de decisões sérias e graves, pois evita os julgamentos apressados e as disputas ou discussões inúteis.

Coragem: ajuda a não ter medo de defender a verdade e a justiça, principalmente quando estas forem de real interesse para outrem ou para o bem comum. É preciso ter coragem para tomar decisões indispensáveis

e importantes para a eficiência do trabalho sem levar em conta possíveis atitudes ou atos de desagrado dos superiores ou colegas.

Perseverança: qualidade difícil de ser encontrada, mas necessária, pois todo trabalho está sujeito a incompreensões, insucessos e fracassos que precisam ser superados, prosseguindo o profissional em seu trabalho, sem se entregar a decepções ou mágoas.

Compreensão: qualidade que ajuda muito um profissional, pois é bem aceita pelos que dele dependem em termos de trabalho, facilitando a aproximação e o diálogo, tão importante no relacionamento profissional.

Humildade: o profissional precisa ter humildade suficiente para admitir que não é o dono da verdade, e que o bom senso e a inteligência são propriedades de um grande número de pessoas. Representa a auto-análise que todo profissional deve praticar no que diz respeito a sua atividade profissional, a fim de reconhecer melhor suas limitações, buscando a colaboração de outros profissionais mais capazes se houver necessidade, e dispor-se a aprender coisas novas, em uma busca constante de aperfeiçoamento.

Imparcialidade: é uma qualidade tão importante que assume as características do dever, pois determina contrapor-se aos preconceitos, reagir contra os mitos, defender os verdadeiros valores sociais e éticos, assumindo principalmente uma posição justa nas situações que terá de enfrentar. Para ser justo é preciso ser imparcial; logo, disto depende a justiça.

Otimismo: em face das perspectivas da sociedade moderna, o profissional deve ser otimista para acreditar na capacidade de realização da pessoa humana, no poder do desenvolvimento, enfrentando o futuro com energia e bom-humor.

10.9 Resumo

No presente capítulo foram tratados os aspectos mais importantes da legislação e da ética envolvida no processo de desenvolvimento, produção, comercialização e consumo de produtos industriais. Os principais assuntos tratados e as conclusões são as seguintes:

1. *O profissional que atua no processo de desenvolvimento e consumo de produtos industriais deve conhecer e preocupar-se, fundamentalmente, com a legislação que trata da proteção e infringência da inovação, dos direitos dos consumidores e de suas responsabilidades perante a sociedade e o meio ambiente.*

2. *Na fase de concepção do produto, o conhecimento da legislação, da sistemática e dos sistemas de informação que o processo de patenteamento envolve, é importante pelas seguintes razões: há, internacionalmente, inúmeros bancos de patentes, os quais se constituem em importantes fontes de informações tecnológicas que poderão ser usadas caso não sejam protegidas por patentes em vigência; a busca de informações nesses bancos permite verificar se a concepção desenvolvida apresenta patenteabilidade e se não infringirá patentes em vigor; uma vez concedida uma patente, esta é um bem econômico que dá direito ao seu detentor usufruto exclusivo ou de comercialização.*
3. *O Código de Propriedade Industrial prevê a patente de invenção e de modelo de utilidade e o registro de desenho industrial e de marcas.*
4. *O processo de patenteamento de uma invenção ou de modelo de utilidade compreende as seguintes etapas: elaboração do pedido de patente; depósito do pedido de patente; período de sigilo do pedido depositado; publicação do pedido de patente; exame do pedido de patente; e concessão da patente de invenção ou do modelo de utilidade.*
5. *O pedido de patente de invenção ou de modelo de utilidade é constituído dos seguintes documentos: requerimento de pedido de patente; relatório descritivo; reivindicações; desenhos, obrigatórios no caso de modelo de utilidade; resumo; e comprovante da retribuição relativa ao depósito.*
6. *A tramitação no processo de patenteamento de depósitos efetuados no Brasil apresenta as seguintes etapas: I – depósito do pedido que inicia a contagem do tempo; II – período de sigilo do pedido até o máximo de 18 meses para publicação; III – após a publicação, o depositante tem o prazo de 36 meses para requerer o exame; IV – no período da data de publicação até o final do exame, terceiros interessados podem apresentar subsídios técnicos ao exame do pedido de patente; V – o examinador do INPI analisa o pedido de patente e emite seu parecer pela concessão ou não da patente; VI – deferido o pedido de patente, o depositante tem prazo de 60 dias para requerer a expedição da carta patente; VII – terminado esse prazo e tendo pago a retribuição correspondente a concessão da patente é publicada na RPI; VIII – da data da concessão da patente corre o prazo de seis meses para que terceiros possam submeter pedido de nulidade da patente; IX – o pedido de nulidade é examinado pelo presidente do INPI e a decisão publicada encerra a instância administrativa do processo.*
7. *A vigência das patentes e a dos registros tem seu início de contagem na data de depósito dos respectivos pedidos e são as seguintes: patente de invenção,*

- 20 anos; patente de modelo de utilidade, 15 anos; registro de desenho industrial, 10 anos, prorrogável por três períodos sucessivos de 5 anos cada um; e registro de marca, 10 anos, prorrogável por períodos de 10 anos sucessivos.
8. São efetuados, em nível mundial, pedidos internacionais de patentes de acordo com o Tratado de Cooperação em Matéria de Patentes (PCT), sob a égide da Organização Mundial de Propriedade Intelectual – OMPI (World Intellectual Property Organization – WIPO), cuja aplicação no Brasil é regulamentada pelo Ato Normativo nº 128 do INPI, de 5 de março de 1997. O pedido é depositado em um dos países-membros do PCT, é efetuada uma busca internacional por escritório credenciado, mantido em sigilo por um período de 18 meses, o pedido é então publicado na revista PCT Gazette, editada pela OMPI, e a obtenção da patente nos países designados no pedido está sujeita à legislação de cada país. Não há patente internacional e sim regionais, como a patente concedida pelo EPO (European Patent Office), válida nos países da União Européia. Desde o início de 2004 é possível efetuar o depósito eletronicamente, diretamente na OMPI, como escritório de recepção, modificando parte do processamento descrito.
 9. Ao desenvolver um produto, a equipe deve ter em mente os direitos e deveres relacionados à proteção e à defesa do consumidor e, para tal, é fundamental o conhecimento de leis, normas e códigos de defesa dos consumidores nacionais e dos países nos quais pretende produzir e comercializar produtos e serviços.
 10. Os principais direitos dos consumidores são: proteção da vida e da saúde e segurança contra os riscos provocados por práticas no fornecimento de produtos e serviços considerados perigosos ou nocivos; educação e divulgação sobre o consumo ou uso adequado dos produtos e serviços; informações sobre os produtos e serviços com especificações corretas de quantidades, características, composição, qualidade e preço, bem como sobre os riscos que apresentam; a proteção contra a publicidade enganosa e abusiva e os métodos comerciais coercitivos ou desleais; a efetiva prevenção e reparação de danos patrimoniais, morais, individuais, coletivos e difusos e o acesso aos órgãos judiciários e administrativos, com vistas à prevenção ou reparação de danos patrimoniais, morais, individuais, coletivos ou difusos.
 11. Quanto aos principais deveres e responsabilidades dos fornecedores de produtos e serviços têm-se: o fabricante, o produtor, o construtor, nacional ou estrangeiro e o importador são responsáveis pela reparação de danos causados aos consumidores por defeitos decorrentes de projeto e produção de seus produtos, bem como por informações insuficientes sobre sua utilização

e risco; sobre o produto defeituoso, quando não oferece a segurança que dele se espera; o comerciante é responsabilizado quando o fabricante, o construtor, o produtor ou importador não possa ser identificado; o fornecedor de serviços responde, independentemente da existência de culpa, pela reparação dos danos causados aos consumidores por defeitos relativos à prestação dos serviços, bem como por informações insuficientes ou inadequadas sobre sua fruição e os riscos; os fornecedores de produtos de consumo duráveis ou não-duráveis respondem solidariamente pelos vícios de qualidade ou quantidade que os bens tornem impróprios ou inadequados ao consumo.

12. *Para evitar e reduzir os riscos decorrentes de ações de responsabilidade civil a equipe de desenvolvimento de produtos deve tomar as seguintes providências: manter registros dos desenvolvimentos efetuados durante as fases de projeto, fabricação e testes do produto; acompanhar o desenvolvimento do produto no mercado, monitorando os defeitos e antecipando-se aos possíveis danos e conseqüentes ações de responsabilidade civil e monitorar o estado da técnica das tecnologias aplicadas ao produto, para evitar a obsolescência dos conhecimentos relacionados aos defeitos e às periculosidades.*
13. *Na atividade de desenvolvimento de produtos, é fundamental que os profissionais tenham uma constante preocupação com a ética. Praticamente todos os objetos utilizados na civilização atual têm alguma participação dos profissionais de engenharia na sua concepção ou fabricação. Os produtos apresentam benefícios para o conforto e lazer do homem, mas também têm seus malefícios. O saldo positivo pela maximização dos benefícios e minimização dos efeitos negativos depende muito do que se convencionou chamar de ética.*
14. *A ética pode ser definida como sendo um conjunto de normas de conduta que deverá ser posto em prática no exercício de qualquer profissão. Seria a ação reguladora da ética agindo no desempenho das profissões, fazendo com que o profissional respeite seus semelhantes no exercício da sua profissão. Problemas éticos ocorrem em situações de conflito de interesses, responsabilidade pela saúde e segurança do público, segredos industriais e propriedade intelectual, propinas de fornecedores, honestidade na apresentação de resultados de ensaios e de investigação e deveres decorrentes do exercício da atividade profissional.*
15. *A ética profissional dos engenheiros se relaciona principalmente aos deveres: com a comunidade; com a entidade empregadora e com o cliente; no exercício da profissão e na reciprocidade entre os engenheiros.*
16. *A ética requer do profissional as seguintes qualidades: honestidade; sigilo das informações da empresa e de clientes; competência funcional; prudência*

e coragem nas decisões; perseverança; compreensão nos relacionamentos; humildade no reconhecimento de seus limites; imparcialidade nas tomadas de posição; e otimismo, ao acreditar na capacidade de realização da pessoa humana.

10.10 Problemas e temas de discussão

1. Por que um banco de patentes é a mais importante fonte de informação que o projetista deve pesquisar na fase de projeto conceitual do produto?
2. O que é a patente de um produto ou processo?
3. Quais são os tipos de patentes que podem ser obtidas?
4. Quais são as diferenças entre uma patente de invenção e uma patente de modelo de utilidade?
5. Por que é tão importante efetuar uma pesquisa em bancos de patentes na fase de desenvolvimento do projeto conceitual de um produto ou processo?
6. Quais são os principais bancos de patentes disponíveis e quais são os procedimentos de busca de informações sobre patentes?
7. Quais são os critérios que se recomendam sejam propostos para avaliar a patenteabilidade de uma invenção?
8. O que constitui o estado da técnica para verificar a patenteabilidade de uma concepção?
9. Quais são os períodos de vigência e possíveis prorrogações das patentes ou registros seguintes: patente de invenção, patente de modelo de utilidade, registro de desenho industrial e registro de marca?
10. Faça uma breve descrição dos documentos necessários para depósito de pedidos de PI, MU e registro de um DI.
11. Quais são as etapas do processo de obtenção de uma PI, considerando inclusive as possíveis oposições ou recursos interpostos?
12. Faça uma análise comparativa entre os casos de inovações que se enquadram como patente de invenção e patente de modelo de utilidade.
13. Quais são as etapas do processo de obtenção de patente PI ou MU, considerando o depósito efetuado no Brasil?

14. Quais são as etapas do processo de registro de DI?
15. Quais são os possíveis procedimentos de obtenção de patentes em outros países tendo sido efetuado um primeiro depósito de pedido de patente no Brasil?
16. Qual é a principal legislação adotada e os organismos internacionais envolvidos no processamento de depósitos de pedidos internacionais de patentes?
17. Descreva as etapas, os procedimentos e os prazos envolvidos no processo de obtenção de uma patente de invenção nos Estados Unidos, tendo efetuado, inicialmente, um pedido no INPI.
18. Faça um levantamento, junto ao INPI, dos custos financeiros do depositante de uma patente de invenção, considerando os gastos desde o depósito do pedido, durante o processamento do pedido, até a extinção da patente aos 25 anos.
19. Quais são as providências que um depositante de pedido de patente deve tomar para tornar mais fácil a defesa nos casos em que ocorram oposições ao pedido de patente e/ou infringência da patente por terceiros?
20. Faça uma análise da legislação, dos direitos do consumidor e dos deveres que uma equipe deve considerar ao longo do processo de desenvolvimento de um produto.
21. Tendo em vista os direitos e deveres dos fornecedores e dos consumidores, quais são os cuidados e providências que a equipe de desenvolvimento deve tomar para reduzir os riscos de ações judiciais decorrentes de demandas dos consumidores?
22. Por que há, nos dias atuais, uma grande demanda de engenheiros peritos judiciais?
23. Quais são as principais características de um engenheiro para desempenhar bem as suas funções de perito judicial em ações decorrentes de acidentes na operação ou devido à falha de máquinas?
24. O que você entende por ética profissional, tendo em vista a sua participação numa equipe de desenvolvimento de produtos.
25. Quais os principais deveres e características de um engenheiro para que seu exercício profissional seja ético?

10.11 Referências bibliográficas

- ATO NORMATIVO nº 127, MDIC-INPI, de 5/3/1997. Dispõe sobre a aplicação da Lei de Propriedade Industrial em relação às patentes e aos certificados de adição de invenção. Disponível em: URL: <http://www.inpi.gov.br/legislação/legislação.htm>; acessado em 26/1/2007.
- ATO NORMATIVO nº 128, MDIC-INPI, de 5/3/1997. Dispõe sobre aplicação do Tratado de Cooperação em Matéria de Patentes. Disponível em: URL: <http://www.inpi.gov.br/legislação/legislação.htm>; acessado em 26/1/2007.
- ATO NORMATIVO nº 145, MDIC-INPI, de 23/2/1999. Altera os procedimentos relativos à tramitação do pedido de registro de marcas, com vistas a sua agilização. Disponível em: URL: <http://www.inpi.gov.br/legislação/legislação.htm>; acessado em 26/1/2007.
- ATO NORMATIVO nº 160, MDIC-INPI, de 9/9/1999. Dispõe sobre a adoção da classificação internacional de produtos e serviços e dá outras providências. Disponível em: URL: <http://www.inpi.gov.br/legislação/legislação.htm>; acessado em 26/1/2007.
- ATO NORMATIVO nº 161, MDIC-INPI, de 10/6/2002. Dispõe sobre a aplicação da Lei de Propriedade Industrial em relação aos registros de desenho industrial. Disponível em: URL: <http://www.inpi.gov.br/legislação/legislação.htm>; acessado em 26/1/2007.
- BOYELL, R. L. "The emerging role of the forensic engineer". *IEEE Transaction on Professional Communication*. v.PC-30, n.1, 1997, p.16-18.
- CASTRO, P. M. S. T. de. "Ensinar engenharia: profissão e ética". 1996. Disponível em: URL: <http://paginas.fe.up.pt/~ptcastro/ethics.html>; acessado em 27/1/2007.
- CÓDIGO DE DEFESA DO CONSUMIDOR – CDC. Lei nº 8.078, de 11/9/1990. Dispõe sobre a proteção do consumidor e dá outras providências. Disponível em: URL: <http://www.mj.gov.br/DPDC/serviços/legislação/cdc.htm>; acessado em 26/1/2007.
- DECRETO nº 81.742, de 31/5/1978. Tratado de cooperação em matéria de patentes. Disponível em: URL: <http://www.inpi.gov.br/legislação/legislação.htm>; acessado em 26/1/2007.

- LPI – LEI DA PROPRIEDADE INDUSTRIAL, nº 9.279, de 14/5/1996. Regula direitos e obrigações relativos à propriedade industrial. Disponível em: URL: <http://www.inpi.gov.br/legislação/legislação.htm>; acessado em 26/1/2007.
- PATENT COOPERATION TREATY – PCT. World Intellectual Property Organization, WIPO. Geneva, January 2003. Disponível em: URL: <http://www.wipo.int/pct/en/texts/index.htm>; acessado em 26/1/2007.
- REDELINGHUYS, C. “Proposed measures for invention gain in engineering design”. *Journal of Engineering Design*. v.11, n.3, 2000, p.245-263.
- RESOLUÇÃO nº 1002. CÓDIGO DE ÉTICA PROFISSIONAL – CONFEA, 26/11/2002. Adota o Código de Ética Profissional da Engenharia, da Arquitetura, da Agronomia, da Geologia, da Geografia e da Meteorologia e dá outras providências. Disponível em: URL: <http://www.senge-sc.org.br/etical.htm>; acessado em 26/1/2007.

Parte V

**Projeto conceitual – modelagem e
análise da concepção**

Capítulo 11

Modelagem e simulação de soluções de projeto

11.1 A modelagem e a importância de modelos – contexto histórico da modelagem

Nos Capítulos 6 e 7 foi dada especial ênfase à geração do maior número possível de concepções para o problema de projeto, tendo assim a oportunidade de selecionar a melhor ou as melhores soluções dentre as várias alternativas encontradas. Esse processo de seleção foi descrito nos Capítulos 8 e 9. No primeiro, foi abordado o critério da viabilidade econômica, e, no segundo, um processo de seleção por múltiplos critérios. É dada, aqui, a continuidade ao processo de projeto, apurando a seleção da melhor concepção, efetuando sua validação, seu dimensionamento e a otimização. Para que o processo seja possível, é necessário modelar a concepção, criando modelos que possam ser abstratos ou experimentais, cujo estudo será objeto do presente capítulo.

Em sua forma mais genérica, o termo modelagem vem do latim *modellus* e descreve a maneira típica do ser humano de lidar com a realidade. Antropólogos acreditam que a habilidade de construir modelos abstratos seja a característica mais importante que deu ao *homo sapiens* o diferencial competitivo sobre outros humanóides, como o homem de Neanderthal (Schichl, 2003).

Embora representações abstratas de objetos reais tenham sido usadas desde a Idade da Pedra, fato comprovado pelas pinturas rupestres,

o grande salto da modelagem ocorreu com as culturas do antigo Oriente Médio e da Grécia. Os primeiros modelos reconhecidos foram os números, sua contagem e sua representação escrita, documentadas desde 30.000 a.C. As próximas áreas onde a modelagem desempenhou um grande papel são a astronomia e a arquitetura, em torno de 4000 a.C.

Historicamente, registram-se as grandes contribuições ao desenvolvimento da humanidade com a geometria e a aritmética, sobretudo da civilização grega, e da álgebra com as primeiras contribuições árabes em torno do século VIII d.C.

A construção de modelos para problemas reais, especialmente modelos matemáticos, foi desenvolvida por meio de métodos similares de forma independente, em diferentes partes do mundo, como China, Índia e países islâmicos como a Pérsia (Schichl, 2003). Há registros do modelo abstrato do nada, representado pelo zero, trazido à Europa por matemáticos do Oriente Médio. Séculos depois, a física, com a descrição dos princípios naturais, tornou-se o grande impulso para a modelagem e o desenvolvimento da teoria matemática. Mais tarde, a economia juntou-se a essa tendência e atualmente um número crescente de aplicações demanda modelos e análises.

Pode-se afirmar então que a história da modelagem tem enorme correspondência com a própria história da civilização humana, permeando praticamente todas as áreas do conhecimento.

Este capítulo tem como objetivo apresentar os principais conceitos relativos à modelagem, incluindo algumas definições, classificações, riscos e aplicações de modelos. São abordados principalmente os aspectos da modelagem no projeto de produtos, com ênfase nas linguagens adotadas e nas habilidades desejadas dos profissionais que buscam atuar no projeto do produto. O capítulo encerra-se com a apresentação de tópicos relacionados à simulação dinâmica de sistemas técnicos e a introdução a um ambiente de simulação compreendendo sistemas de diferentes domínios energéticos.

11.2 Modelos: definições, propósitos, classificações e riscos

Como uma conseqüência evidente de sua amplitude, é natural que existam diferentes definições e classificações de modelos. Sendo assim, o

objetivo deste item é apresentar algumas dessas definições, focalizando aquelas mais relevantes para o contexto do projeto de produto. De forma bem ampla, pode-se definir modelo como: *uma versão simplificada de algo que é real* (Schichl, 2003).

Logicamente, as características do modelo podem variar de acordo com seu uso: níveis de formalidade, forma de explicitar, riqueza de detalhes e relevância. As características dependem da função básica do modelo e do propósito da modelagem.

O processo de modelagem tem como ponto de partida o *objeto real* que está sendo considerado. Na modelagem, o objeto real é substituído por um outro objeto abstrato, ou modelo mais simples, geralmente com a mesma designação, em forma gráfica, textual ou simbólica. O conhecimento de um mundo real, considerado como domínio de conhecimento, é estruturado no modelo, sendo todas as características do objeto real reduzidas aos fenômenos e aspectos considerados importantes (Schichl, 2003).

Basicamente, o objeto real já existe na tarefa de análise, enquanto no projeto, tal objeto será desenvolvido. Conclui-se então que todo projeto pressupõe a necessidade de análise, embora seja mais abrangente que esta atividade. Em termos de funções, os modelos podem servir a diferentes propósitos:

- explicar fenômenos: a maioria das teorias em física pertence a esta categoria: mecânica newtoniana, termodinâmica, teoria da relatividade, mecânica quântica, modelos de partículas, entre outras. Contudo, não apenas neste campo, mas também na economia, modelos são usados na tentativa de descrever equilíbrio macroeconômico, por exemplo. Especialistas em avalanche constroem modelos com base em dados estatísticos e fenomenológicos para descrever o estado da neve em encostas. Biólogos aplicam modelos predador-presa ou modelos epidemiológicos para investigar a relação entre as várias formas de vida;
- realizar previsões: depois dos modelos serem desenvolvidos para explicar certo fenômeno, eles podem ser usados em uma etapa adicional para fazer previsões sobre o desenvolvimento futuro de ocorrência de dado fenômeno. Os especialistas em avalanche, por exemplo, tendo como base os dados de estado atuais e informações sobre a topologia de uma encosta, realizam previsões sobre a probabilidade de ocorrência de avalanches, seu possível impacto e

localização. Modelos aerodinâmicos fazem previsões sobre a manobrabilidade de uma aeronave a ser construída. Modelos climáticos são usados para prever os efeitos do crescente nível de gases de efeito estufa na atmosfera;

- tomada de decisão: em alguns veículos já se encontram disponíveis sistemas em que o motorista usa um modelo das ruas ao seu redor e do tráfego para decidir qual rota seguir. Certamente, tal modelo é muito reduzido e não se apresenta em uma forma matemática. É baseado em sua experiência e muito vago, mesmo se puder ser expresso em palavras. Um modelo mais formal para a tomada de decisão pode ser o projeto de uma planta industrial com um elevado número de variáveis a decidir, parâmetros e restrições expressas na forma de equações. Modelos desse porte podem representar aspectos tão variados como localização da planta, capacidade operacional, limitações de custo e princípios físicos como conservação da massa;
- comunicação: este é um outro aspecto relevante dos modelos e desempenha papel vital na atividade de projeto, como será visto adiante;
- outros propósitos: exemplos como listas de verificação para manutenção de aeronaves são também modelos, neste caso extremamente detalhados e explícitos. Também são considerados modelos normas técnicas (ABNT, ANSI, DIN, EU Norm etc.) usadas para regular as relações técnicas e ambientais.

11.2.1 Classificação dos modelos

De forma geral, existem várias tentativas de classificação de modelos, o que reflete essencialmente a amplitude desse campo. Pode-se considerar que as classificações são modelos mentais para categorizar os modelos de acordo com suas propriedades e propósitos. A Tabela 11.1 apresenta uma dessas classificações (Lorenz, 2004 e Roozenburg e Eekels, 1995). Ressalta-se que, embora algumas descrições sejam óbvias, essa classificação deve ser ampla.

Como exposto, essa classificação não é nem única nem completa, mas tem o propósito de mostrar a amplitude da tarefa de categorizar os modelos. Além disso, as classificações apresentadas na Tabela 11.1 não são excludentes. Por exemplo, um modelo pode ser geométrico, físico e fun-

Tabela 11.1 Descrição de modelos conforme atributos mais relevantes

Atributo	Descrição
Geométrico	Geometricamente similar ao objeto original
Físico	Usa efeitos descritos por leis físicas que também podem ser encontrados no original
Biológico	Biologicamente relacionado ou similar ao original
Material	Aplica materiais que podem ser encontrados no original
Estrutural	Possui componentes igualmente designados e as mesmas relações entre estes componentes; é estruturalmente similar ao original
Funcional	Função ou comportamento de entrada-saída similar ao original
Estocástico	O modelo é influenciado por efeitos aleatórios; geradores de efeitos randômicos são usados para simular um efeito aleatório no original
Determinístico	Nenhum efeito aleatório é envolvido
Estático	Não apresenta modificação ao longo do tempo
Dinâmico	Suas propriedades (variáveis, parâmetros, entradas ou saídas) modificam-se ao longo do tempo
Contínuo	Todos os seus valores são funções contínuas ao longo do tempo e não apresentam mudanças bruscas de seus valores ou estados
Discreto	Mudanças bruscas de valores ou estados do modelo ocorrem
Combinado	Mudanças bruscas de valores ou estados e, além disso, processos não lineares dependentes do tempo que podem ser descritos através de equações diferenciais
Corpóreo	Possui forma física
Abstrato ou matemático	Não existe em uma forma física, mas apenas como uma imagem abstrata do original, que pode ser usada para problemas típicos de identificação, dedução etc.
Computacional	O modelo é analisado com base em simulação computacional
Síncrono	Modelo que não contém relações temporais
Diacrônico	Modelo contendo relações temporais, também conhecido como modelo de comportamento
Isônico	Modelo com ênfase nas características físicas (2D ou 3D) do sistema
Analógico	Comporta-se como o sistema original, embora necessariamente não tenha a mesma aparência

cional ao mesmo tempo; esses aspectos podem ser observados em atividades típicas como modelismo (aero, naval, auto, ferro etc.).

Outro aspecto importante é que o enfoque sobre a modelagem depende do campo de conhecimento e do escopo; mesmo dentro das engenharias existem diferentes abordagens sobre modelagem. Para a engenharia de produção, os modelos representam sistemas produtivos, ou de transporte, ou empresariais, onde são mais aplicados modelos com características de estocástico, discreto e abstrato. Já no enfoque da engenharia mecânica e áreas afins, como se verá na sequência deste capítulo, características como geometria, dinâmica, efeito combinado (discreto e contínuo) são mais relevantes. Em ambos os campos, todavia, a complexidade dos sistemas atuais praticamente impõe a representação computacional dos modelos.

11.2.2 Vantagens e riscos da modelagem

Independentemente do campo, do escopo ou da abordagem a ser considerada, existe um relativo consenso quanto às vantagens oriundas da modelagem. Algumas delas são apresentadas por Lorenz (2004):

- os custos dos modelos são bem inferiores aos correspondentes sistemas modelados;
- os modelos são mais disponíveis para experimentos;
- são usados sem riscos ao sistema original;
- são usados em outra escala de tempo, exemplo de testes acelerados.

Essas vantagens justificam a aplicação dos modelos no desenvolvimento de produtos, tanto para obter uma redução dos custos do processo quanto de sua duração. Apesar dessas e outras vantagens, existem riscos decorrentes da aplicação inadequada dos modelos (Tabela 11.2).

Do primeiro risco apresentado fica evidente a importância de se entender a conclusão com base na analogia que é, por definição, indutiva e não dedutiva. Sendo assim, a conclusão com base em analogia parte da perspectiva de que a similaridade entre o original e o modelo inclui os efeitos e os fenômenos de interesse. Com o propósito de reduzir o grau de incerteza da conclusão com base na analogia, os modelos são validados. A validação significa determinar o grau de correspondência entre o original e o modelo em relação aos objetivos pretendidos com a aplicação. Nesse sentido, como ocorre com a aplicação de qualquer técnica indutiva, a conclusão baseada em analogia deve ser aplicada com propriedade, entendendo

Tabela 11.2 Principais riscos da modelagem (Lorenz, 2004)

Principais riscos	Descrição
Transferência acrítica dos resultados do modelo para a realidade	Os resultados de experimentos com modelos apenas podem ser transferidos ao sistema original através da conclusão baseada em analogia. Sendo assim, os resultados não devem necessariamente ser aplicáveis
A capacidade de manipular os resultados	Devido à capacidade de manipulação dos resultados, a simulação tem sido, às vezes, usada como um meio para justificar decisões arbitrárias com base em argumentos utilizando alta tecnologia. Portanto, tão importante quanto analisar os resultados, é conhecer quais hipóteses foram usadas para construir o modelo

ou buscando sempre avaliar o impacto das generalizações obtidas. Como exemplo de raciocínio indutivo, tem-se o seguinte:

- se vidro é aquecido, este se expande;
- se cobre é aquecido, este se expande;
- se aço é aquecido, este se expande;
- conclusão: se uma substância é aquecida (qualquer que seja esta), ela se expande.

Como pode ser facilmente observado, do ponto de vista lógico, o raciocínio puramente indutivo não é uma forma totalmente válida. No exemplo anterior, está claro que, apesar da relação aquecimento-expansão estar presente em várias substâncias, não se pode afirmar categoricamente que tal relação é comum a **todas** as substâncias. A água abaixo de 4 °C, por exemplo, não obedece a tal conclusão. Mesmo considerando tal limitação, a indução é fundamental nas ciências empíricas, pois qualquer nova lei ou teoria é desenvolvida com base na indução (Roozenburg e Eekels, 1995).

11.2.3 Processo de modelagem

Tão relevante quanto entender o significado mais amplo de modelos é compreender o processo de modelagem. Em um sentido mais restrito, a modelagem inclui as seguintes etapas (Lorenz, 2004):

1. Definição de condições de referência para o uso de um modelo.
2. Criação ou seleção de um modelo para o original.
3. Observação do sistema original ou uma estimativa para coletar dados para uso como entradas ou parâmetros do modelo.

4. Verificação da correspondência correta do modelo às condições de referência, também chamada validação.
5. Avaliação, cálculos e experimentos com o modelo para obtenção do conhecimento.
6. Transferência desse conhecimento para o original.
7. Verificação da validade do conhecimento relativo ao modelo para o original.

Como exemplo, pode-se citar que na modelagem dinâmica existe a necessidade de definir as condições iniciais de uma análise. A definição de tais condições é vital para uma análise adequada, e nem sempre é simples. Tais condições iniciais podem ser consideradas como os termos de referências da etapa inicial exposta anteriormente. A criação do modelo seria a escolha das equações dinâmicas que são relevantes para a análise do fenômeno. A terceira etapa corresponde à medição de elementos como massa, constantes de rigidez, efeitos de amortecimento, atrito, valores de carga do ambiente sobre o sistema etc. A verificação apresentada na etapa quatro corresponde a realizar simulações, muitas vezes em regime permanente, para definir se o modelo se comporta como o original nas condições iniciais. A quinta etapa compreende executar mais simulações (ou experimentos) para verificar o comportamento do modelo em diferentes condições. Já a sexta etapa se refere à conclusão, por analogia, obtida da análise dos resultados da etapa anterior que, juntamente com a sétima etapa, valida o modelo. Embora essa exemplificação se refira à análise dinâmica, esse procedimento é relativamente geral, com pequenas variações. Este item será mais elaborado em tópicos posteriores.

11.3 Exemplos de aplicações de modelos

Do que foi apresentado anteriormente, é fácil concluir que existem diversos exemplos de aplicação de modelos. O presente item tem como objetivo apresentar alguns destes, visando demonstrar sua relevância e introduzir conceitos que serão posteriormente mais detalhados.

Com o intuito de demonstrar conceitos sobre aplicabilidade, elaboração, impacto e avaliação de modelos, os itens a seguir consideram a aplicação de modelos e simuladores na análise da performance de veículos. Na seqüência, são apresentados aspectos sobre a elaboração de modelos com base nas leis de similaridade.

11.3.1 Modelos e simuladores veiculares

Com relação à aplicação de modelos e simuladores na análise de performance de veículos, tem-se uma considerável história, que data da década de 1960. A maioria dos simuladores compreende sistemas de acionamento hidráulico cuja principal função é transmitir ao corpo do veículo, ou partes deste, os perfis de deslocamento, velocidade e aceleração obtidos de testes experimentais com veículos nas mais diversas situações. A Figura 11.1 apresenta um simulador no qual os atuadores hidráulicos são acoplados diretamente às rodas do veículo. Nesse caso, têm-se dois atuadores por eixo, permitindo a simulação de cargas longitudinais e laterais sobre o veículo¹.



Figura 11.1 Simulador para múltiplos eixos e longo curso (MTS, 1996).

A utilização de testes como este em laboratório em vez de testes de estrada tornou-se muito comum para realizar análise de fadiga e de durabilidade, tanto para avaliação de plataformas veiculares completas como para componentes e partes. Tais testes levam à melhoria da qualidade e redução do tempo de desenvolvimento dos veículos (MTS, 1996). Com esse

¹ Os exemplos apresentados neste item são de caráter introdutório. Para informações sobre o estado da arte nessa área, acesse www.mts.com.

tipo de equipamento é possível, ainda na etapa de desenvolvimento, avaliar subsistemas como carroceria ou suspensão, mesmo antes da confecção de protótipos completamente operacionais.

A complexidade do simulador é diretamente dependente do teste que se deseja processar, ou seja, de quais cargas estão sob análise. Por exemplo, visando simular também os efeitos das cargas de frenagem na estrutura, outros graus de liberdade são fornecidos pelo simulador, como mostra a montagem da Figura 11.2, cujo dispositivo de acoplamento dos atuadores à roda permite a análise de frenagem nos ensaios.

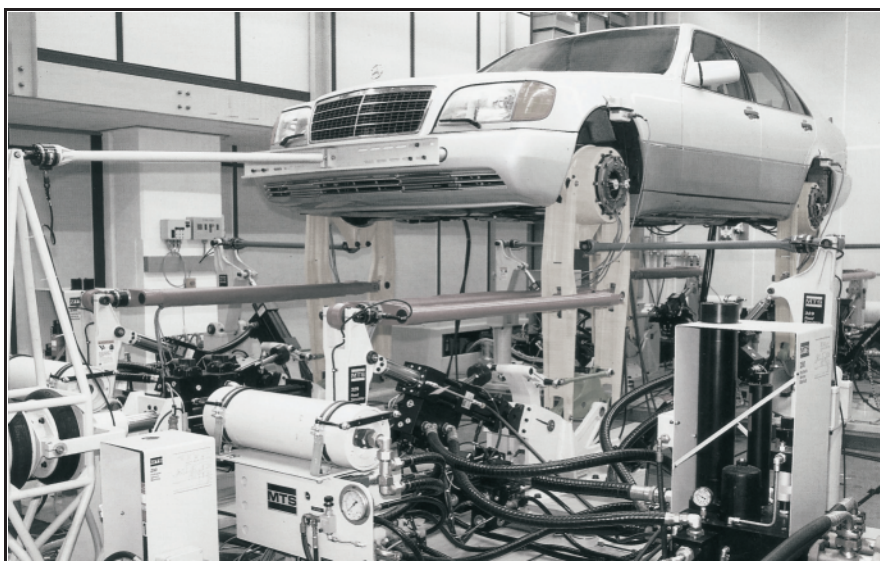


Figura 11.2 Simulador de veículos permitindo efeito de frenagem (MTS, 1996).

Ainda com relação a simuladores veiculares, vale destacar aqueles que permitem a avaliação da performance do veículo em deslocamento, também submetido a cargas verticais. Tal configuração demanda sistemas com motores hidráulicos acionando esteiras planas, sendo todo o conjunto apoiado sobre atuadores hidráulicos, que simulam o carregamento vertical (Figura 11.3).

Outros simuladores também largamente empregados permitem a análise de comportamento da estrutura veicular, ou partes desta, submetida a 6 graus de liberdade, movimentos laterais, longitudinais e verticais juntamente com rotações em relação aos três eixos. A Figura 11.4 mostra um desses testes com apenas parte da carroceria acoplada ao simulador.

Em todos os simuladores mostrados, os acionamentos hidráulicos recebem sinais que representam os diferentes esforços aos quais os veículos são submetidos. Tais representações são em si modelos de uma realidade

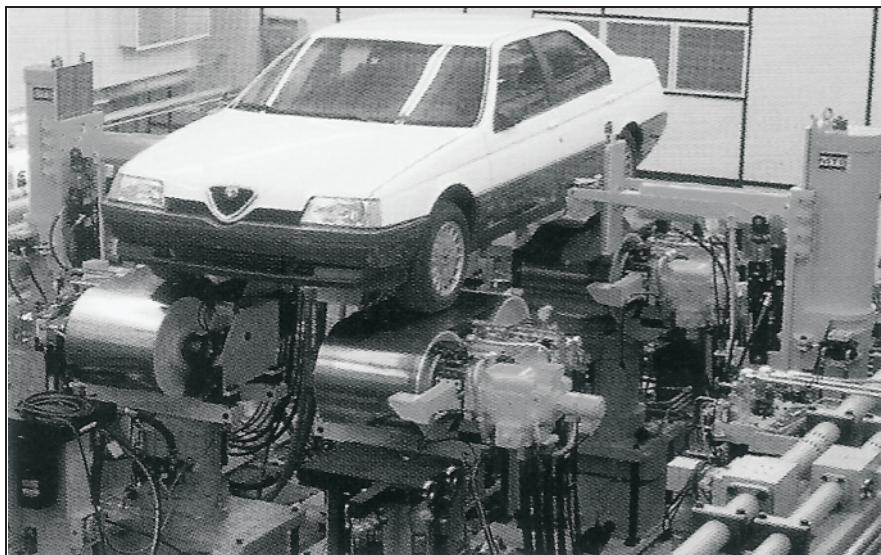


Figura 11.3 Simulador com esteira e carregamento vertical (MTS, 1996).

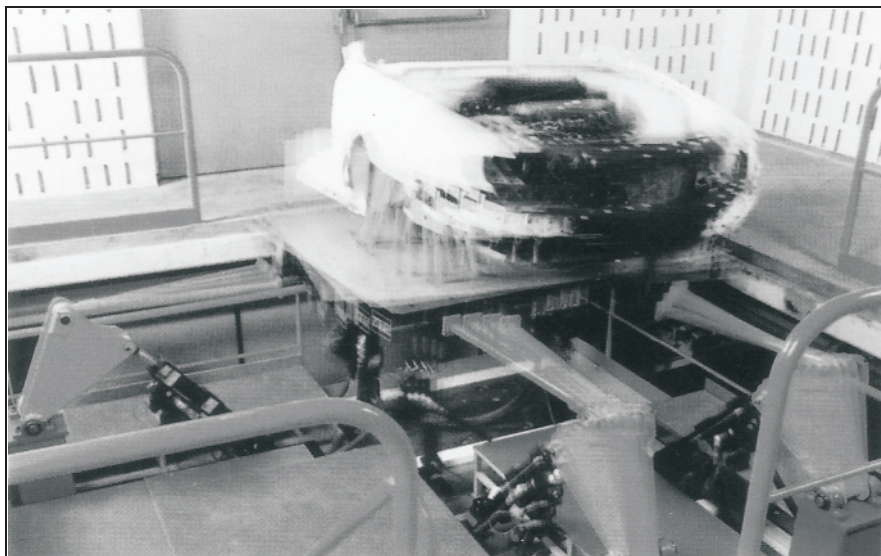


Figura 11.4 Teste de parte frontal de um veículo em simulador de 6 graus de liberdade (MTS, 1996).

física, ou seja, a interação entre veículo e pista. Esse mesmo princípio é empregado para simuladores de maior porte, também conhecidos como mesas multiaxiais, que servem para testes de outras estruturas em condições críticas, como reatores nucleares ou edificações em condições de terremoto, por exemplo.

11.3.2 Análise dimensional e modelos analógicos

Este item tem como objetivo apresentar os conceitos básicos sobre a análise dimensional e o emprego de modelos analógicos. Esses modelos são também conhecidos como modelos em escala com características comportamentais semelhantes, nos quais uma determinada propriedade do modelo se comporta de forma análoga à propriedade do produto em análise (Roozenburg e Eekels, 1995). Este item apresenta apenas os conceitos básicos ligados à análise dimensional. Para mais detalhes sobre a fundamentação teórica de modelos analógicos, o leitor é convidado a consultar outras referências (Langhaar, 1951 e Carneiro, 1996).

Entre as aplicações mais conhecidas dos modelos em escala podem-se citar modelos para ensaios em túnel de vento e em canais de escoamento, estudo da ação de correntes fluviais ou marítimas em estruturas ou equipamentos. A aplicação da modelagem experimental, com base em modelos analógicos, serve aos seguintes propósitos principais:

- obter dados experimentais para análises quantitativas particulares, por exemplo, para determinar as frequências naturais de uma viga sendo dadas as condições de suporte e distribuição de massa;
- para explorar um comportamento fundamental observado em fenômenos pouco conhecidos e particulares;
- obter dados quantitativos para serem usados no projeto de protótipos, quando a teoria é muito complexa ou inexistente.

A modelagem experimental é uma técnica que depende muito da habilidade e do julgamento do projetista do experimento. Para proceder adequadamente na experimentação com modelos analógicos deve-se levar em consideração os princípios de similaridade e análise dimensional, conforme serão vistos a seguir.

Com o intuito de esclarecer os conceitos a serem apresentados, aqui se faz necessário contextualizar os termos **modelo** e **protótipo**. Protótipo

representa o objeto a ser projetado com todas as características funcionais e dimensionais do produto, enquanto o modelo é o objeto em escala, geralmente reduzida, de cuja análise se pretende tirar conclusões a serem empregadas na avaliação do comportamento do protótipo. Além do aspecto de escala, o modelo pode ser de material diferente e possuir características funcionais parciais. Algumas vezes, por exemplo, é necessário apenas analisar um modelo em escala de uma asa, com o intuito de descobrir as forças de sustentação e de arraste sobre ela, sem necessariamente analisar o modelo completo do avião em escala. A seguir são apresentados os princípios de similaridade e os conceitos básicos da análise dimensional.

Dois sistemas são similares em alguns aspectos físicos particulares se as relações de variáveis físicas relevantes correspondentes são constantes sobre o todo dos dois sistemas. Se isso se aplica particularmente a variáveis geométricas, define-se como similaridade geométrica ou semelhança de aparência. Entretanto, a similaridade não significa ou implica somente em semelhança de aparência, mas requer que características físicas e geométricas do protótipo, que são relevantes para um problema particular, sejam univocamente representadas no modelo e ainda que as mesmas leis físicas se apliquem aos dois sistemas.

O procedimento de modelagem analógica deve levar em consideração todas as características relevantes do sistema protótipo. Essas características incluem a geometria e as características físicas que exerçam alguma influência sobre o problema investigado. Para ser possível a modelagem do protótipo, cada uma dessas características deve ser simbolizada como uma variável e, então, submetidas a uma análise dimensional.

O próximo passo é decidir sobre o tamanho do modelo, tempos do modelo, fabricação, montagem, entre outros aspectos que são ditados, principalmente, pelas facilidades e pelos recursos disponíveis para a fabricação e teste, tais como espaço de teste do modelo, formas e tamanhos dos materiais disponíveis, fontes para aplicação de solicitações no modelo e instrumentos de medida.

Com base nessas decisões podem ser estabelecidos os fatores de escala para cada uma das variáveis envolvidas no estudo. Se for adotado um modelo completamente similar, e de acordo com os conceitos introduzidos a seguir, o procedimento de modelagem analógica pode ser resumido nos seguintes passos:

1. Listar todas as variáveis relevantes do problema a ser estudado.
2. Estabelecer pela análise dimensional os produtos adimensionais Π_i .
3. Listar os valores e ou as faixas de variação de todas as variáveis do protótipo ou do modelo.
4. Estabelecer os fatores de escala para todas as variáveis a partir das condições de $\lambda_{\Pi_i} = 1$, que significa que os produtos adimensionais do modelo e do protótipo, quando similares, são iguais, $\Pi_{im} = \Pi_{ip}$.

A fim de introduzir os conceitos de análise dimensional, faz-se necessário estabelecer as grandezas características de um problema e suas representações a serem adotadas (Tabela 11.3).

Tabela 11.3 Definições das representações das grandezas fundamentais na análise dimensional (Carneiro, 1996)

Grandeza fundamental (Sistema SI)	Símbolos usuais	Símbolos nas fórmulas dimensionais	Unidade SI
Comprimento	L, ℓ	L	metro (m)
Massa	M, m	M	quilograma (kg)
Tempo	T, t	T	segundo (s)
Corrente elétrica	I, i	I	Ampére (A)
Temperatura	T, θ	θ	Kelvin (K)
Intensidade luminosa	I, I_v	I_v	Candela (cd)
Quantidade de substância	n	mol, N	mol (mol)

A matriz que representa as relações entre as variáveis relevantes ao problema e as grandezas físicas fundamentais é conhecida como matriz dimensional. Existem diferentes formas de representá-la. Na seqüência vê-se a forma mais comumente encontrada de obtenção da matriz dimensional. As linhas da matriz representam as grandezas fundamentais envolvidas no problema, enquanto nas colunas estão relacionadas as variáveis do problema. Dessa forma, os elementos internos da matriz representam os expoentes das grandezas fundamentais para cada variável.

Apenas para exemplificar os princípios da análise dimensional, tendo como base um problema já conhecido, considere que se busque determinar as relações entre as variáveis: uma dada massa (m), que gira a uma velocidade tangencial (v), em torno de um eixo em um raio (r) para se determinar a relação dessas variáveis com a força centrífuga (F).

O primeiro passo é estabelecer a matriz dimensional. Faz-se necessário avaliar quais grandezas listadas na Tabela 11.3 são significativas nesse problema, ou determinar as linhas da matriz dimensional. De uma breve análise, tendo como base os princípios da física que definem as variáveis fundamentais do problema, conclui-se que apenas os termos relativos a comprimento, massa e tempo são significativos nesse problema. Sendo assim, no primeiro passo, a matriz dimensional tem a dimensão de 3×4 (Tabela 11.4). As variáveis do problema têm as seguintes dimensões:

$$[m]=M \quad [r]=L \quad [v]=LT^{-1} \quad [F]=MLT^{-2}$$

Tabela 11.4 Matriz dimensional do problema em estudo

Variáveis/Grandezas fundamentais	massa (<i>m</i>)	raio (<i>r</i>)	velocidade (<i>v</i>)	força (<i>F</i>)
<i>M</i>	1	0	0	1
<i>L</i>	0	1	1	1
<i>T</i>	0	0	-1	-2

Como se pode observar, os valores introduzidos na matriz da Tabela 11.4 correspondem aos expoentes das grandezas fundamentais *M*, *L* e *T* contidas nas variáveis do problema em estudo.

Sobre a matriz dimensional da Tabela 11.4 cabe um comentário a respeito da disposição das colunas. Obviamente, a realidade física do problema independe do arranjo das linhas e colunas; entretanto, existe uma orientação para que se ordenem as colunas de tal forma que as primeiras sejam formadas por variáveis, tendo dimensões independentes entre si. Nesse caso, os vetores correspondentes aos expoentes das variáveis *m*, *r* e *v* são linearmente independentes. Isso significa que não é possível, através de operações lineares, obter um dos vetores partindo-se dos outros dois.

Para aqueles que não têm familiaridade com esse tópico, considere que *M*, *L* e *T* são as coordenadas de um espaço cartesiano (*x*, *y*, *z*). É fácil verificar que os três primeiros vetores (expoentes de *m*, *r* e *v*) são linearmente independentes entre si; nesse caso, cada par de vetores define um plano que não contém o terceiro vetor. Logo, por combinação linear de dois vetores não é possível descrever o terceiro. Isso significa que os vetores dos expoentes de *m*, *r* e *v* formam uma base no espaço das três grandezas fundamentais (*M*, *L* e *T*). Isso também aconteceria se *F* fosse considerada como variável da base.

Após a definição dessa matriz, deve-se proceder a determinação do posto da matriz, que é uma característica de relevância da mesma. Considerando a matriz da Tabela 11.4 e também a análise feita da condição de vetores linearmente independentes, tem-se que o posto (*rank*) dessa matriz é 3. Pela análise linear, isso significa que a ordem da submatriz quadrada não-singular ou de determinante não-nulo é 3.

Sendo assim, define-se um importante aspecto, qual seja, o número mínimo necessário de produtos adimensionais para representar as relações entre as variáveis. Sendo o número de variáveis do problema j e posto da matriz dimensional k , o número de produtos adimensionais Π (π , do alfabeto grego) é igual a $(j - k)$. Essa conclusão é conhecida na literatura como teorema Π (Carneiro, 1996).

No caso do problema em estudo, tem-se $j = 4$ e $k = 3$, logo, será necessário determinar apenas um produto adimensional. Isto é, para o problema em estudo há um único produto adimensional que poderia ser descrito, genericamente, na forma:

$$\Pi = m^{K_1} r^{K_2} v^{K_3} F^{K_4} \quad (11.1a)$$

ou

$$\Pi = X_1^{K_1} X_2^{K_2} X_3^{K_3} X_4^{K_4} \dots X_n^{K_n} \quad (11.1b)$$

Para o problema apresentado, tem-se a equação 11.1a que representa a definição do produto adimensional Π como sendo o produto das variáveis características do problema elevadas aos seus respectivos expoentes. A equação 11.1b é uma generalização da anterior para um número qualquer n de variáveis características. Na equação 11.1a, substituindo-se as variáveis características do problema em função das grandezas fundamentais (Tabela 11.4), tem-se a equação 11.1c.

$$\Pi = (M)^{K_1} (L)^{K_2} (LT^{-1})^{K_3} (MLT^{-2})^{K_4} \quad (11.1c)$$

Apresentando a equação 11.1c na forma matricial, tem-se a Tabela 11.5, a qual nada mais é que uma repetição da matriz anteriormente exposta, agora com ênfase aos expoentes das variáveis características do problema.

Para que o produto Π seja adimensional, ou seja, independente das dimensões do modelo, é necessário que a soma dos expoentes das grandezas fundamentais M , L e T seja nula, formando o seguinte sistema de três equações lineares:

$$\begin{aligned}
 1 \cdot K_1 + 0 \cdot K_2 + 0 \cdot K_3 + 1 \cdot K_4 &= 0 \\
 0 \cdot K_1 + 1 \cdot K_2 + 1 \cdot K_3 + 1 \cdot K_4 &= 0 \\
 0 \cdot K_1 + 0 \cdot K_2 + (-1) \cdot K_3 + (-2) \cdot K_4 &= 0
 \end{aligned} \tag{11.2}$$

Tabela 11.5 Matriz dimensional com ênfase nos expoentes K_i

	massa (m)	raio (r)	velocidade (v)	força (F)
	K_1	K_2	K_3	K_4
M	1	0	0	1
L	0	1	1	1
T	0	0	-1	-2

Esse sistema é indeterminado por definição, pois tem quatro incógnitas (K_i) com apenas três equações, ou seja, tem infinitas soluções. Sendo assim, podem-se considerar infinitos produtos adimensionais. Aqui está a razão para se ter precisamente o número necessário de produtos adimensionais a determinar, neste caso igual a 1.

Embora não seja necessário, recomenda-se realizar operações lineares para facilitar a resolução do sistema de equações. Sendo assim, processando-se operações lineares sobre a matriz dimensional, tem-se a configuração da Tabela 11.6, também conhecida como forma canônica.

Tabela 11.6 Matriz dimensional na forma canônica

massa (m)	raio (r)	velocidade (v)	força (F)
K_1	K_2	K_3	K_4
1	0	0	1
0	1	0	-1
0	0	1	2

Para tornar o sistema determinado é necessário arbitrar o valor de uma incógnita e determinar as demais do sistema restante. Esse processo deve ser repetido tantas vezes quantos produtos adimensionais forem necessários. Também é relevante destacar que na escolha das variáveis a serem arbitradas reside uma importante decisão, pois tal escolha afetará diretamente o produto adimensional resultante e o experimento a ser realizado.

Para a escolha das variáveis a serem arbitradas, caso seja necessário mais de um parâmetro adimensional, é preciso estar atento para que os valores escolhidos das variáveis não formem vetores linearmente depen-

dentes com outros valores já arbitrados. Por exemplo, considerando uma situação em que apenas duas variáveis devem ser arbitradas, se em uma escolha foram arbitrados $K_i = 1$ e $K_j = 0$, em outra combinação não devem ser arbitrados $K_i = 2$ e $K_j = 0$, pois tal combinação irá gerar um parâmetro Π , equivalente ao parâmetro já encontrado pela combinação anterior.

Neste exemplo, considerando que se deseje um parâmetro adimensional em que a força esteja diretamente representada, variável F com expoente 1, deve-se adotar $K_4 = 1$. Logo, o sistema passa a ser determinado tendo como resultado os valores: $K_1 = -1$; $K_2 = 1$ e $K_3 = -2$.

Substituindo-se essa combinação de parâmetros na equação 11.1a, tem-se o seguinte produto adimensional:

$$\Pi = m^{-1} r^1 v^{-2} F^1 \quad (11.3)$$

Esta equação pode ser reescrita gerando a já conhecida relação:

$$F = \Pi \left(\frac{mv^2}{r} \right) \quad (11.4)$$

Como mencionado no início deste item, o objetivo aqui é apenas introduzir o tópico de análise dimensional e não oferecer o completo embasamento teórico. Assim, considerando que o procedimento para obtenção dos produtos adimensionais esteja claro, deve-se agora estabelecer as regras para a definição das relações entre as variáveis do protótipo e do modelo. Para isso, definem-se os fatores de escala pela equação 11.5:

$$\lambda_{\Pi i} = \frac{\Pi_{ip}}{\Pi_{im}} \quad (11.5)$$

onde:

$\lambda_{\Pi i}$ - fator de escala do produto Π_i

Π_{ip} - produto adimensional i do protótipo

Π_{im} - produto adimensional i do modelo

Considerando que a similaridade completa requer que todos os produtos adimensionais tenham fatores de escala 1, ou seja, os produtos adimensionais do modelo e do protótipo devem ser iguais, é possível estabelecer os fatores de escala para as variáveis físicas do problema. Por

exemplo, considerando o produto adimensional deduzido na equação 11.3, tendo como base que a massa do modelo a ser testado no experimento seja duas vezes menor, o raio seja quatro vezes maior e a velocidade duas vezes menor, qual será a relação entre as forças centrífugas no protótipo e no modelo?

$$\lambda_m = \frac{m_p}{m_m} = 2; \quad (11.6a)$$

$$\lambda_r = \frac{r_p}{r_m} = \frac{1}{4}; \quad (11.6b)$$

$$\lambda_v = \frac{v_p}{v_m} = 2 \quad (11.6c)$$

Partindo-se da definição do produto adimensional (equação 11.3), e com base na similaridade completa, isto é, $\lambda_{\Pi} = 1$, conforme a equação 11.5, pode-se concluir a seguinte relação:

$$\lambda_F = \frac{F_p}{F_m} = \left(\frac{m_p}{m_m} \right) \left(\frac{r_p}{r_m} \right) \left(\frac{v_p}{v_m} \right)^2 = (2) \left(\frac{1}{4} \right) (2)^2 \quad (11.6d)$$

Sendo assim, para se manter a similaridade completa, a relação de forças entre protótipo e modelo será de apenas duas vezes.

No exemplo apresentado havia somente quatro variáveis, e como o número de variáveis fundamentais é três, resultou em um só produto adimensional. Na prática de projeto de produtos, na maioria dos casos tem-se um número elevado de variáveis, resultando em um número maior de produtos adimensionais. Nesses casos, com o objetivo de simplificar o procedimento dos testes do modelo e para obter produtos adimensionais de mais fácil interpretação e processamento, e considerando a matriz dimensional conforme a Tabela 11.4, recomenda-se adotar as seguintes orientações:

- considerar X_1 a variável dependente, e colocar na primeira coluna da matriz dimensional;
- identificar a variável de mais fácil controle na experimentação e designá-la por X_2 na segunda coluna;
- chamar de X_3 a segunda variável de mais fácil controle na experimentação e assim por diante;
- ordenar as demais variáveis de tal forma que o determinante de maior ordem fique à direita da matriz dimensional;

- adotar para os coeficientes K_i da equação 11.2 ou na matriz dimensional na forma canônica, conforme a Tabela 11.6, para os $(j - k)$ produtos adimensionais, os seguintes valores:
 - primeiro produto adimensional: $K_1 = 1$ e K_2 a $K_{j-k} = 0$
 - segundo produto adimensional: $K_1 = 0$; $K_2 = 1$ e K_3 a $K_{j-k} = 0$
 - produto adimensional $(j - k)$: K_1 a $K_{j-k-1} = 0$ e $K_{j-k} = 1$

Tendo determinado esses produtos adimensionais, o próximo passo é decidir sobre o tamanho, materiais, tempos do modelo, entre outros que são ditados, principalmente pelas facilidades e pelos recursos disponíveis para fabricação e teste, tais como: espaço de teste do modelo; formas, tamanhos e tipos dos materiais disponíveis; fontes para aplicação de solicitações no modelo; e instrumentos de medidas.

Uma vez projetado e construído o modelo, efetuam-se os experimentos submetendo o mesmo ao ensaio e medindo as diversas variáveis, que permitem calcular as constantes dos produtos adimensionais, que, como se sabe, são iguais às do protótipo, desde que haja similaridade com o modelo.

Como se sabe, a análise dimensional é uma poderosa técnica, sendo a base para o estudo dos modelos analógicos. Apesar de todo o desenvolvimento computacional das últimas décadas, os modelos analógicos continuam sendo fundamentais para o conhecimento de fenômenos complexos, cujas equações constitutivas não são totalmente conhecidas ou têm solução de elevado custo em termos computacionais. Tal característica é marcante na avaliação de fenômenos de transporte de fluidos, razão pela qual ainda existe um investimento considerável em ensaios em túnel de vento ou canais de escoamento, como mostra o próximo item.

11.3.3 Simulação de escoamento

Outra aplicação muito conhecida de modelos é na simulação de escoamentos, tanto de líquidos como de gases, em torno de superfícies. Essa aplicação, comum nos campos automobilístico, aeronáutico, aeroespacial ou naval, beneficia-se diretamente da construção de modelos e seus respectivos experimentos em túneis de vento ou tanques de escoamento.

Como uma exemplificação do impacto dos experimentos em túnel de vento, é corrente na imprensa especializada que o enorme sucesso nas

temporadas entre 1999 e 2004 da equipe Ferrari de Fórmula 1 foi uma consequência direta dos testes realizados em seu túnel de vento, construído no fim de 1998, na sede da equipe. O equipamento usado para testes aerodinâmicos, tanto de carros de corrida quanto de rua, é controlado por computador com mais de 300 sensores. Esse túnel de vento, a um custo de US\$ 10 milhões, tornou-se cartão-postal de Maranello e foi colocado em operação plena pelos técnicos no ano 2000.

Essencialmente, o túnel de vento é um tubo através do qual o ar é soprado ou sugado ao longo de seu comprimento. Um modelo é montado em uma seção do tubo, sob um sistema de medição denominado balança. Esse instrumento mede os carregamentos verticais, horizontais e de torção sobre o modelo.

Para o adequado funcionamento do túnel, é importante que o fluxo de ar esteja bem balanceado e não contenha turbulência. As forças e momentos serão do modelo e do suporte da estrutura sob a balança, cujos próprios pesos são registrados na condição de fluxo nulo. Esses valores são removidos dos resultados experimentais a fim de se obter os efeitos aerodinâmicos sobre o modelo. A configuração básica de um túnel de vento é representada na Figura 11.5.

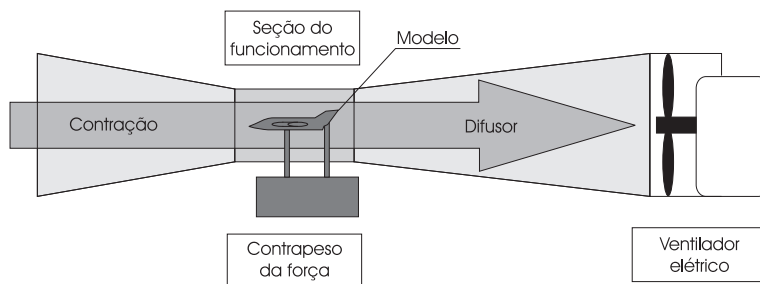


Figura 11.5 Configuração básica de um túnel de vento.

Nesta aplicação, assim como nas apresentadas anteriormente, existem grandes investimentos para conhecer melhor o comportamento do sistema a ser construído, com a simulação de modelos analógicos. Como será visto, para qualquer conclusão sobre o comportamento do sistema a ser projetado com base nos experimentos com os modelos, tais modelos devem obedecer às leis de similaridade. A título de ilustração, a Figura 11.6 apresenta um modelo em túnel de vento². A seção de teste do túnel tem

² Fonte: <http://www.windtunnels.arc.nasa.gov>

diâmetro de aproximadamente 3,5 m, com quatro aletas de largura 1,2 m centradas na vertical e horizontal, tendo 8,5 m de comprimento. Existem janelas laterais para observação do fluxo em torno do modelo.

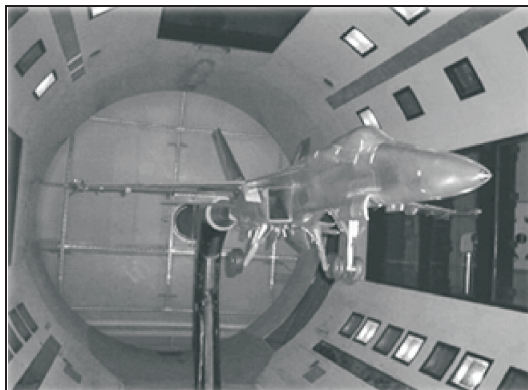


Figura 11.6 Modelo em escala de aeronave em um túnel de vento.

Em aplicação similar a de ensaio em tanques, também se tem grandes investimentos, como o recém-construído tanque oceânico, instalado na COPPE/UFRJ com apoio da Petrobras. Nesse campo, soluções alternativas de fundações, estudadas a partir de modelos em escala reduzida, garantem maior capacidade de suporte, reduzem custos e problemas operacionais inerentes à instalação de plataformas marítimas de petróleo. A instalação de unidades de petróleo em águas profundas levou a Petrobras e o Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo (IPT) à pesquisa de novos sistemas de ancoragem (pontos de fixação) de plataformas marítimas, na busca de soluções com elevadas capacidades de suporte, aliadas às facilidades de operação e instalação. A utilização pioneira de modelos físicos reduzidos foi a solução para reproduzir as condições e os procedimentos de campo. Em parceria com a FINEP (Financiadora de Estudos e Projetos) e apoio do CENPES/Petrobras, o IPT produziu modelos reduzidos de diferentes tipos de pontos de fixação, cada qual com uma geometria, de forma a avaliar qual resultaria em maior capacidade de carga. Foi necessário o desenvolvimento de sistemas auxiliares (mecânicos, elétricos e eletrônicos) que, em conjunto, constituíram o ensaio em tanque de provas, permitindo simular condições de instalação e solicitação em situação de trabalho³.

³ Fonte: <http://www.ipt.br/inovacao/exemplos/finep>

11.3.4 Simuladores integrados a sistemas especialistas

Além das aplicações até aqui apresentadas, tem sido constatada a intensa integração entre simuladores e sistemas baseados em conhecimento, também conhecidos como Sistemas Especialistas – SE. Esses sistemas visam emular o conhecimento de especialistas em domínios específicos (Giarratano e Riley, 1994).

Neste sentido, o presente item mostra uma aplicação dessa integração voltada ao domínio de gás natural. Este projeto é conhecido no Brasil como projeto SEGRED – Sistemas Especialistas para Gerenciamento de Redes de gás natural aplicando simulação dinâmica⁴.

Na rede de transporte de gás natural modelada, no trecho do gasoduto Bolívia–Brasil, estão presentes as ECOMP (Estações de Compressão de Gás Natural), as EEs (Estações de Entrega) e as válvulas de bloqueio de trecho. Com o intuito de aplicar o procedimento incremental (Gonzalez e Dankel, 1993) reconhecido como o modelo de desenvolvimento de sistemas especialistas mais adequado para projeto de sistemas de médio e grande porte, o processo de desenvolvimento do SEGRED trabalha com parte da rede de transporte. Com isso, as diferentes etapas no desenvolvimento de um sistema especialista são aquisição, representação, implementação e validação do conhecimento, executadas de forma coordenada visando atingir robustez, modularidade e capacidade de expansão do sistema, como métricas no desenvolvimento (Silva, 1998).

Através de técnicas de sistemas especialistas, é possível implementar regras que descrevem a relação entre os parâmetros operacionais e as condições de operação da rede baseadas nas heurísticas dos especialistas. Aplicando tais regras, o sistema pode avaliar o estado real da rede e prever condições anormais através da simulação dinâmica, permitindo a análise da situação operacional antecipadamente.

A Figura 11.7 apresenta o modelo de um trecho do gasoduto analisado, no qual se pode alterar os parâmetros operacionais das EE, ECOMP e o estado das válvulas de bloqueio e posteriormente avaliar o cenário da rede. O sistema SEGRED possibilita também verificar os resultados da análise, editar os valores de históricos de consumo das estações e ter uma visualização de gráficos sobre o comportamento da rede (Silva, Jr. e Silva, 2002 e Silva e Porciúncula, 2003).

⁴ Mais informações, acesse: <http://www.laship.ufsc.br/segred>

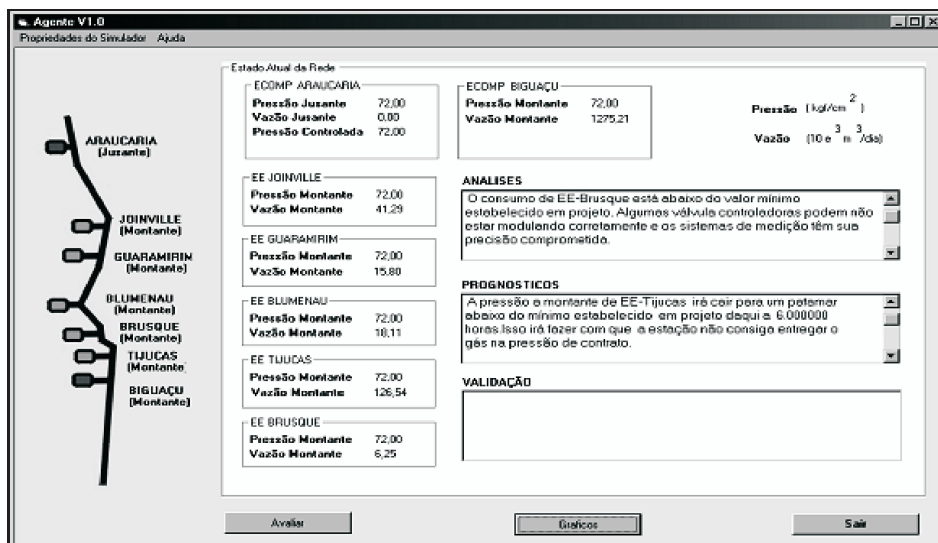


Figura 11.7 Modelo de trecho do gasoduto no projeto SEGRED.

A Figura 11.7 apresenta à esquerda um modelo icônico representando os principais aspectos do trecho mapeado do gasoduto. Cada ponto realçado representa uma estação de entrega que corresponde a uma cidade recebendo gás natural. Ao lado direito mostram-se opções de entrada dos principais parâmetros das estações de entrega compreendidos no trecho modelado. Através da integração com simulador, é possível fazer avaliações de cenários operacionais, diagnosticar problemas na rede e realizar prognósticos sobre o comportamento dinâmico do sistema, como a queda do perfil de pressão nas diversas estações resultante de um aumento brusco de consumo das respectivas regiões, conforme mostrado na Figura 11.8.

Além do módulo que permite a integração com o ambiente de simulação dinâmica AMESim⁵, a ser apresentado posteriormente, o sistema SEGRED também consta de um módulo que modela as características operacionais de uma estação de entrega, visando permitir a análise de falhas nesses equipamentos (Figura 11.9).

Nesse sistema, cada equipamento da estação pode ser analisado em vários níveis: estados críticos, falhas, estados de operação e informações. Uma vez identificada alguma anormalidade através do processo de aná-

⁵ AMESim[®] – Advanced Modeling Environment for Simulation (www.amesim.com).

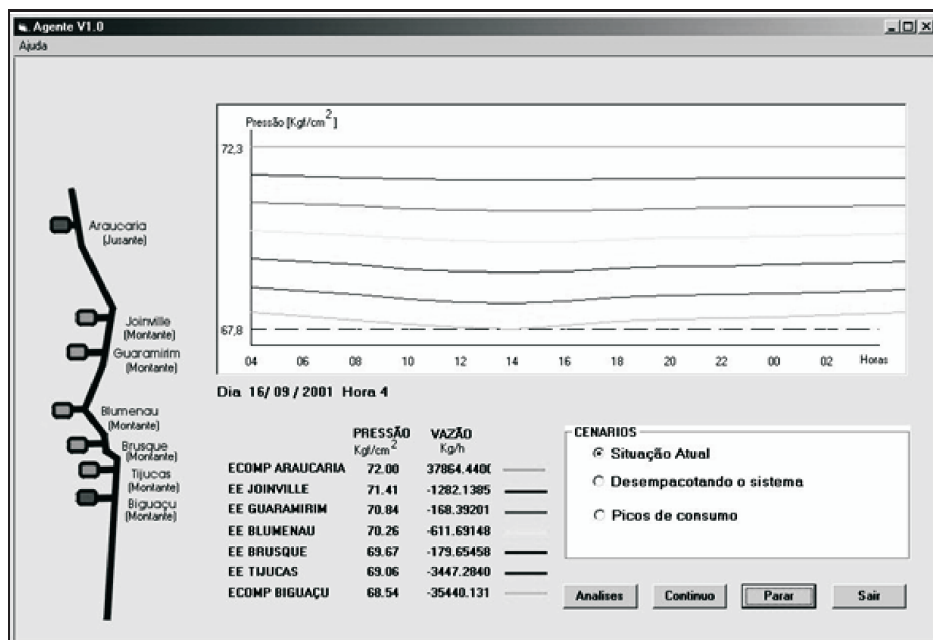


Figura 11.8 Resultados na pressão obtidos de simulações de alterações de consumo nas estações de entrega.

lise, o usuário pode utilizar os recursos de diagnóstico para determinar as possíveis falhas que estão causando tal anormalidade e de que modo isso ocorreu. Nesse módulo de diagnóstico é possível alterar os valores das variáveis de processo de cada estação, validar os mesmos e dar início ao processo de diagnóstico da EE. Primeiramente o sistema identifica em qual subsistema da estação existem anormalidades; a partir disso é apresentada uma relação de possíveis falhas relativas ao subsistema de acordo com as suas variáveis de processo. O usuário poderá interagir com o sistema, podendo aceitar uma ou mais falhas como verdadeiras; uma vez que uma falha seja definida como verdadeira poderão ser investigados os seus possíveis modos de falha. Posteriormente o sistema fornece um relatório de toda a interação do usuário com o sistema e resultado final da avaliação.

De forma resumida, podem-se destacar as principais características do projeto SEGRED como segue:

- análise – capacidade de analisar o estado operacional da rede;
- diagnóstico – capacidade de investigar falhas e gerar recomendações para a manutenção;

- prognóstico – capacidade de prever comportamento da rede usando simulação dinâmica.

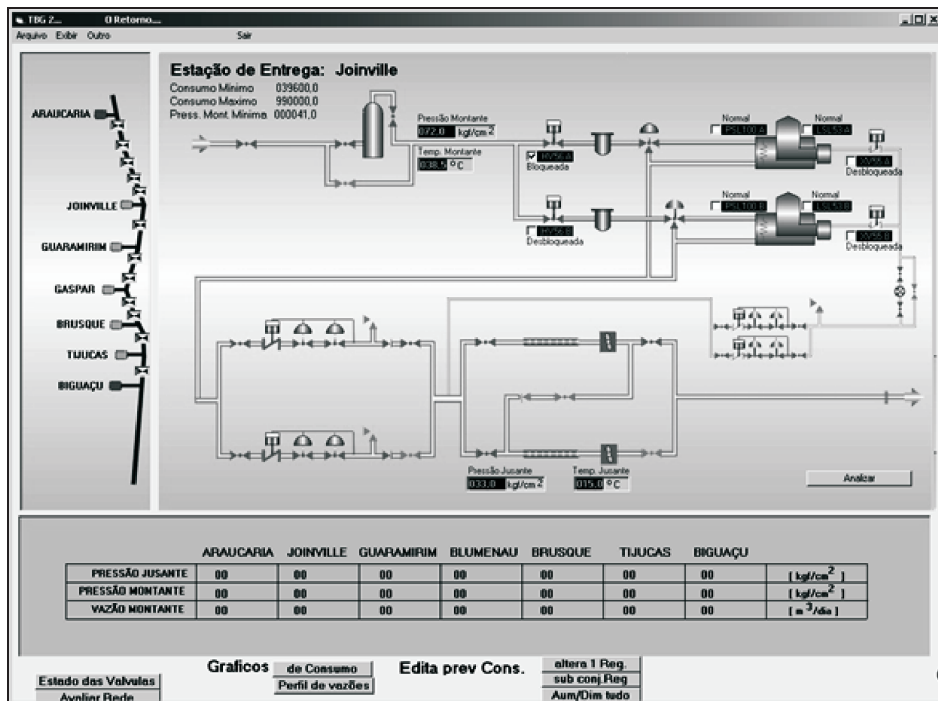


Figura 11.9 Sistema SEGRED: configuração do módulo de uma EE (Silva e Porciúncula, 2003).

A aquisição do conhecimento para o desenvolvimento do SEGRED foi proporcionada pela interação direta entre a equipe de desenvolvimento do sistema e o pessoal técnico das empresas parceiras, através de sucessivos questionários e entrevistas. Além dessa interação, foi utilizado conhecimento de documentos na área de manutenção e estrutura física da rede e de seus componentes. Para a implementação dessa base de conhecimento foi utilizado o sistema CLIPS (Giarratano e Riley, 1994), um ambiente completo para o desenvolvimento de sistemas especialistas desenvolvido pela NASA; o modelo da rede foi desenvolvido no *software* AMESim (apresentado na seqüência deste capítulo). A integração desses dois sistemas é feita através de um sistema inteligente que atua na estrutura de dados do sistema especialista e nos parâmetros e resultados da simulação. Para maiores informações sobre este projeto ver Silva e Porciúncula (2003).

11.4 Modelagem no projeto de produtos

O item anterior apresentou diversos exemplos de aplicações de modelos, sem entrar nos aspectos teóricos de sua criação. Neste item, serão abordados os principais aspectos necessários ao conhecimento de modelagem em suas diferentes aplicações.

Conforme descrito no Capítulo 2, o processo de projeto de produtos está dividido em quatro fases: informacional, conceitual, preliminar e detalhado. É comum definir que a tarefa de modelagem é o cerne da etapa de projeto preliminar, e como tal, tem grande impacto junto às primeiras fases em termos de custo do produto. Pesquisas demonstram que mais de 80% dos custos de um produto estão definidos após o término do projeto preliminar.

Na prática de projeto, bem como na literatura, encontra-se bastante difundido que a tarefa de modelagem de sistemas é muito ampla, posto que, em decorrência de sua amplitude e relevância no processo de desenvolvimento de produtos, desempenha um papel vital em todo o ciclo de vida destes.

No ciclo de projeto de um produto, a tarefa de modelagem e simulação está localizada entre a síntese e a avaliação das alternativas. Isso mostra que a modelagem tem uma importante função no projeto de produtos. Em todas as fases são geradas soluções alternativas para problemas parciais de projeto de um produto, das quais uma ou várias devem ser escolhidas e processadas (Roozenburg e Eekels, 1995). A modelagem do produto como um todo é primeiramente realizada ao concluir o projeto conceitual para avaliar a concepção escolhida e para elaborar o dimensionamento, a simulação e a otimização.

O entendimento sobre as propriedades esperadas de um novo produto é sempre baseado em alguma forma de modelagem, pois, por definição, tal imagem é criada *antes* da realização do produto. Apenas a simulação pode fornecer ao projetista uma impressão do funcionamento a ser esperado – em um sentido mais amplo da palavra – do novo produto. A simulação fornece a esperada informação de natureza factual que deve ser comparada à informação de natureza normativa na especificação do projeto quando do processo de avaliação e tomada de decisão (Roozenburg e Eekels, 1995).

A Figura 11.10 mostra um fluxograma do processo de simulação no qual estão indicadas as relações entre o original (podendo ser entendido como produto realizado), o projeto e os modelos de simulação. O processo inicia-se com as especificações de projeto e uma concepção é gerada representada por um esboço do projeto, o modelo inicial. Tendo como objetivo desenvolver o produto, inicialmente busca-se entender a qualidade do modelo. Para esse propósito a simulação é realizada tratando de um ou mais aspectos do produto.

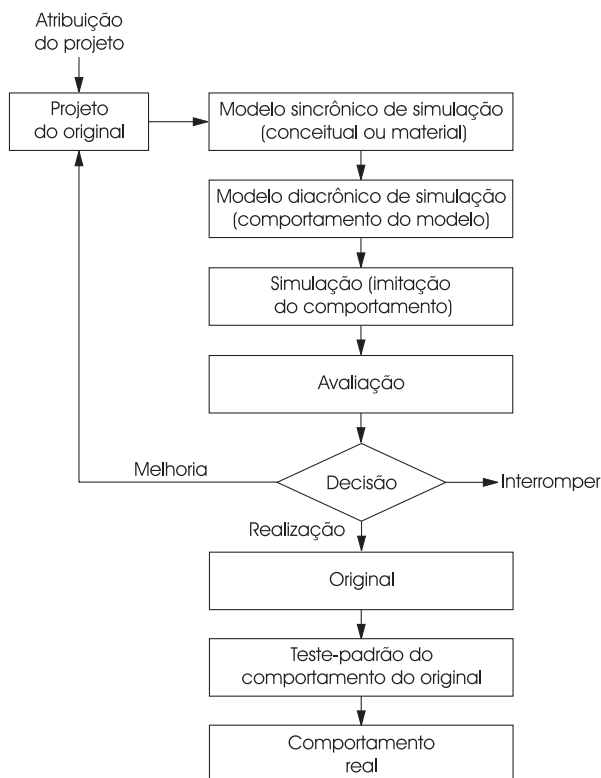


Figura 11.10 Estrutura do processo de simulação (adaptado de Roozenburg e Eekels, 1995).

O projeto indica de que partes o produto será composto e como essas partes serão consideradas umas em relação às outras. Esse aspecto é analisado com o uso de um modelo sincrônico (relativo aos fatos concomitantes), que pode ser um modelo conceitual ou material, um diagrama ou modelo em escala. O modelo sincrônico também atua como um veículo que servirá como base para o modelo diacrônico (relativo ao estudo ou à

compreensão de um conjunto de fatos em sua evolução no tempo). Por sua vez, esse modelo diacrônico é um modelo causal: se um parâmetro é modificado de certa forma, um outro parâmetro também será modificado de maneira sistemática e inerente ao modelo.

Pelo modelo diacrônico, o comportamento do produto final é previsto. Essa análise é feita com base nas especificações iniciais do projeto, o que gera três possibilidades: alterar o projeto visando sua melhoria; interromper o projeto caso o modelo se comporte de forma muito insatisfatória; ou construir o produto. Mesmo que os resultados sejam satisfatórios, o produto terá em si seu próprio comportamento diferente do exatamente encontrado no modelo. Dessa forma, o êxito da simulação será demonstrado através da comparação dos testes finais do produto com os resultados advindos da simulação anterior no modelo.

A fim de demonstrar uma aplicação simples de modelo diacrônico, apresenta-se na Figura 11.11 um exemplo extraído de Wijvekate *apud* Roozenburg e Eekels (1995). Uma embarcação encontra-se fundeada à distância de 50 m de um rochedo, o vento sopra na direção do mesmo e está cada vez mais forte. O capitão dá a ordem para liberar mais 50 m de amarra, o que em geral garante uma melhor ancoragem. A questão é: pode a embarcação chocar-se com o rochedo? Aparentemente não haverá problema algum, pois a projeção na horizontal do adicional de amarra liberado sempre é menor que 50 m. Todavia, a simulação pode demonstrar outro resultado.

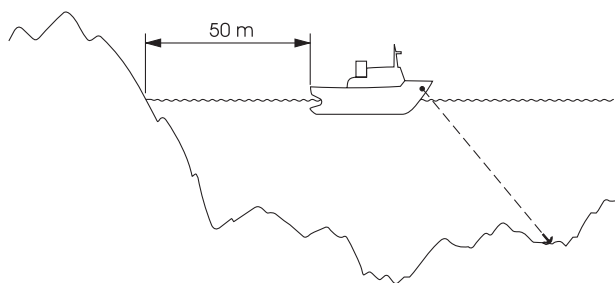


Figura 11.11 Diagrama esquemático da situação da embarcação (Wijvekate *apud* Roozenburg e Eekels, 1995).

A Figura 11.11 é uma representação esquemática da situação inicial da embarcação e corresponde a um modelo sincrônico que, além de não mostrar as características relevantes da embarcação, não exhibe as características ambientais que determinam o seu comportamento.

O deslocamento da embarcação pode ser equacionado pelo deslocamento do escovém (tubo ou manga de aço que liga o convés ao costado e por onde passa a amarra), tomado como ponto de referência. No modelo geométrico é possível apresentar a variação de posição do ponto de referência, como mostrado na Figura 11.12.

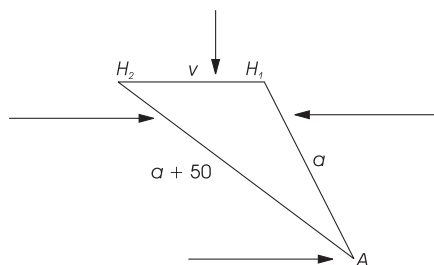


Figura 11.12 Modelo geométrico mostrando o deslocamento da embarcação (Wijvekate *apud* Roozenburg e Eekels, 1995).

Na Figura 11.12, considera-se que o barco se deslocou v metros pela liberação de 50 m de amarra. O ponto A representa o ponto de ancoragem e os pontos H_1 e H_2 representam a posição inicial e final do ponto do escovém, ou ponto de referência. A cota a representa a distância inicial do ponto de referência até a ancoragem. Sendo a distância final do ponto de referência à ancoragem representada pela cota $a + 50$, pode-se entender que o deslocamento da embarcação se comporta de acordo com as propriedades desse triângulo. Dessa forma, sabendo-se que a soma de dois lados de um triângulo é sempre maior que um terceiro lado, tem-se $(a + v) > (a + 50)$, logo $v > 50$. Portanto, o deslocamento da embarcação será maior que 50 m e a embarcação chocar-se-á contra o rochedo.

Esse exemplo mostra um modelo muito simples, no qual muitos fatores não foram considerados. Foi assumido que a amarra ou a corrente da âncora está sempre completamente esticada, o que certamente não é o caso no sistema original. Em cada modelo de simulação, independente de quão avançado este seja, existem suposições freqüentemente ocultas. Portanto, ao tentar obter conclusões com base no comportamento do modelo, esse aspecto deve ser considerado. Além disso, esse simples modelo não pode responder a todas as questões, o que se aplica também a outros modelos de simulação. Para calcular qual a extensão de amarra a ser liberada, um modelo com mais dados deve ser desenvolvido levando em consideração, por exemplo: a altura do escovém ao fundo de ancoragem; se é amarra

de corrente ou mista; o comprimento da amarra no fundeio inicial, sendo recomendado um mínimo de três até oito vezes a profundidade no local da âncora etc.

Com base no exposto anteriormente, fica claro que existem diferentes características e aplicações dos modelos, bem como as características de custo, realismo, velocidade de análise, nível de abstração e facilidade de mudança, que variam de acordo com o tipo de modelo adotado. A Figura 11.13 ilustra essa variação.

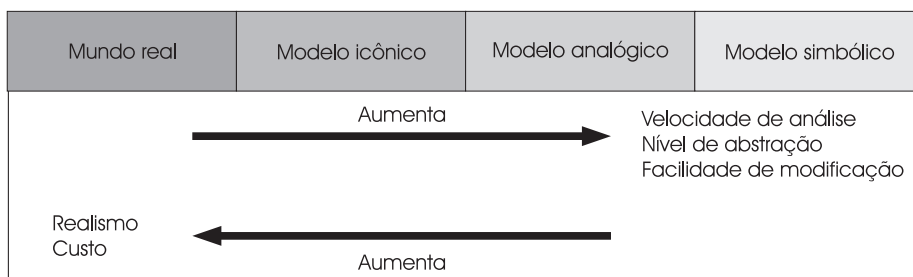


Figura 11.13 Variação das propriedades com os tipos de modelos (Hazelrigg, 2004).

Uma breve avaliação da Figura 11.13 indica que quanto mais próximo do mundo real, como a obtenção de um protótipo funcional, maiores serão o custo do modelo e a similaridade com o produto desejado. Por outro lado, considerando a utilização mais voltada a modelos analógicos e simbólicos (apresentado anteriormente como abstrato ou matemático), melhores serão as propriedades de abstração, velocidade de análise e de facilidade de modificação. Possivelmente, essa conclusão somada à grande evolução da computação digital, tem feito com que mais pesquisas sejam realizadas enfocando os modelos simbólicos em detrimento dos modelos icônicos (que representam ou reproduzem com fidelidade a aparência de um objeto).

A despeito dessa tendência, existem ainda, como mostrado anteriormente, diversas aplicações dos modelos icônicos, entre as quais convém destacar os modelos para treinamento em química, biologia e genética, o uso das maquetes para lançamento de edificações, os modelos tridimensionais de equipamentos para divulgação em feiras de exposição e de concepções de produtos.

Apesar da pouca pesquisa e desenvolvimento na área de modelos icônicos, em comparação aos modelos analógicos e matemáticos, possi-

velmente pelas propriedades de custo, velocidade de análise e facilidade de mudança discutidas anteriormente, os modelos icônicos têm em si seu papel, sobretudo em aplicações como marketing, desenho industrial, ergonomia e arquitetura.

Em um campo muito próximo ao treinamento, o campo do entretenimento infantil conta com exemplos clássicos da aplicação de modelos. Apenas a título de ilustração vale mencionar a história da LEGO®. Esta empresa, fundamentada na criação de produtos – modelos icônicos – para o público infantil, com uma dezena de colaboradores na década de 1930, atingiu valores impressionantes produzindo 200 tipos de produtos no fim da década de 1940 já com cerca de 50 colaboradores. A empresa atingiu superávit da ordem de 90 milhões de dólares no fim do século XX.

A utilização de modelos ainda na fase de projeto conceitual é também grandemente estudada. Sobre esta utilização, os estudos realizados por Ferreira (1997) e Sabino Netto (2003) apresentam diversas definições, linguagens, propósitos, abrangências, tendências, entre outros conceitos ligados ao tema da modelagem.

Na fase de projeto conceitual também é aplicada a técnica de prototipagem rápida como forma de obtenção de modelos físicos. Embora existam diferentes definições e classificações de processos de prototipagem rápida, a definição mais comumente reconhecida se refere aos processos para obtenção de modelos físicos onde a fabricação ocorre por adição de sucessivas camadas de material. O surgimento do processo de prototipagem rápida se deu em 1987 com o lançamento da estereolitografia, considerada como marco na produção de modelos físicos. A partir dessa data, a simplificação do produto para fabricação passou a não ser tão necessária, pois a geometria deixou de ser uma barreira. Na estereolitografia, os protótipos são construídos por meio de polimerização, por *laser*, de uma resina líquida fotossensível. A fabricação é dividida em duas etapas: construção e recobrimento. Na construção, as camadas são reproduzidas, individualmente, na superfície de uma cuba (onde a resina líquida é colocada). A reprodução das camadas ocorre pela incidência de *laser*, que promove a polimerização da resina, modificando seu estado de líquido para sólido. Depois da reprodução se dá o recobrimento, no qual a plataforma da cuba é submersa com um deslocamento variável da ordem de 0,025 a 0,150 mm, conforme a regulagem de máquina utilizada. Com a repetição sucessiva das etapas de construção e recobrimento, ocorre a obtenção da forma fi-

nal do protótipo físico. Além da estereolitografia, também são utilizadas a sinterização seletiva a *laser* e a modelagem por fusão e deposição. Para informações sobre a utilização dessas técnicas na obtenção de modelos físicos, ver Sabino Netto (2003).

Em decorrência da abrangência demonstrada nos aspectos apresentados anteriormente, e considerando as limitações existentes, o item que segue está, sobretudo, concentrado nos aspectos relativos à linguagem, classificação e simulação de modelos.

Uma das características mais marcantes da modelagem talvez seja a sua dependência de várias linguagens para comunicar os conceitos que estão sendo modelados. As linguagens empregadas podem ser definidas como:

- semântica: representação verbal ou textual de um objeto, incluindo textos explicativos sobre o funcionamento de um produto ou da sua estrutura física, lista de requisitos etc.;
- gráfica: aplicação de elementos da geometria para descrever o objeto. Inclui desenho de formas em duas ou três dimensões;
- analítica: uso de equações, regras ou procedimento para representar a forma ou a função de um objeto;
- física: representação por um modelo sólido do objeto.

Essas linguagens são empregadas de forma combinada, o que demanda uma série de habilidades do profissional que atua em modelagem e simulação. Rogers (1997) relaciona várias características, agrupadas em oito categorias, que este profissional deve buscar desenvolver:

- atributos do profissional;
- habilidades pessoais;
- habilidades básicas;
- modelagem;
- abordagem sistêmica;
- fatores humanos;
- conhecimento do domínio;
- métodos de simulação.

Na categoria de atributos profissionais, Rogers (1997) classifica itens como: solução criativa de problemas; experiência prática; liderança (fa-

cilitando esforços interdisciplinares); habilidade de reconhecer e adaptar novas tecnologias; habilidades interdisciplinares etc.

Estes elementos refletem dois aspectos distintos: o primeiro enfatiza a experiência e as realizações e o segundo, o aspecto da personalidade, incluindo neste a solução criativa de problemas, liderança e, em alguma medida, as habilidades interdisciplinares.

As habilidades interdisciplinares implicam dois níveis de consideração: um está relacionado à personalidade ou mesmo à capacidade intelectual associada à abertura de visão e tolerância à ambigüidade necessária, algumas vezes, para que o indivíduo consiga lidar ao mesmo tempo com paradigmas e visões de mundos concorrentes ao observar certo fenômeno; outro diz respeito à experiência e enfatiza a vivência direta em ambientes ou situações interdisciplinares – uma possível interpretação dessa habilidade indica que o profissional ideal para essa tarefa de modelagem e simulação deve possuir experiência em confrontar os desafios e ambigüidades no cumprimento de metas em um ambiente dinâmico.

De forma geral, o requisito de experiência relaciona-se ao amadurecimento do profissional combinando seu conhecimento canônico das diversas disciplinas (isto é, conhecimento não-advido diretamente de experiência) com o conhecimento obtido da experiência. Em outras palavras, espera-se que o profissional tenha experiência com situações em que a forma ideal ou os problemas generalizados de ciência e tecnologia sejam confrontados com as características únicas de um problema ou sistema específico.

Em termos de qualidades pessoais, Rogers (1997) sugere boa habilidade de comunicação verbal e escrita; interação com grupos; e o comprometimento com o aprendizado contínuo. Essas habilidades inter-pessoais são consideradas mais que capacidades de apresentar sua posição ou idéia, elas enfatizam o trabalho e a interação com outros em esforços de equipe.

11.5 A simulação dinâmica no contexto do projeto e introdução ao sistema AMESim

Os itens anteriores abordaram aspectos gerais da modelagem, tais como: conceitos básicos, vantagens e riscos da modelagem, os diferentes tipos de classificação, exemplos de aplicação e habilidades gerais dese-

çadas aos profissionais que trabalham com modelagem e simulação. O presente item tem o objetivo de apresentar alguns conceitos de uma das áreas de aplicação da modelagem no desenvolvimento de produtos: a simulação dinâmica dos sistemas técnicos.

A história da simulação na indústria é considerada exitosa e de complexidade sempre crescente. Tanto isso é verdade que o que hoje é uma tarefa de rotina seria inconcebível alguns anos atrás. Todavia, está claro que existem muitos casos de modelos grosseiramente imprecisos e ineficientes.

Esse problema reside na complexidade que é esperada no mundo da prototipagem virtual, aqui analisada em um enfoque mais amplo como a simulação computacional de modelos. A aquisição de habilidades de modelagem envolve uma longa curva de aprendizagem tendo como base áreas como engenharia, física, matemática, computação e controle. Em geral, as instituições educacionais não são capazes de fornecer essa amplitude de habilidades em seus cursos de graduação. O resultado é uma série de erros clássicos repetitivos, longos tempos de desenvolvimento e modelos de pouca qualidade (Lebrun e Richards, 1997).

Nos dias atuais, não é mais necessário apelar para a relevância da aplicação da simulação computacional nas indústrias de engenharia, pois tem ocorrido uma constante expansão de seu uso em empresas de grande porte, passando pelas de médio até as menores. Além disso, dentro de cada indústria houve a ampliação da aplicação de simulação dos departamentos de pesquisa às divisões de projeto de engenharia. Tal tendência não seria possível sem registros de sucesso do uso da simulação na tarefa de projeto, cujos fatores principais são:

- redução da necessidade de testes de protótipos físicos;
- testes mais completos do produto;
- melhor convencimento do potencial cliente em relação ao adequado funcionamento do produto;
- redução do tempo de desenvolvimento do produto (*time-to-market*);
- um melhor entendimento do produto.

Na indústria automobilística, por exemplo, esse processo está bastante avançado. Vem se tornando cada vez mais comum que empresas solicitem que seus fornecedores disponibilizem um modelo computacional do sistema físico antes que o correspondente subsistema seja entregue.

Todavia, apesar desse crescente sucesso, existem vários exemplos de modelos de baixa qualidade em sistemas de engenharia. Apresenta-se aqui uma breve lista de erros clássicos, ressaltando que ela está longe de ser completa, mas é representativa dos problemas que ocorrem (Lebrun e Richards, 1997):

- falha em observar os fundamentos físicos de um fenômeno, tais como conservação da massa;
- falha em verificar os parâmetros de entrada do modelo, para eliminar erros grosseiros, como o nível de atrito estático menor que o nível de atrito dinâmico, o que só é verdadeiro em casos especiais como o Delrin da DuPont (PTFE);
- falha em realizar testes adequados em módulos do modelo;
- nível de complexidade inadequado. Por exemplo, grande detalhamento de certas partes com alta dinâmica em grandes sistemas com comportamento bem mais lento. Em sistemas eletro-hidráulicos é comum desprezar a dinâmica do circuito elétrico, considerando como sendo de resposta instantânea por ela ser bem mais rápida do que a correspondente às outras partes do sistema;
- uso de uma formulação fora de seu domínio de validade (por exemplo, considerar regime de escoamento laminar quando é turbulento, ou regime elástico quando é plástico), geralmente acarretando problemas numéricos;
- violação de domínio no uso de funções matemáticas (por exemplo, raiz quadrada de número negativo);
- uso inadequado de unidades físicas⁶;
- chamada de funções ou sub-rotinas com argumentos incorretos;
- problemas na modelagem de fenômenos físicos usando descontinuidades.

Essa ampla gama de erros, que dificilmente ocorrem simultaneamente, resulta em altos custos e longo tempo consumido no desenvolvimento de modelos pouco representativos. O grande desafio é representar a interação dos fenômenos envolvidos na dinâmica dos sistemas de forma que as múltiplas

⁶ Em setembro de 1999, por exemplo, os cientistas da NASA que controlavam a sonda espacial *Mars Climate Orbiter* falharam em converter as unidades de dados cruciais do sistema de navegação, resultando na perda de 125 milhões de dólares com o impacto da sonda na superfície do planeta vermelho (Stewart, 2002).

tiplas entradas e saídas de dados (estados, dados de entrada e respostas dos sistemas) sejam recriadas no ambiente virtual sem que essa representação se torne extremamente complexa para quem a desenvolve.

Considerando-se as habilidades técnicas necessárias para se executar modelagem e simulação adequadas, podem ser destacadas:

- conhecimento de engenharia de sistemas;
- conhecimento dos fenômenos físicos envolvidos;
- conhecimento para implementar os modelos matemáticos;
- habilidade para interpretar os resultados;
- habilidade para codificar equações matemáticas de forma adequada à aplicação no modelo;
- conhecimento para compreender a interação entre o modelo e os algoritmos numéricos utilizados para desenvolver a simulação.

Como se mostra evidente, a lista destaca a amplitude de conhecimentos necessários para realizar adequadamente uma tarefa de modelagem e simulação. Dos itens listados, pode-se inferir que os quatro primeiros estão mais relacionados à capacidade do próprio responsável pela modelagem e são muito necessários, independentemente do sistema computacional a ser usado na simulação. No entanto, embora os dois últimos itens listados também sejam relevantes, estes são sensivelmente influenciados pelas características do ambiente computacional e pela técnica de modelagem a serem utilizados, o que é mostrado a seguir, com a introdução do sistema AMESim.

Empregando as abordagens de fluxo de sinal ou multiportas, a dificuldade para a aplicação de sistemas de simulação foi e ainda é a necessidade de desenvolvimento de complexas linhas de código matemático representativas dos fenômenos em curso (Lebrun e Richards, 1997).

O que no passado recente fora uma atividade restrita aos laboratórios de pesquisa e desenvolvimento de sistemas de grande complexidade e custo, agora está disponível na versão informatizada, conforme a técnica *Bond Graph*, para praticamente todos os grupos de projeto e engenharia preocupados com a redução de riscos no desenvolvimento e no tempo consumido com essa atividade.

Com o objetivo de disponibilizar o conhecimento de vários especialistas na área de modelagem e simulação dinâmica de sistemas advindo de uma ampla interação na solução de problemas reais com a indústria,

tornando acessível tal experiência a uma extensa gama de engenheiros e pesquisadores, foi criado o sistema AMESim (*Advanced Modeling Environment for Simulation*).

Esse ambiente de simulação é um dos mais difundidos e que aplica a abordagem multiportas na modelagem dinâmica de sistemas de vários domínios energéticos. O AMESim foi desenvolvido pela Imagine, empresa criada em 1986 pelo Prof. Michel Lebrun, da Universidade de Lyon, a partir do projeto bem-sucedido denominado EKOFISK, que compreendia a simulação do sistema de levantamento das plataformas de petróleo no mar do Norte.

O sistema **AMESim** é o *software* de sua classe capaz de completas soluções em modelagem e simulação unidimensional envolvendo hidráulica, pneumática, mecânica, eletromecânica, térmica e sistemas de controle. O sistema possui diversas bibliotecas abertas que possibilitam a customização, ampliando a extensa biblioteca disponível para a modelagem e simulação dinâmica. O sistema AMESim, com seus modelos reutilizáveis, reduz substancialmente o ciclo de desenvolvimento.

Na Figura 11.14 há um exemplo de um sistema hidráulico de prensa modelado no AMESim. Vale ressaltar que o objetivo aqui é descrever as funções do sistema, e que por isso o modelo apresentado é simples; modelos mais complexos estão disponíveis, inclusive com a validação resultante de intensa parceria com o setor industrial, sobretudo com as empresas do setor automobilístico. Apesar da aparente simplicidade do modelo apresentado na Figura 11.14, esse modelo tem nove variáveis de estado, o que fornece uma visão da ordem de grandeza sobre o sistema. Em outras palavras, o comportamento dinâmico do sistema é composto por nove equações diferenciais de primeira ordem.

Como se pode observar a interface do sistema é amigável, pois se verifica que a representação do sistema é exatamente o seu modelo funcional, normalmente conhecido pelos engenheiros da área. Os números no topo da figura se referem aos ícones correspondentes às quatro etapas de utilização do sistema AMESim (Imagine, 1999):

1. Construção do esquema do sistema (definido com modo *sketch*), utilizando-se de várias bibliotecas validadas, localizadas na barra à esquerda da área de trabalho.
2. Definição dos modelos matemáticos dos componentes: tipo de motor a ser usado, bomba etc.; especial atenção é dada às tubulações,

onde se podem definir diferentes modelos de tubos e módulo de elasticidade do fluido, o que sensivelmente afeta a dinâmica de pressão do sistema. O sistema também oferece modelos *default*.

3. Definição de parâmetros, em que se especificam diâmetro de cilindro, deslocamento e rotação de bomba, ciclo de operação nos sinais para as válvulas e condições iniciais da simulação.
4. Execução da simulação, na qual se definem tempo inicial e final da simulação, pode-se analisar um único cenário, ou gerar uma análise de sensibilidade, através de uma simulação em *batch*, ou ainda avaliar como o sistema irá operar variando a frequência de excitação de uma das válvulas.

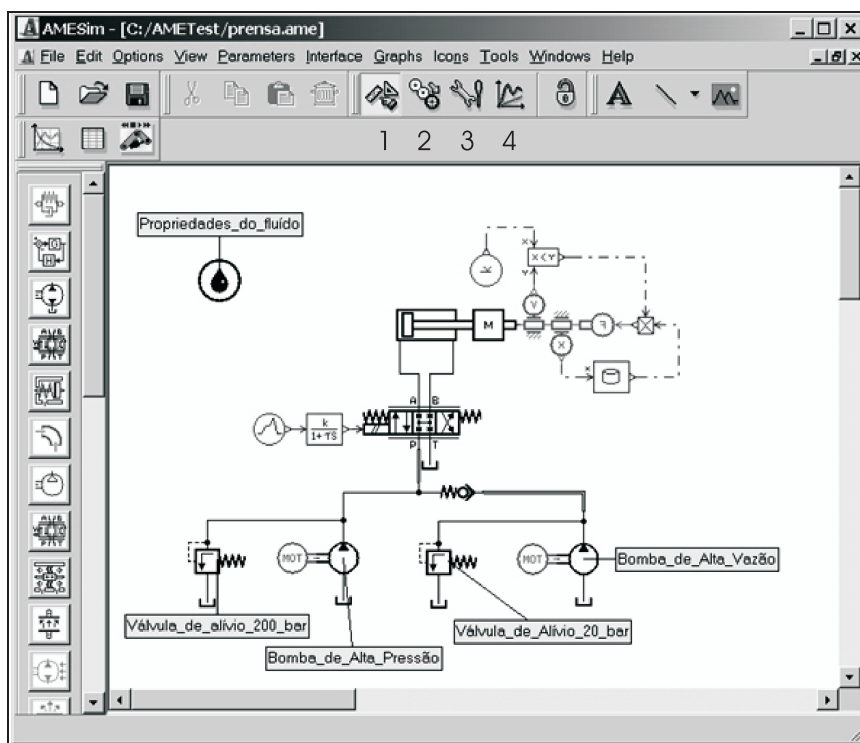


Figura 11.14 Exemplo de circuito de uma prensa, modelado no AMESim (Imagine, 2005).

Como exemplo de resultado da simulação do sistema da prensa, a Figura 11.15 mostra o comportamento da força de conformação de uma peça, que é função do deslocamento do cilindro e só ocorre no avanço do mesmo.

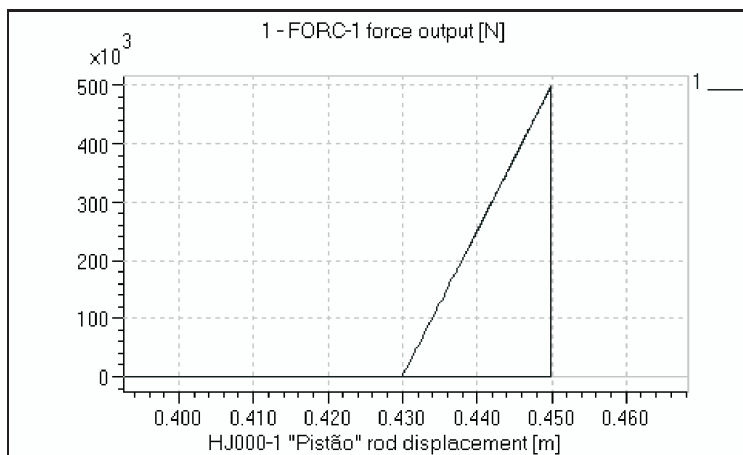


Figura 11.15 Exemplo de gráfico do AMESim.

O efeito da variação da força como função apenas do deslocamento e no sentido do avanço é obtido por dois processos simultâneos. Compara-se o valor da velocidade com uma referência; essa comparação resulta em um valor 0 ou 1 na saída do elemento comparador ($x < y$), para velocidade negativa ou positiva, respectivamente. O sinal de saída do elemento comparador é entrada para o bloco de multiplicação de sinais, que recebe um sinal advindo de uma tabela de pontos, a qual contém a relação entre a força e o deslocamento do cilindro (representando as forças de conformação). Sendo assim, o valor de força sobre o cilindro será advindo dessa tabela caso a velocidade seja positiva, ou nula caso a velocidade seja negativa.

Como é possível verificar, o sistema AMESim não requer uma extensa especialização para ser utilizado, de forma que os engenheiros podem manter o foco no entendimento e análise do comportamento do sistema como um todo. E, sendo este uma única ferramenta para diferentes aplicações (mecânica, elétrica, hidráulica, controle, eletromecânica etc.), ocorre uma considerável economia em capacitação do pessoal envolvido. Ainda em relação à Figura 11.14, a barra da esquerda demonstra um conjunto de bibliotecas disponíveis no AMESim. Elas compreendem diferentes domínios, por exemplo, mecânico, eletromecânico, hidráulico, pneumático, sinais e controle, mecanismos de transmissão (*powertrain*), construção de componentes hidráulicos e pneumáticos, entre outros (IMAGINE, 2005). Como um ambiente de simulação, o sistema AMESim contém os módulos mostrados na Tabela 11.7.

Tabela 11.7 Módulos do sistema AMESim com suas respectivas funções

Sistema	Funções
AMESim	Criar novos modelos, acessar e modificar diagramas previamente criados, alterar submodelos de componentes, alterar parâmetros, definir simulações <i>batch</i> para análise de sensibilidade, realizar simulações no tempo e no domínio frequência e plotar gráficos
AMECustom	Com esse módulo, é possível customizar um modelo previamente criado. Tal modelo customizado é baseado em um modelo genérico sobre o qual é criado um código permitindo acesso apenas a alguns parâmetros escondendo outros. Sendo assim, esse módulo permite a troca de modelos entre diferentes empresas, preservando informações consideradas confidenciais do modelo
AMERun	Esse é uma versão simplificada do AMESim, com apenas algumas funções listadas: acessar modelos já criados, alterar parâmetros, definir simulações <i>batch</i> para análise de sensibilidade, realizar as simulações no tempo e no domínio frequência e plotar gráficos. Esse módulo é útil, tendo em vista que em muitos ambientes industriais alguns engenheiros são responsáveis pela elaboração detalhada do modelo e outros realizam as análises nas diversas condições. Nesse cenário, estes últimos engenheiros não precisam redefinir os modelos, apenas seus parâmetros, podendo usar somente o AMERun
AMESet	Esse é um módulo para usuários mais avançados, pois permite a criação dos modelos e bibliotecas, partindo-se da codificação de equações em linguagem C

Outro aspecto que merece destaque é a possibilidade de sofisticar os modelos mantendo-se os mesmos diagramas, isso porque a cada ícone disposto nas bibliotecas fornecidas ou criadas pelo usuário pode estar relacionado mais de um submodelo, representando assim diferentes considerações de engenharia (Tabela 11.8).



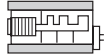


Como exposto, com a utilização de modelos mais sofisticados no mesmo sistema físico é possível focar a influência de cada consideração de engenharia na análise do sistema como um todo. Além disso, convém destacar as seguintes vantagens desse ambiente de simulação:

- integração de elementos de diferentes domínios energéticos;
- apoio na tarefa de ensino da simulação, adaptando a complexidade da modelagem de componente no mesmo sistema de acordo com o nível de conhecimento existente;
- ferramentas de análise linear (domínio frequência);

- avaliação do índice de atividade dos elementos com intuito de reduzir a ordem do sistema (Hayat, Lebrun e Domingues, 2003);
- acesso a técnicas de otimização e projetos por experimentos.

Como apresentado anteriormente, este item tem como objetivo apenas introduzir as principais características do sistema AMESim. Evidentemente, trata-se apenas de uma ferramenta e como tal não pretende substituir o trabalho de engenharia levado em consideração nas tarefas de definição da configuração do sistema, nos modelos escolhidos para os diferentes elementos – onde reside grande parte do entendimento de modelagem – e sobretudo na tarefa de análise dos resultados de simulação. Este item teve como objetivo apenas introduzir alguns aspectos da modelagem dinâmica de sistemas. Ao leitor interessado em se aprofundar no tema convém a busca em referências tais como (Karnopp e Rosenberg, 1975).

Tabela 11.8 Alguns ícones e seus possíveis submodelos (Silva, 2005)

Ícone	Submodelo
	<ul style="list-style-type: none"> • Bomba de deslocamento fixo ideal • Bomba de deslocamento fixo com rendimentos mecânico e volumétrico • Bomba de deslocamento fixo, com efeito de pulsação
	<ul style="list-style-type: none"> • Motor com velocidade constante • Motor com velocidade variando linearmente com o torque
	<ul style="list-style-type: none"> • Motor de combustão apenas convertendo o torque como função de um sinal • Motor de combustão definindo torque a partir de uma tabela de pontos $T = F(\omega, \theta)$ • Motor de combustão de torque com limitação de velocidade $T = f(\omega)$ • Motor de combustão com torque definido em função de velocidade e dos modos de vibração
	<ul style="list-style-type: none"> • Modelo de veículo incluindo os efeitos nas rodas • Modelo de veículo com coeficiente de resistência C_x
	<ul style="list-style-type: none"> • Propriedades eletromagnéticas definidas por coeficientes • Propriedades eletromagnéticas definidas por tabela de pontos

11.6 Análise de sensibilidade

Independentemente da forma pela qual o modelo foi concebido, seja pela modelagem analógica, usando os princípios da análise dimensional (item 11.3.2), seja por um modelo numérico, analisado com o auxílio de um sistema computacional, uma das tarefas mais comuns a seguir é a análise de sensibilidade. Existe um amplo material disponível sobre o tema e, assim como nos demais itens, este tem como objetivo apenas apresentar os principais conceitos dessa técnica. Os conceitos citados a seguir podem ser encontrados em Back (1983).

A referida análise é definida como um procedimento para determinar a sensibilidade das saídas de um sistema em relação a mudanças em seus parâmetros. Se uma pequena alteração de um parâmetro resulta em grande variação das saídas, o sistema é dito sensível em relação a esse parâmetro. Isso implica dizer que este dado parâmetro deve ser determinado de forma muito precisa ou que o sistema deve ser reprojetoado para se obter uma configuração menos sensível à variação, ou ainda redefinir os valores dos parâmetros do espaço de projeto visando melhorar o desempenho do sistema.

Dessa definição compreende-se a razão da relevância de tal análise. Tendo em vista que a grande maioria dos sistemas permite ajustes de seus parâmetros de acordo com faixas de valor, tal aspecto se torna ainda mais relevante à medida que os produtos incorporam cada vez mais características de ajustabilidade às condições de uso. Como exemplo desse tipo de análise podem ser citados:

- entendimento do comportamento de um veículo com suspensão ativa quando são alterados os parâmetros da suspensão;
- avaliação do rendimento de um motor submetido a diferentes condições de pressão e temperatura ambiente;
- análise da influência da porcentagem de ar no óleo de um sistema hidráulico na resposta dinâmica do sistema;
- análise do torque máximo de um motor elétrico como função da rotação e da tensão aplicada.

Na modelagem matemática existe a codificação de uma série de equações com entradas, parâmetros e variáveis objetivando caracterizar o sistema sendo investigado. As entradas estão sujeitas a várias fontes de

incerteza, incluindo erros de medição, ausência de informação ou entendimento inadequado das forças ou mecanismos envolvidos no sistema. Tais incertezas indicam um limite sobre a confiança nas respostas advindas do modelo. Além disso, os modelos devem suportar a variabilidade natural intrínseca ao sistema, tais como a ocorrência de fenômenos estocásticos. O entendimento adequado da modelagem requer que o responsável por esse processo forneça uma avaliação da confiança no modelo, levando em conta as incertezas associadas ao fenômeno e aos resultados do modelo. Algumas razões que justificam conduzir uma análise de sensibilidade são:

- avaliar a conformidade entre o modelo e o processo em estudo;
- determinar a qualidade da definição do modelo;
- conhecer os fatores que mais contribuem para a variação das saídas de um sistema;
- determinar as regiões do espaço de projeto em que ocorrem as maiores variações das características do sistema;
- determinar as regiões de condições ótimas para uso em calibrações subseqüentes;
- avaliar a interação entre os fatores.

Da lista anterior, depreende-se a relevância do conceito de espaço de projeto (Tabela 11.9), considerando um produto qualquer cuja função dependa de uma série de parâmetros ($Y_1, Y_2, Y_3 \dots Y_n$).

Tabela 11.9 Parâmetros do espaço de projeto

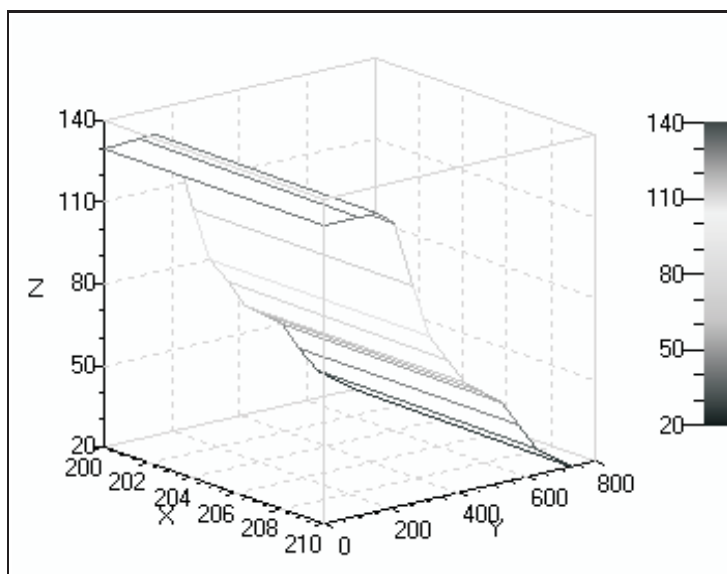
Parâmetro	Valor mínimo	Valor máximo	Valor do parâmetro na condição esperada de projeto
Y_1	$Y_{1mín}$	$Y_{1máx}$	Y_{1p}
Y_2	$Y_{2mín}$	$Y_{2máx}$	Y_{2p}
\vdots	\vdots	\vdots	\vdots
Y_n	$Y_{nmín}$	$Y_{nmáx}$	Y_{np}

Do exposto na Tabela 11.9, tem-se que o espaço de projeto é um espaço N -dimensional considerando suas fronteiras definidas com base nos limites dos parâmetros de projeto. Por exemplo, simplificando a análise de um motor elétrico, pode-se considerar o torque máximo obtido como uma função da tensão e da velocidade do motor. Assim tem-se o espaço de projeto (Tabela 11.10).

Tabela 11.10 Espaço de projeto típico de um motor elétrico

Parâmetro	Valor mínimo	Valor máximo
Tensão (V)	200	210
Rotação (rad/s)	0	730

Uma típica análise de sensibilidade, com base em ensaios experimentais e considerando tal configuração como espaço de projeto, resulta em gráficos como os representados na Figura 11.16, em que se tem a tensão em V , plotada na coordenada X , e a rotação em rad/s na coordenada Y , resultando em torque máximo (Nm) em Z .

**Figura 11.16** Avaliação do torque máximo de um motor elétrico em função da tensão e rotação.

Pela Figura 11.16, observa-se que para baixas rotações, até 200 rad/s, o torque máximo se manteria praticamente constante, sofrendo uma variação de 130 para 125 Nm, independentemente da tensão aplicada dentro da faixa de 200 e 210 V. Entretanto, o motor teria uma grande sensibilidade à variação da rotação entre 200 e 400 rad/s, fazendo com que o torque máximo fosse reduzido de 125 para cerca de 60 Nm. A Figura 11.16 também mostra a pouca sensibilidade do torque máximo à variação de tensão dentro da faixa analisada. Caso se considerem outras condições operacio-

nais, valores de tensão fora desta faixa, por exemplo, a análise deve ser expandida devido à alteração do espaço de projeto.

Na simplificação mostrada, considera-se que o desempenho do produto (torque máximo do motor) é função apenas de duas variáveis. Na prática, o espaço de projeto é bem mais complexo, ou existem mais variáveis e parâmetros cujas faixas devem ser avaliadas, e esse procedimento deve ser repetido tanto quanto necessário a fim de se obter a melhor representatividade possível do espaço de projeto. Logicamente, a amplitude da análise de sensibilidade depende muito da quantidade de recurso que se pretende disponibilizar para a fase de modelagem e simulação da solução de projeto.

11.7 Resumo

No presente capítulo foram apresentados os conceitos fundamentais relativos a modelagem e simulação de sistemas. Do exposto destaca-se:

1. *Modelo é uma versão simplificada de algo que é real.*
2. *O processo de modelagem tem como ponto de partida o **objeto real** que está sendo considerado. Na modelagem, o objeto real é substituído por um outro objeto abstrato ou modelo mais simples, geralmente com a mesma designação, em uma forma gráfica, textual ou simbólica. O conhecimento possuído sobre um mundo real, considerado como domínio de conhecimento, é estruturado no modelo, sendo todas as características do objeto real reduzidas aos fenômenos e aspectos considerados importantes.*
3. *Os modelos podem servir a diferentes funções: explicar fenômenos, realizar previsões, tomar decisões, comunicação, orientar em listas de verificação, entre outros.*
4. *Existem diferentes tipos de modelos, e sua classificação depende de sua aplicação. No presente capítulo, foi dada ênfase aos modelos analógicos, icônicos e computacionais.*
5. *Apesar das vantagens do emprego de modelos, sua utilização também implica riscos. Razão pela qual deve ser dada importância adequada à tarefa de validação, pois a conclusão da modelagem é baseada em técnica indutiva, e como tal deve ser considerada com propriedade.*
6. *Mesmo considerando a amplitude e diversidade dos modelos, o processo de modelagem tem características comuns e etapas que são seguidas de forma sistemática.*

7. O capítulo apresenta exemplos da aplicação de simuladores na indústria automobilística. A complexidade do simulador é diretamente dependente do teste que se deseja processar, ou seja, de quais cargas estão sob análise.
8. Apresentam-se os conceitos básicos ligados à análise dimensional e à obtenção de modelos analógicos, dentre esses destacam-se: identificar as grandezas fundamentais e as variáveis relevantes envolvidas no problema; definir a matriz dimensional; estabelecer pela análise dimensional os produtos adimensionais Π_i ; listar os valores e/ou as faixas de variação de todas as variáveis do protótipo ou do modelo; estabelecer os fatores de escala para todas as variáveis a partir das condições de $\lambda_{\Pi_i} = 1$, que significa que os produtos adimensionais do modelo e do protótipo, quando similares, são iguais ($\Pi_{im} = \Pi_{ip}$).
9. Apresentam-se exemplos de simuladores aplicados a escoamento, e simuladores integrados a sistemas especialistas.
10. Existem diferentes características e aplicações dos modelos. Sublinha-se que características como custo, realismo, velocidade de análise, nível de abstração e facilidade de mudança variam de acordo com o tipo de modelo adotado.
11. Entre as linguagens usadas na descrição dos modelos, foram apresentadas as seguintes: semântica, gráfica, analítica e física.
12. Também são discutidas as principais características desejáveis ao profissional que atua em modelagem, tendo como destaques: conhecimento de engenharia de sistemas; conhecimento dos fenômenos físicos envolvidos; conhecimento para implementar os modelos matemáticos; habilidade para interpretar os resultados; habilidade para codificar equações matemáticas de forma adequada à aplicação no modelo; e conhecimento para compreender a interação entre o modelo e os algoritmos numéricos utilizados para desenvolver a simulação.
13. Foi apresentado o ambiente de simulação dinâmica AMESim, mostrando sua aplicação, principais funções, módulos e bibliotecas.
14. O capítulo se conclui com a exposição dos conceitos relativos à análise de sensibilidade, sendo as principais justificativas para esse processo: avaliar a conformidade entre modelo e o processo em estudo; determinar a qualidade da definição do modelo; conhecer os fatores que mais contribuem para a variação das saídas de um sistema; determinar as regiões do espaço de projeto em que ocorrem as maiores variações das características do sistema; determinar as regiões de condições ótimas para uso em calibrações subsequentes; e avaliar a interação entre os fatores.

11.8 Problemas e temas de discussão

1. Defina modelo e descreva suas principais funções ou propósitos.
2. Quais são os tipos de modelos utilizados no processo de projeto? Descreva suas principais características quanto a suas formas de construção e apresentação.
3. O processo de projeto apresenta quatro fases: o projeto informacional, conceitual, preliminar e detalhado. Quais são os tipos de modelos mais recomendados para cada fase? Justifique suas afirmações.
4. O túnel de vento é adotado para diversos ensaios procurando medir a ação dos ventos sobre diferentes sistemas da engenharia. Efetue um levantamento e a descrição de ensaios realizados em pelo menos três sistemas típicos da engenharia.
5. A MTS Systems Corporation é uma empresa especializada na produção de uma ampla gama de equipamentos de ensaios. No item 11.3.1 deste capítulo tem-se um exemplo de equipamento para ensaios em veículos. Efetue um levantamento de outros equipamentos fornecidos pela empresa, descrevendo os respectivos tipos de ensaios. Para cada tipo de equipamento e ensaio, procure identificar equipamentos fornecidos por fabricantes concorrentes.
6. Quais são as características fundamentais que distinguem os modelos icônicos dos modelos analógicos?
7. Cite pelo menos cinco vantagens da utilização de modelos no processo de desenvolvimento de produtos e comente sobre as vantagens citadas.
8. Quais são as principais aplicações de modelos icônicos?
9. Por que os modelos icônicos são, nos dias atuais, tão importantes para estudos de atributos ergonômicos ou de uso e de segurança do produto? Quais seriam as características dos modelos usados para esses estudos?
10. Quais são as etapas do processo de desenvolvimento de modelos analógicos?
11. Defina o teorema de Π (π) com relação ao número de produtos adimensionais do modelo analógico de um sistema técnico.
12. Para modelar um problema de engenharia, quais são as recomendações que devem ser seguidas na identificação e seleção das variáveis e na montagem da matriz dimensional?

13. Tendo determinado os produtos adimensionais de um problema de engenharia e havendo necessidade de efetuar ensaios de medição de desempenho da solução proposta, quais são as principais recomendações que devem ser seguidas na construção de um modelo em escala reduzida? Enumere pelo menos cinco fatores que determinam a escala do modelo e justifique os fatores listados.
14. Se forem efetuados todos os ensaios de desempenho em um modelo em escala reduzida de similaridade completa, como esses resultados podem ser aplicados ao problema ou sistema real?
15. Quais são os riscos possíveis da aplicação dos resultados, obtidos nos ensaios em modelos, nas tomadas de decisão do projeto de um produto?
16. Quais são as etapas do processo de modelagem de um problema de engenharia? Descreva-as.
17. Faça uma análise da evolução ao longo dos tempos dos tipos de modelos, considerando principalmente os aspectos de conhecimentos envolvidos, recursos, velocidade e precisão na obtenção dos resultados.
18. Faça uma análise comparativa dos resultados obtidos por modelos ou protótipos físicos e por simulação computacional.
19. Para optar pelos processos de ensaio de desempenho da solução de um produto por protótipo físico ou por simulação computacional, desenvolva uma metodologia de seleção, estabelecendo critérios, discutindo os pesos de importância e a forma de valoração dos critérios.
20. No comércio, são encontrados diversos conjuntos de componentes para a montagem e construção de modelos de mecanismos, de máquinas, circuitos elétricos ou hidráulicos e de instalações industriais. Faça uma pesquisa na internet de pelo menos cinco conjuntos oferecidos por fabricantes internacionais (sugestões de palavras-chave para pesquisa: *mechanical breadboard components; hobby engineering; scale model building; model engineering*).
21. Quais são as principais características pessoais e de capacitação de um profissional em modelagem de produtos?
22. Descreva o processo de modelagem aplicando o sistema AMESim e destaque em qual das etapas ocorre a definição das considerações adotadas na representação do problema simulado.

23. Descreva o processo de análise de sensibilidade e da determinação do espaço de projeto.

11.9 Referências bibliográficas

- BACK, N. *Metodologia de projeto de produtos industriais*. Rio de Janeiro, Guanabara Dois, 1983.
- CARNEIRO, F. L. *Análise dimensional e a teoria da semelhança e dos modelos físicos*. 2.ed. Rio de Janeiro, UFRJ, 1996.
- FERREIRA, M. G. G. "Utilização de modelos para a representação de produtos no projeto conceitual". Florianópolis, 1997. 128p. Dissertação (mestrado). PPGEM – UFSC.
- GIARRATANO, J.; RILEY, G. *Expert systems – principles and programming*. 2.ed. PWS Publishing Company, 1994.
- GONZALEZ, A. J.; DANKEL, D. D. *The engineering of knowledge-based systems – theory and practice*. Prentice-Hall, 1993.
- HAYAT, O.; LEBRUN, M.; DOMINGUES, E. "Powertrain driveability evaluation: analysis and simplification of dynamic models". In: SAE (Anais), 2003. Detroit. *Anais ...* Detroit : SAE, 2003.
- HAZELRIGG, G. A. "Model validation in the presence of uncertainty and risk". Disponível em: URL: http://www.ndia.org/Content/ContentGroups/Divisions1/Systems_Engineering/PDFs18/Modeling_Committee_PDFs/Model_Validation_with_Uncertainty_Hazelrigg.pdf; acessado em 29/1/2007.
- IMAGINE, 1999. "Technical Bulletin no. 100 – AMESim: A brief technical overview". Disponível em: URL: <http://www.amesim.com>; acessado em 29/1/2007.
- IMAGINE, 2005. *AMESim® User Manual – version 4.2.1*. 2005.
- KARNOPP, D.; ROSEMBERG, R. *Systems dynamics: a unified approach*. John Wiley & Sons, 1975.
- LANGHAAR, H. L. *Dimensional analysis and theory of models*. John Wiley and Sons, 1951.
- LEBRUN, M.; RICHARDS, C. "How to create good models without writing a single line of code". In: *5th Scandinavian Intl. Conference on Fluid Power*. 1997. Linköping, Sweden.
- LORENZ, P. "Simulation and animation – 1.1. models and modeling". Disponível em: URL: <http://isgwww.cs.uni-magdeburg.de/~pelo/s1e/sa1/sa11.shtml>; acessado em 17/3/2004.

- MTS Systems Corporation. *Bringing the test track (and the future) into the laboratory*. 500006-88/Sim-Durcap-01 Printed in USA 2/1996.
- ROGERS, R. V. "What makes a modeling and simulation professional? The consensus view from one workshop". *Proceedings of the 1997 Winter Simulation Conference*. p.1375-1382. Disponível em: URL: <http://www.informs-cs.org/wsc97papers/prog97.html>; acessado em 29/1/2007.
- ROOZENBURG, N. F. M.; EEKELS, J. *Product design: fundamentals and methods*. John Wiley and Sons, 1995.
- SABINO NETO, A. C. "Proposta de sistemática para avaliação de soluções de projeto de componentes moldados por injeção auxiliada por protótipos físicos". Florianópolis, 2003. 153p. Dissertação (mestrado). PPGEM – UFSC.
- SCHICHL, H. "Models and the history of modeling". p.25-36. In: KALLRATH, J. (ed.). *Modeling Languages in Mathematical Optimization*. Kluwer, Boston, 2003. Disponível em: URL: <http://www.mat.univie.ac.at/~herman/papers/modtheoc.pdf>; acessado em 29/1/2007.
- SILVA, JR., A. C.; SILVA, J. C. "Integração entre sistemas especialistas e simulação para o monitoramento de redes de transporte de gás natural". In: *Anais do Congresso Nacional de Engenharia Mecânica*, 2002. João Pessoa, PB. Rio de Janeiro: ABCM, 2002.
- SILVA, J. C. "Expert system prototype for hydraulic system design focusing on concurrent engineering aspects". Florianópolis, 1998. 185p. Tese (doutorado). PPGEM – UFSC.
- SILVA, J. C.; PORCIÚNCULA, G. S. "Sistema especialista para gerenciamento de redes de transporte de gás natural". In: *Anais do Rio Pipeline Conference & Exposition*, 22 a 24 de outubro, 2003. Rio de Janeiro: IBP, 2003.
- SILVA, J. C. "Virtual Environment for dynamic modeling of multidomain systems". In: *Anais do 18th International Congress of Mechanical Engineering*, 2005, Ouro Preto, MG. Ouro Preto: Abcm, 2005.
- STEWART, J. "Mars Orbiter Disaster – A Failure of Data Management?" 2002. Disponível em: URL: <http://www.tdan.com/i022hy04.htm>; acessado em 29/1/2007.

Capítulo 12

Análise de parâmetros no processo de projeto

12.1 Introdução

Uma vez desenvolvida a concepção do produto e, como descrito no Capítulo 11, definidos os modelos necessários para dimensionamento, otimização, simulação ou avaliação do desempenho da solução, os passos seguintes consistem em aprofundar o conhecimento sobre os parâmetros de projeto. Isso reforça a decisão tomada na seleção da melhor solução e permite a avaliação e experimentação parcial de subsistemas ou da concepção global do produto. Assim, no presente capítulo, serão apresentados métodos teóricos de análise das variáveis envolvidas, de identificação dos limites de variação aceitáveis, dos efeitos sobre o desempenho e na determinação da melhor combinação das variáveis. Será apresentada também uma introdução sobre métodos de teste experimental em modelos.

Como apontado nos capítulos anteriores, um dos objetivos da engenharia é desenvolver metodologias e processos que facilitem o projeto de produtos para atender às necessidades de seu ciclo de vida. Essas exigências vêm, ao longo do tempo, requerendo produtos cada vez mais complexos. Tal complexidade tem exigido o desenvolvimento de processos que racionalizam soluções, visando contemplar aquilo que os consumidores requerem de um produto. A análise de parâmetros é um desses processos. Basicamente, é uma atividade que se insere na etapa de projeção, mais especificamente, como descrito no Capítulo 11, a partir da fase de projeto

conceitual, quando a solução conceitual foi gerada. Dependendo do tipo de produto, essa análise é mais facilmente aplicável nas fases de projeto preliminar e detalhado. O tema aqui abordado é também denominado de análise de parâmetros do espaço de projeto (Ostrofsky, 1977 e Back, 1983) e projeto robusto (Otto e Wood, 2001, Slack, Chambers e Johnston, 2002 e Taguchi, 1986). Essa abordagem está diretamente relacionada à análise do desempenho do produto para o uso, por meio da análise de seus principais parâmetros, considerando, evidentemente, como cita Back (1983), as faixas de variações das grandezas envolvidas, definidas para controlar os parâmetros e as variáveis que afetam o sistema.

O objetivo da análise de parâmetros é diminuir as variações no desempenho do produto que possam afetar negativamente os aspectos relacionados à manufatura, material e uso. A análise visa orientar para a tomada de decisão sobre cada parâmetro da solução desenvolvida e sua correlação com os respectivos atributos fundamentais para o desempenho das funções parciais e global do produto. Em outras palavras, é uma atividade que propõe selecionar o melhor conjunto de parâmetros que satisfaça as especificações, com o mínimo de desvio ou variabilidade, para a etapa de manufatura, para as características do material e para o uso, que é a parte mais importante do ciclo de vida para os usuários.

Uma pergunta se faz necessária ao final desta introdução. Qual a importância de fazer análise de parâmetros e quais as diretrizes que delimitam o controle da variabilidade das variáveis? A resposta será desenvolvida ao longo do capítulo, pela abordagem de aspectos considerados fundamentais para a análise de parâmetros, tais como: controle da variabilidade para a garantia de qualidade e para a garantia de parâmetros de precisão, além de aspectos econômicos decorrentes do controle de variabilidade e de aspectos referentes à segurança humana e ambiental. Vale ressaltar que a análise para a segurança humana e ambiental remete à necessidade de utilizar ferramentas próprias para a análise de risco. Essa é uma temática muito importante na atualidade, devido às inúmeras e novas tecnologias que vêm sendo incorporadas aos produtos, aumentando, de certa forma, a complexidade e as incertezas nas etapas de fabricação, uso e descarte.

De uma forma ou de outra, a preocupação com a diminuição da variabilidade e com os custos decorrentes dos fatores que extrapolam os requisitos e as necessidades dos consumidores têm a ver com qualidade.

A adequação à qualidade reduz custos de retrabalho, refugo e devoluções e, principalmente, reduz os custos para a sociedade, deixando os usuários satisfeitos (Slack, Chambers e Johnston, 2002).

12.2 Contextualização da análise de parâmetros no processo de projeto

A procura por qualidade é uma constante do desenvolvimento social. Especificamente no campo tecnológico e nos tempos atuais, isso se tornou quase uma obsessão, surgindo assim muitos métodos, processos e ferramentas. Um exemplo dessa tendência é apresentado por Fiod Neto (1997), (Figura 12.1), com os desdobramentos ao longo do tempo, sinalizados pelos pontos (a), (b), (c), (d) e (e) que indicam a evolução do controle da qualidade ao longo do tempo. De uma forma geral, pode-se dizer que, até meados do século XX, o controle de qualidade dos produtos era feito basicamente com uma inspeção ao final da linha de produção, separando-se os que atendiam à especificação e os que não atendiam. Os bons produtos eram encaminhados para a embalagem e os inadequados reintegrados à linha de produção ou descartados. Até essa época, o processo produtivo ainda era muito artesanal e o controle de qualidade dependia da capacitação humana na análise do produto ao final do processo produtivo. Já por volta de 1930, Ronald Aylmer Fisher desenvolveu o método da análise da variância (*Analysis of Variance* – ANOVA), usado para a interpretação de dados experimentais.

O objetivo era detectar diferenças na performance média de grupos de itens testados. O controle de qualidade era feito utilizando-se o controle estatístico do processo (b) e das ações, posteriormente, estendendo-o a toda a linha de produção. O objetivo era demandar procedimentos e atuações no sentido de corrigir distorções durante a manufatura, caracterizar os desvios e sistematizar as ações profiláticas para evitar a reincidência de erros. O desdobramento seguinte foi chamado de fase da melhoria da qualidade (c), quando foram deflagrados os conceitos e as ações para qualidade total. Nesse contexto, foram mantidas as ações de controle estatístico do processo com inspeção na linha e no produto final. A diferença, neste novo momento, está em estender o controle para toda a produção, agora englobando: condições de trabalho, meio ambiente (ruído, vibração,

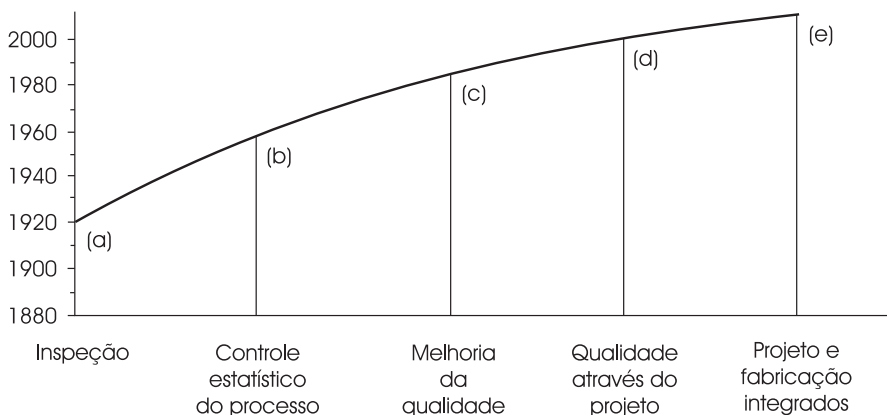


Figura 12.1 Evolução do controle de qualidade ao longo dos anos (Fiod Neto, 1997).

temperatura, poeira, higiene), segurança humana e ambiental, bem-estar dos funcionários e programas motivacionais para incentivar a participação no sucesso da empresa em produzir com qualidade. Uma evolução bastante significativa ocorreu com os métodos de Taguchi, cujo objetivo foi assegurar a qualidade ao produto (d) a partir do seu projeto. A principal tarefa envolvida era controlar as variáveis que poderiam tornar-se críticas no processo de produção, ou seja, aquelas mais propensas a gerar desvios de qualidade. Essas variáveis são normalmente denominadas de ruídos, pelo fato de causar perturbações no processo de produção.

A tendência atual é priorizar a integração do processo de projeto e da fabricação, ponto (e) da figura, para melhor controlar a qualidade do produto desde a sua concepção. A proposta de integração entre essas etapas não é recente. Ocorre que a configuração para a integração de um processo como esse exigia um aparato tecnológico adequado, difícil para os mecanismos de controle da época. Com a popularização dos sistemas eletrônicos (*hardware*) e de programas computacionais (*software*), tornou-se possível criar as bases adequadas para a integração do processo de projeto e do processo produtivo. Um exemplo dessa integração que ajuda no controle da qualidade, principalmente quanto à repetição da especificação do produto, são os sistemas CAE/CAD/CAM, que viabilizam a incorporação de metodologias e ações de engenharia simultânea como apresentado no Capítulo 2.

Com o desenvolvimento do conceito de engenharia simultânea, houve uma forte aproximação entre os vários agentes que se inter-relacionam

com o produto nas etapas iniciais do seu ciclo de vida. No entanto, é na etapa de projeção que são definidos os atributos requeridos para análise de parâmetros. Isso porque, como tratado nos capítulos anteriores, é na etapa de projeto que se imprime o “DNA” do produto. Em outras palavras, é onde se define toda e qualquer característica que deve permanecer ao longo da manufatura, do uso e do descarte. Essas características ou atributos são evidentemente expressos na forma de necessidades e requisitos dos usuários do produto. Isso corrobora a opinião dos autores que tratam desse tema, quando afirmam que há uma relação direta entre a robustez do produto para a produção e para o usuário, e que tudo deve ser definido na etapa de projeção.

De forma geral, pode-se afirmar que para se obter sucesso na análise de parâmetros três condições fundamentais precisam ser garantidas: 1) utilizar metodologia de projeto adequada ao produto em desenvolvimento; 2) dispor de métodos apropriados para análise de parâmetros; e 3) prover os atores do planejamento, projeção, fabricação, seleção de material e uso, entre outros, de capacitação apropriada para lidar com os aspectos teóricos e práticos da metodologia de projeto e da análise de parâmetros.

No que se refere à segunda condição, dois processos se destacam:

- delineamento de experimento pelo método de Taguchi;
- delineamento de experimento pelo uso de teorias de probabilidade (*Design of Experiments – DoE*).

Essas metodologias ou sistemáticas de análise de parâmetros devem ser utilizadas para agregar robustez ao produto ainda na etapa de projeto. No entanto, para melhor aproveitar as informações aí geradas, é importante contextualizar alguns passos intermediários para a obtenção do conhecimento no campo da análise de parâmetros, abordado no próximo item.

12.3 Definições e medidas para análise de parâmetro

O conhecimento tratado a seguir compreende definições e relações de sinal e ruído, de função perda, projeto de parâmetro e de tolerância, medidas de sensibilidade, de compatibilidade e de estabilidade.

12.3.1 Relação entre sinal e ruído

Como apontado por Sanches (2001), na definição dessa medida deve-se considerar tanto os pontos desejáveis para a característica de qualidade quanto os pontos indesejáveis que afetam o desempenho do produto ao longo do ciclo de vida, ou mesmo os que podem afetar o processo de fabricação. O ideal é balancear os aspectos positivos e negativos, mas trabalhando para que o desempenho seja garantido com o mínimo de variabilidade ao longo do uso do produto. Essa abordagem é normalmente feita considerando que o lado positivo deve ser pensado como sinal e o lado negativo como ruído. Tal interpretação tem origem na área de telecomunicações e, por isso, a medida de desempenho é conhecida como sinal/ruído. Os fatores de ruído (fatores de perturbação) têm origem externa, interna ou são decorrentes da atividade de produção que afeta a variabilidade das funções do produto (Fiod Neto, 1997). Então, utilizar uma sistemática para avaliar o desempenho de um produto ou processo é essencial para a busca pela qualidade, isso porque a variação do desempenho é considerada uma das principais causas do descontentamento dos consumidores. Diante disso, torna-se necessário desenvolver medidas de desempenho, cujas estimativas representem eficientemente o efeito dos fatores de ruído sobre a característica de qualidade.

Assim sendo, pode-se afirmar que uma relação adequada entre sinal e ruído combina os conhecimentos técnicos do produto ou processo, a função perda e a distribuição da exigência de qualidade, tais como: a aditividade que indica ser desejável o máximo de independência entre os fatores que interferem na relação, pois pode-se empregar um número menor de provas e modelos mais simples para explicar a resposta; e minimização da função perda, que tem por objetivo maximizar a relação sinal e ruído (Sanches, 2001). É muito importante maximizar o sinal, ou seja, os aspectos dos pontos positivos, mas é também fundamental minimizar a função perda, que mede a perda monetária de acordo com a variação no desempenho do produto. Esse é um requisito básico para a garantia de um projeto de produto robusto. Destaca-se que o ruído é sempre muito percebido pelo consumidor, mesmo que, em um ou outro caso, não chegue a afetar a função, permanecendo assim o desempenho funcional adequado. São exemplos de ruídos em produtos que ocorrem com mais frequência: utilização incorreta do produto, temperatura ambiente desfavorável,

excesso de poeira, vibração e as variações das propriedades dos meios condutores de energia, corrente elétrica, combustível, fluido etc.

12.3.2 Função perda

A função perda de qualidade (*Quality Loss Function* – QLF), ou, simplesmente, função perda, caracteriza a perda para a sociedade originada por produtos e processos fora dos requisitos dos consumidores. É uma função matemática que inclui todos os custos devido à falta de qualidade: desperdício, reparo, inspeção, manutenção etc. É expressa da seguinte forma:

$$L = d^2C \quad (12.1)$$

onde:

L = custo total de perda para a sociedade;

d = desvio da meta de desempenho;

C = constante.

Qual conceito está embutido na definição dessa função? A resposta remete a uma análise crítica do controle estatístico do processo como está apresentado em Slack, Chambers e Johnston (2002). Nesse controle, há um critério de aceitação cuja qualidade é definida ou aceita para todos os parâmetros que estão entre um limite superior de tolerância (LST) e um limite inferior de tolerância (LIT). Esse conceito é aceitável, mas precisa ser reinterpretado para garantir a melhoria contínua do processo até se aproximar da eliminação das perdas para a sociedade. Por exemplo, um engenheiro de manutenção que termina uma atividade com apenas 1 minuto de atraso tem um desempenho muito melhor do que o de outro que termina com 59 minutos de atraso, mesmo que os limites de controle sejam hora citada: ± 60 minutos. Além do mais, 59 minutos de atraso é praticamente tão ruim quanto 61 minutos de atraso. No entanto, nesse caso, o engenheiro não cumpriu a atividade dentro da meta previamente contratada. Assim, observa-se que é inconsistente achar que controlar os valores dentro dos limites é aceitável e, se estiver fora, não. Aceita-se quando se está dentro dos limites, e isto indicaria que o processo não está se deteriorando. Contudo, este fato não indica uma condição aceitável para se manter e que certamente não vai ajudar a melhorar o processo em tratamento.

Para exemplificar a aplicação do conceito de Taguchi para a “função perda de qualidade”, focada na definição de uma faixa mais estreita de aceitação da variabilidade, Slack, Chambers e Johnston (2002) apresentam o caso de decisão da Motorola sobre a meta de satisfação total do consumidor. Para atingir esse feito, a empresa migrou do conceito de qualidade 3 sigma para o de 6 sigma. Observa-se que a letra sigma (σ) é frequentemente usada para definir o desvio-padrão de uma população. No controle de qualidade de 3 sigma, a taxa de defeito, como apresentada pelo autor, é de 2,7 defeitos por 1.000 itens avaliados. Porém, no controle de qualidade de 6 sigma, a meta requer que a taxa de defeito migre para apenas 3,4 defeitos por milhão.

O termo 6 sigma representa uma filosofia de análise de qualidade. Como anteriormente citado, relaciona o desvio-padrão em relação à média de uma amostra ou população para caracterizar a dispersão da amostra ou população medida. Assim, pode ser usado para descrever a variabilidade de fatores conhecidos que influenciam um sistema (produto ou processo), as medidas de performance e suas qualidades. A variação de performance pode ser caracterizada a partir de um número de desvios-padrão em relação à média, como apontado na Figura 12.2. A área abaixo da curva dessa figura relaciona a probabilidade de a performance estar definida por uma variação específica. Por exemplo, considerando apenas $\pm\sigma$, indica-se ter uma probabilidade de 0,683. Os cálculos dessas probabilidades estão apresentados na Tabela 12.1, indicando a variação percentual e o número de partes de defeito por milhão máximo admitido. A qualidade pode ser medida usando qualquer das indicações apresentadas na Tabela 12.1, como o percentual de variação (equivalente à confiabilidade) ou o número de defeitos por milhão. Os valores de controle de qualidade dentro do espectro de $\pm 3\sigma$ (Figura 12.2) foram considerados aceitáveis. Hoje, porém, questiona-se esse padrão de qualidade. A tendência é trabalhar no nível de $\pm 6\sigma$, principalmente quando o parâmetro de controle for, por exemplo, número de defeitos de peças fabricadas numa dada linha de produção.

Em um controle estatístico tradicional sobre os atributos do produto, apresentam-se, de forma geral, dois estados para cada atributo ou para cada parâmetro que contextualiza o atributo: o certo e o errado. Estatisticamente, poderia ser calculada a proporção de atributos errados (p) de uma amostra utilizando-se uma distribuição binomial. Todavia, a satisfação total do consumidor não pode ser medida somente por atributos tangíveis.

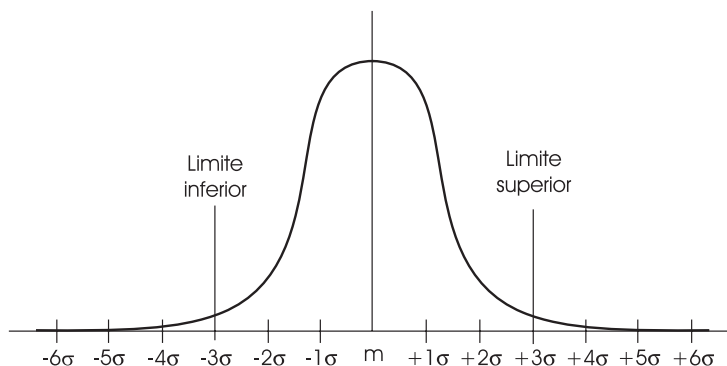


Figura 12.2 Distribuição normal, 3σ (Koch, Yang e Gu, 2004).

Tabela 12.1 Discriminação do desvio-padrão e controle de defeitos por milhão (Koch, Yang e Gu, 2004)

Nível do Sigma (σ)	Percentual de variação	Defeitos por milhão Curto prazo	Defeitos por milhão Longo prazo
$\pm 1\sigma$	68,26	317400	697700
$\pm 2\sigma$	95,46	45400	308733
$\pm 3\sigma$	99,73	2700	66803
$\pm 4\sigma$	99,9937	63	6200
$\pm 5\sigma$	99,999943	0,57	233
$\pm 6\sigma$	99,9999998	0,002	3,4

O conjunto de especificações e necessidades que precisa ser considerado no processo de projeto para garantir produtos robustos para fabricação, material e uso requer uma análise mais abrangente, que considere os projetos de experimento, de parâmetros e de tolerância e as relações sinal/ruído, entre outros. Algumas das perdas resultantes dos desvios de qualidade não são palpáveis para a sociedade. Às vezes estão relacionadas a conceitos e tendências de produtos ou processos que se mostram inadequados no instante seguinte, afetando as decisões de quem acreditou nesses conceitos ou baseou-se neles para estruturar um negócio.

12.3.3 Projeto de parâmetros

Projeto de parâmetros em conjunto com projeto do sistema e projeto de tolerância formam a espinha dorsal da metodologia do Professor

Genichi Taguchi (Santos, 2001). O projeto de parâmetros é um conceito cujo desenvolvimento auxiliou na fundamentação do conceito de projeto de experimento. Ele compreende determinação dos limites viáveis das variáveis, determinação das restrições, contornos da solução ou determinação dos limites do espaço de projeto; análise de sensibilidade do desempenho da solução em função da variação das variáveis, para identificar as mais importantes e regiões mais apropriadas do espaço de projeto; e análise da compatibilidade entre as variáveis. Para desenvolver um projeto de parâmetros, desdobra-se um conjunto de atividades de engenharia, seguindo a mesma sistemática utilizada para se projetar um produto ou um processo. A síntese desse processo deve proporcionar produtos:

- robustos às condições ambientais;
- robustos à variação dos componentes;
- minimizados de variabilidade em torno do valor nominal.

Assim, o projeto de parâmetros é utilizado para aperfeiçoar a qualidade do produto sem controlar nem eliminar as causas que geram a variação, como: variação dimensional, umidade, poeira, temperatura, entre outros. Esse método propõe que certos parâmetros, no projeto do produto ou do processo, sejam estabelecidos de tal forma que o desempenho se torne menos sensível às causas de variação. Por exemplo, garantir que uma determinada variação dimensional seja assegurada mesmo em processos de fabricação que utilizam máquinas limitadas do ponto de vista de estabilidade dimensional. Nesse caso, devem ser projetadas variações dimensionais adequadas ao processo de fabricação e à funcionalidade dos sistemas. Uma possibilidade real seria migrar de uma qualidade IT7 para uma IT8. Um processo como esse de alteração da qualidade dimensional certamente beneficia o processo de fabricação tanto do ponto de vista da produtividade quanto em relação ao controle dimensional. Contudo, essa solução pode apresentar problemas na funcionalidade já que, nesta nova condição, trabalha-se com campos de variação dimensional maior podendo produzir, no caso de uma ligação cubo e eixo, folgas maiores ou interferências mais fortes. Imagine agora que determinados produtos apresentem falhas prematuras quando operados por consumidores em ambientes com intensa umidade. Nesse caso, a causa da falha é a umidade. Poderia se tornar muito oneroso, se não impossível, eliminar essa causa, ou seja, eliminar a umidade no ambiente de trabalho do consumi-

dor. O exercício está então em projetar um produto que seja robusto a esta causa e não em eliminá-la.

As atividades desenvolvidas durante o projeto de parâmetro estão focadas no controle de qualidade fora de linha e são aplicadas para todas aquelas que ocorrem antes da fabricação, ou seja, na fase de projeção. O objetivo é projetar um produto ou processo suficientemente robusto de modo que ele seja menos sensível às perturbações do ambiente ou da utilização do produto, os chamados ruídos externos ou internos. Pode-se dizer que o produto ou processo é tanto mais robusto quanto menos é requerido o controle de qualidade na linha de produção ou no seu uso. É aí que se destaca o processo de projeto como etapa-chave para atribuir robustez ao produto. O esforço deve ser concentrado em métodos e sistemáticas que possibilitem reduzir o efeito dos ruídos sobre o produto final, seja pela seleção adequada de fatores e parâmetros para o produto, seja pelo conhecimento preciso do ambiente onde o produto vai ser utilizado.

12.3.4 Projeto de tolerâncias

O projeto de tolerâncias está relacionado à determinação da região de maior estabilidade e de menor influência das variáveis do meio ambiente, da região ou conjunto de variáveis de maior relação entre sinal e ruído, e do conjunto de variáveis que produz a menor função perda. A relação entre custo mínimo e qualidade máxima é de fundamental importância e imprime no projeto de tolerâncias um referencial importante. Em relação ao momento de sua aplicação, assume-se que deve vir após a definição dos parâmetros, ou seja, quando já se tem definido o ambiente de uso do produto, características dos consumidores e todos os parâmetros de ruído presentes no meio. A ação de projeto de tolerâncias está centrada em resolver o problema sem necessariamente utilizar materiais, componentes ou processos de alto custo para o produto.

No projeto de tolerâncias, a função perda é aplicada para justificar a utilização de componentes de qualidade e custos superiores, desde que isso represente perda menor para a sociedade. Isto ocorre principalmente quando os esforços aplicados no projeto de parâmetro não são suficientes para reduzir a variação. No limite, tentar reduzir a variância total a partir da ação sobre um componente pouco influente, não modificará de forma relevante a variância total a ponto de justificar o acréscimo do custo.

Por isso, deve-se demandar algum esforço para desenvolver métodos experimentais e analíticos para garantir que a função esteja dentro da região de maior estabilidade ou de maior robustez. As soluções de projeto devem fluir para a completa e correta especificação geométrica, variação dimensional e materiais compatíveis para o desempenho da função. Atenção especial deve ser dada ao processo de fabricação na sua relação com a forma, o material, a variação dimensional, com a qualidade e adequada especificação das interfaces entre as partes para garantir a montagem correta, fácil e com os ajustes requeridos para o uso.

12.3.5 Análises de sensibilidade, compatibilidade e estabilidade

Nas atividades de projeto, de maneira geral, e nos produtos, em particular, em suas várias etapas ao longo de seu ciclo de vida são estabelecidas especificações para que os sistemas, subsistemas e componentes desempenhem suas funções com repetitividade e precisão em relação a uma performance selecionada. A problemática está em atribuir ao produto níveis de performance que lhe garantam um comportamento adequado para a fabricação e uso no desempenho da função. A literatura de projeto de produto, de uma forma ou de outra, indica que o uso da análise de sensibilidade, compatibilidade e estabilidade ajuda na eliminação ou, pelo menos, na mitigação de características do produto que podem interferir no comportamento adequado tanto na fase de fabricação quanto nas de uso e descarte. Em outras palavras, as referidas análises contribuem para atribuir níveis de tolerância suficiente para garantir robustez no processo de fabricação e no uso do produto, considerando um custo adequado.

Neste contexto, surge a pergunta: como determinar níveis de tolerância que sejam fáceis para a fabricação e garantam o uso, segundo as exigências do usuário, com um custo apropriado do produto?

A partir do projeto conceitual e, mais facilmente, a partir do projeto preliminar e do projeto detalhado, recomenda-se fazer avaliações do produto quanto à sensibilidade, à compatibilidade e à estabilidade. A sistemática para essa análise está relacionada à pesquisa por parâmetros e às variáveis que afetam o desempenho do produto. Isto é, para se fazer a avaliação de sensibilidade, compatibilidade e estabilidade, os parâmetros

devem estar suficientemente definidos e modelados. Assim, além de ser mais adequado para a especificação de tolerância, por já se ter definidos os conceitos do produto e do processo, pode-se, dependendo do estágio de desenvolvimento, programar e executar ensaios e experimentos. Com isso, determinam-se as faixas de variações admissíveis para a performance adequada desse produto.

Na **análise de sensibilidade** propõe-se, como apontado no Capítulo 11, evidenciar o valor da função e, se possível, de cada uma das variáveis que participam da função, para que o projetista tenha a clara percepção das decisões a serem tomadas em relação a cada uma delas. Por exemplo, uma determinada característica mecânica de um material é importante para a confiabilidade do produto em relação a um determinado modo de falha e, além disso, para o bom funcionamento também é importante a precisão dimensional e a rugosidade, mas o material selecionado, devido às suas propriedades químicas, mostra-se de difícil adequação a qualidade e nível de rugosidade exigidos. Nesse caso, a precisão dimensional e a rugosidade são atributos de alta sensibilidade, que afetam a escolha do material e do processo de fabricação, com repercussão direta no uso. Fabricar esse produto na precisão dimensional e rugosidade exigida significa alto custo de produção devido à necessidade de regulagens, ajustes, troca frequente de ferramentas, quantidade de refugo etc. Peças fora da precisão e rugosidade especificadas significam funcionamento inadequado, perda de rendimento, mais manutenção, mais regulagem, enfim, mais custo. Isso poderia ser resolvido a partir de escolha de material mais adequado, alteração do projeto, mudança de processo de fabricação etc., que pudessem tornar a solução menos sensível à precisão dimensional e à rugosidade.

McAdams e Wood (1999) apresentam um exemplo que caracteriza a medida de sensibilidade. Uma bola de tênis é aceitável para os jogos oficiais da Associação de Tênis dos Estados Unidos (USTA) se saltar entre 53 e 58 cm, quando cai da altura de 100 cm sobre uma superfície de concreto. Numa linguagem mais apropriada à engenharia, poderia ser dito que o coeficiente de restituição de energia proporcionada pela queda da bola sobre o concreto deve ser de $55,5\% \pm 2,5\%$. Essa especificação faz parte de um conjunto de regras definido para tal atividade esportiva. Por certo, outras exigências são feitas em relação à rede, à raquete, às dimensões do campo etc. Isso é válido não só para o campo esportivo profissional, mas

também para todas as atividades humanas e técnicas da sociedade moderna.

A **análise de compatibilidade** visa identificar a capacidade dos vários sistemas, subsistemas, componentes e partes deles coexistirem harmonicamente ao longo do ciclo de vida. Assim, a análise de compatibilidade deve proporcionar um produto consistente, seja no conceito, na estética, fabricação, montagem, funcionalidade, uso, descarte, custo, entre outros atributos. Cada um desses atributos poderia ser discutido particularmente do ponto de vista da compatibilidade. Por exemplo, a análise de compatibilidade para a fabricação deve vislumbrar a correlação entre as exigências dimensionais (tolerâncias, acabamento, qualidade) e as características do material, do processo de fabricação disponível, da qualidade de mão-de-obra existente, das limitações de custo, das variáveis do meio ambiente etc. Do ponto de vista do custo, o produto deve ser no mínimo compatível com o mercado consumidor, com a expectativa dos clientes e assim por diante.

A análise de compatibilidade, segundo Back (1983), se inicia pelo exame dos parâmetros de projeto, verificando quais menos afetam o desempenho do sistema total, conforme mostrado pela análise de sensibilidade. Então, efetua-se o exame dos vários sistemas, subsistemas, componentes ou detalhes, e se houver problemas na sua associação, montagem ou uso, as mudanças ou ajustes necessários deverão ser efetuados em primeiro lugar nas áreas afetadas pelos parâmetros que menos sensibilizam o desempenho do sistema total. Quando o ajuste necessário não é possível com os parâmetros menos sensíveis, nessa situação, na medida do possível, é recomendável sistematizar os ajustes de forma que leve a uma melhoria do sistema total. Em outras palavras, aquele parâmetro que não contribui para o desempenho tem menos significância para o produto. Contudo, muitas vezes não é possível obter bons resultados quando se faz uma análise de compatibilidade individualizada de cada atributo ou parâmetro do produto ou processo, o que acaba por requerer, neste caso, uma análise mais global.

Ao analisar o todo, a complexidade aumenta substancialmente. Na maioria das vezes não é possível considerar separadamente as exigências de desempenho técnico, a facilidade operacional requerida pelos usuários, a necessidade de redução de custo, a interatividade ou dependência entre os parâmetros citados etc. Assim, do ponto de vista do produto, a tendên-

cia é exigir um espaço de projeto cada vez mais multidimensional, tornando a análise de compatibilidade, em tais casos, evidentemente mais complexa.

A área da eletrônica constitui um bom exemplo para realçar a importância da análise sob um contexto mais geral, principalmente em relação à compatibilidade eletromagnética. Como se vê, há um número cada vez maior de equipamentos eletrônicos operando em condições e regiões cada vez mais distantes, requerendo para isso, por exemplo, maiores bandas de frequência. O consumidor, normalmente leigo neste tema, ao adquirir um produto deseja que este opere corretamente, com custo de instalação e manutenção condizente e perfeitamente compatível com os outros sistemas eletrônicos ou de telecomunicações já disponíveis em sua casa ou seu trabalho. Além das variáveis técnicas diretamente relacionadas ao aparelho, há também as limitações impostas pelas agências reguladoras, as restrições de uso exclusivo para determinadas faixas de frequência, a confiabilidade, a acirrada concorrência e o forte processo de atualização tecnológica próprio desse campo. Pode-se dizer que a indústria – principalmente da área eletrônica e de telecomunicações – que não considerar a abordagem da compatibilidade no desenvolvimento de seus produtos durante o processo de projeto, tem certamente diante de si uma barreira significativa à exportação dos seus produtos, colocando à prova a sua própria sobrevivência. A compatibilidade nesse caso pode ser entendida ou traduzida por versatilidade ou adaptabilidade aos equipamentos já existentes ou aos que estão chegando.

A **análise da estabilidade**, no contexto do produto, deve ser entendida como a análise que proporciona capacidade para o produto funcionar como foi projetado. Espera-se ainda que o produto desempenhe sua função apesar de estar submetido a condições adversas às do projeto. Ou seja, mesmo que variabilidades em nível ambiental ou funcional apareçam, o produto deve se manter estável no desempenho de sua função.

Uma aplicação dessa análise é apresentada na Figura 12.3 para estudo de estabilidade de equilíbrio. A análise é feita sobre as três barras uniformes de comprimento $2x$ e peso P , normalmente utilizadas nos métodos de estudo de trabalhos virtuais, como apresentado por Beer e Johnston (1980). Se cada haste for, simplesmente, afastada da posição de equilíbrio de um ângulo (α), para cada condição tem-se um resultado em relação à estabilidade da haste. A haste (a) se moverá de volta à posição original, a haste

(b) continuará afastando-se da posição original e a haste (c) permanecerá em sua nova posição. No caso (a), o equilíbrio da haste é estável, em (b) é instável e em (c) diz-se que é indiferente.

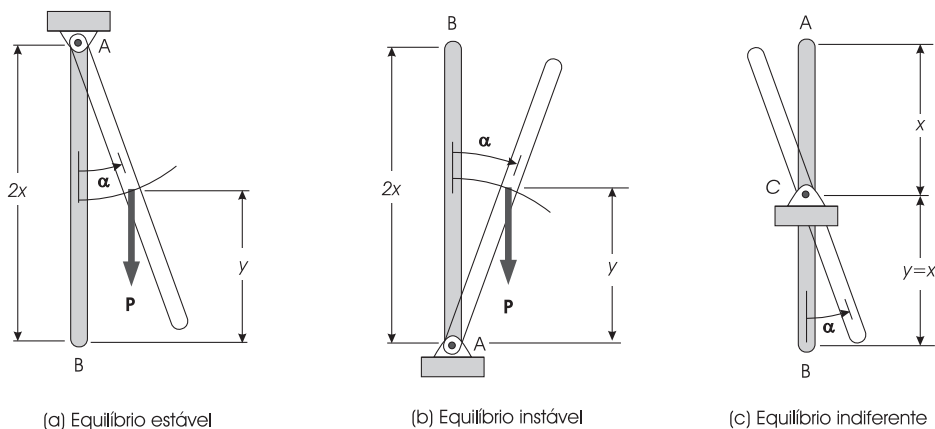


Figura 12.3 Representação da condição de estabilidade de barras (adaptado de Beer e Johnston, 1980).

Uma preocupação constante com a estabilidade está presente nas condições de operação de usinas hidrelétricas e na sua interação com o despacho de carga. É importante manter a operação do sistema dentro de um limite de estabilidade de tensão do sistema. A estabilidade é importante para garantir a qualidade assegurada da energia gerada; além disso, a suscetibilidade de instabilidades pode gerar dificuldades operacionais e até a necessidade da parada da unidade. Uma alta estabilidade proporciona uma alta disponibilidade, assim como alta robustez minimiza a possibilidade de paradas forçadas devido a contingências e pode aumentar o ciclo de vida das centrais (Hirano, 2003).

Exemplos que ressaltam a importância de estabilidade poderiam ser relatados em outras áreas, principalmente petrolífera, química, biológica etc.

A preocupação com a estabilidade, evidentemente, como mostram os exemplos, não está restrita ao contexto de projeção e uso. O controle do processo de projeto e da junção material-fabricação é importante para a estabilidade funcional em qualquer que seja a área analisada.

Um sistema técnico, como já evidenciado em capítulos anteriores, deve ser projetado para atuar de forma conveniente, segundo os requisitos do usuário, com estabilidade suficiente para não ser afetado por efeitos de-

pendentes do tempo e por outras condições como transporte, manuseio, ambientais, operacionais etc. A situação ideal é aquela em que o sistema atue sem mudanças de desempenho, cumprindo a função para a qual foi projetado ao longo de todo o ciclo de vida. Se a qualidade da função for afetada por modos de falha do tipo ruptura, deformação, fusão, queima, variação dimensional, trancamento, mudança de cor etc., é desejável que mesmo diante dessas condições seja garantida a estabilidade para segurança ambiental e humana. É preciso destacar que a estabilidade no contexto do espaço de projeto não pode ser considerada um valor único e constante ao longo do ciclo de vida. Ela é dependente, de certa forma, do desempenho do sistema definido por uma faixa que varia entre os valores máximos e mínimos dos parâmetros de projeto.

Back (1983) traz uma discussão sobre a análise da estabilidade diante da quantidade de variáveis envolvidas na análise. Segundo ele, na projeção comumente se tem poucas dificuldades em determinar o desempenho instável ou catastrófico do sistema, considerando-se cada parâmetro isoladamente. Contudo é bem mais difícil a avaliação quando se leva em conta a interação dos parâmetros. Nesses casos, como já comentado, requer-se desenvolver processos de análises sustentados por projeto de experimentos. Por exemplo, normalmente tem-se bem equacionada a influência isolada de temperatura, corrosão, pressão, carregamento estático e dinâmico sobre a estrutura de uma máquina. O difícil está em considerar os vários carregamentos de forma integrada, interagindo simultaneamente no contexto da fabricação e com a variabilidade sempre presente na etapa de uso. Dependendo da temperatura, quando for o caso, o material apresenta comportamento diferenciado em relação à flexibilidade, resistência ou nucleação de trincas. Além disso, é possível aparecerem modos de vibração com freqüências e amplitudes que podem ser resultantes da combinação da temperatura e dos carregamentos dinâmicos, os quais, associados à característica do material e à geometria da peça, provocam o colapso. A pergunta que surge então é: qual foi o parâmetro determinante nesse processo de falha? Aqui, experimentos podem ser delineados para tratar problemas desse tipo.

Aprofundando um pouco mais a discussão sobre a análise da estabilidade, pode-se pensar também sobre as conseqüências decorrentes da instabilidade para o componente, o sistema, o ambiente e para a segurança. Uma ferramenta como a análise dos modos de falha, efeito e critici-

dade (FMECA) pode ser usada para analisar e identificar modos de falhas críticos para a instabilidade do sistema quanto à segurança humana, ambiental e funcional. Esse contexto de análise, quando ocorre nas fases bem iniciais do processo de projeto, é sempre muito complexo porque requer a associação do conhecimento explícito, formalizado nos manuais de projetos e postulados teóricos e do conhecimento tácito ainda não formalizado e testado cientificamente. A partir da fase do projeto preliminar a operacionalização se torna mais fácil.

É na associação desses diferentes tipos de conhecimento que se encontram e se detectam alguns aspectos ocultos por um período do ciclo de vida que, às vezes, assim permanecem. Nesses campos obscuros se concentram muitas vezes os pontos frágeis do projeto, da fabricação e do material, geradores das variabilidades e instabilidades funcionais. Quando a solução para a garantia da estabilidade não for possível, deve-se pelo menos delinear os procedimentos para mitigar os processos de falha ou de não cumprimento da função. Também aqui, em face da intrigante necessidade de se tomar uma decisão diante de muitos parâmetros, pode-se recorrer ao uso do projeto de experimento para auxiliar a pôr em evidência os parâmetros mais significativos para a estabilidade do produto no seu ciclo de vida.

12.4 O método de Taguchi para o projeto robusto

O Professor Genichi Taguchi centrou seus estudos em projeto de experimento, principalmente na adequação da análise estatística e probabilística, para serem usados no “chão de fábrica” visando inicialmente à diminuição da variabilidade do produto com forte ênfase na manufatura. A sistemática adotada ficou conhecida por projeto robusto de parâmetro e consiste no estudo das interações entre os fatores de controle e de ruído. Os fatores de controle são procedimentos e técnicas usadas para a garantia da performance do produto e os fatores de ruído são parâmetros que podem gerar complicações para o desempenho da função do componente, subsistema ou sistema ao longo do ciclo de vida (Fiod Neto, 1997, Santos, 2001 e Taguchi, 1986).

O controle desses parâmetros é mais adequadamente resolvido durante o processo do projeto. Por isso a grande preocupação e o investimento

em estudar e desenvolver metodologias que integrem o planejamento, a projeção, a fabricação e o uso e descarte. Do ponto de vista da análise de parâmetros, na fase de projeção devem-se implementar processos que ajudem a eliminar os parâmetros que podem aumentar o custo sem agregar valor ao produto. Por exemplo, é importante ficar atento em reduzir as perdas de tempo devido às exigências dimensionais excessivas, à perda de material, perdas com refugo em consequência da variabilidade no processo produtivo, perdas para o consumidor em razão da não-conformidade funcional e de desperdícios no descarte.

Antes de contextualizar o trabalho do Professor Genichi Taguchi referente ao atributo da qualidade e projeto de parâmetros, duas percepções serão abordadas.

A primeira ressalta a preocupação com a qualidade que sempre esteve presente ao longo da história do desenvolvimento tecnológico. O problema, se é que se pode caracterizá-lo como tal, foi que ao longo do tempo a evolução tecnológica ocorreu de maneira mais lenta devido à dificuldade de integrar o conhecimento científico aos processos criativos na fase de projeção, principalmente em nível de chão de fábrica. Em razão disso, desde as primeiras fases do processo de desenvolvimento do produto, era difícil dar-lhe a robustez requerida para o desempenho da função. Essa integração evoluiu mais fortemente a partir do fim do século XX, no processo de desenvolvimento de produto, quando a racionalidade científica, fundamentada na estatística e na matemática, servindo-se de ferramentas computacionais, agregou-se melhor à metodologia de projeto de produto, auxiliando na sistematização de processos criativos e de acumulação de conhecimento.

A segunda percepção evidencia o desenvolvimento tecnológico e a maior facilidade da população em usufruir desse desenvolvimento, ocorrido principalmente após a Segunda Guerra Mundial. Esse fato impôs aos produtos a necessidade de diminuir custo e aumentar a facilidade de uso, apesar de os produtos se tornarem cada vez mais complexos devido às diferentes tecnologias a eles incorporadas. Em decorrência disso, as exigências de projeto para facilitar a fabricação e para a diminuição de variabilidade funcional se tornaram prementes.

Como já discutido anteriormente, o controle de qualidade ainda concentrava seus esforços no processo de produção, demandando equipamentos sofisticados, mão-de-obra capacitada e cada vez mais especializada

para garantir a qualidade requerida. De alguma forma, essa estratégia de controle de qualidade sobrecarregava o sistema de produção com controle rígido do processo produtivo, tendo por conseqüência menor produtividade, grande quantidade de refugo no final da linha, envio de produtos defeituosos ao consumidor devido às inevitáveis falhas no processo de inspeção e, por fim, inevitável perda econômica.

A experiência adquirida por Taguchi no controle de qualidade no “chão de fábrica”, como apontado por Fiod Neto (1996) destacou a necessidade do controle de parâmetros já na etapa de projeto do produto, bem como no projeto do processo, enfatizando que essas atividades devem ser desenvolvidas antes que se inicie a produção. Fiod Neto (1996) também comenta que Taguchi chamou a atenção para a idéia da função perda, ou seja, a perda imposta para a sociedade pela falta de qualidade do produto. Isso porque a falha do produto se reflete em perda para consertá-lo ou substituí-lo, perda pelo não cumprimento da função, perda de material, perda pela falta de confiança no produto ou no processo e também em risco para a segurança humana e ambiental, entre outras. Muitas perdas têm seus custos inerentes repassados ao preço do produto; logo o prejuízo será do consumidor, ou seja, da sociedade que consome tal produto.

Assim, o planejamento do experimento denominado método de Taguchi utiliza técnicas que levam em consideração o custo e são aplicáveis aos problemas existentes na indústria. Como cita Sanches (2001), esse método consiste em encontrar uma combinação otimizada de fatores que garanta um desempenho estável e confiável ao mínimo custo de produção. O sucesso do método está na utilização de ferramentas simplificadas de análise estatística e visa aperfeiçoar a qualidade sem controlar ou eliminar a causa da não-conformidade. Em algumas circunstâncias, a eliminação da causa pode se tornar muito dispendiosa.

De qualquer forma, a eliminação das causas e dos modos de falha não deixa de estar no foco do problema. A simplificação está em medir a qualidade a partir da característica funcional do produto. A função pode ser afetada por um processo de deterioração chamado ruído, constituído por variação de temperatura, umidade, poeira, entre outros. Percebe-se, então, que muitos dos agentes ambientais ou alguns fatores funcionais, embora afetem a qualidade funcional do produto, são inerentes a ele ou ao processo. Assim sendo, a remoção desses ruídos nem sempre é possível ou economicamente viável. Para classificar a importância do ruído na va-

riabilidade das características do produto, é recomendado utilizar o delineamento de experimentos com matrizes de dados representando efeitos externos e internos; fazer um tratamento adequado das interações entre os fatores como, no caso, os ruídos; usar análise de variância para calcular a contribuição percentual de cada fator na variação total observada; e promover uma experimentação de confirmação para verificar se os resultados obtidos são satisfatórios (Fiod Neto, 1996).

A utilização adequada das ferramentas que compõem o processo de delineamento do experimento não garante, por si só, o produto robusto, se for usada apenas no controle do processo de fabricação. Por exemplo, é possível produzir um produto com qualidade, mas, ainda assim, não satisfazer o usuário. Isso porque o usuário está utilizando o produto para outras funções para as quais ele não foi projetado. E, como é de esperar, o controle de processo centrado na fabricação não desenvolve essa percepção, tampouco se resolve esse problema a partir da seleção da matéria-prima ou, mesmo, da capacitação do usuário. É preciso investir em fases que antecedem o próprio projeto do produto, como o planejamento do produto, quando é possível detectar outras possibilidades de uso. A visão de projeto deve ser sistêmica e, assim sendo, ajuda substancialmente o projetista a manter uma visão ampliada para o projeto de parâmetros e para o projeto de tolerância.

Em síntese, trabalhar com o método de Taguchi é demandar esforços no sentido de priorizar a atividade de projeto de produto e de processo mais do que centrar esforços somente no controle de processo. Como vem sendo abordada ao longo deste livro, a probabilidade de obter um produto robusto aumenta se a análise de parâmetros se inicia no planejamento e na projeção do produto. Nesse sentido, a análise de parâmetros focada no delineamento de experimento tende a contribuir mais fortemente para essa necessidade.

12.5 Metodologia para projeto de experimento

O delineamento de experimento ou projeto de experimento (*Design of Experiments* – DoE) é uma sistemática que permite analisar, a partir de ferramentas estatísticas, as variáveis envolvidas em um determinado processo. O DoE é usado para análise de produtos e processos com o objetivo de minimizar desvios das características de qualidade, identificar as va-

riáveis mais determinantes, classificar uma faixa de resultado esperado, entender como e quais são as variáveis que podem afetar uma determinada propriedade, selecionar variáveis mais significativas a partir de um foco da análise, como custo, e identificar a combinação ideal entre as variáveis presentes. Uma pesquisa efetuada por Kevin (2003) em empresas da comunidade econômica européia constatou que mais ou menos 70% delas usam o delineamento de experimento (DoE). Isso representa uma informação importante, mas o principal motivo de usar o DoE está no fato de o mesmo proporcionar a obtenção de um produto mais robusto.

A estratégia para planejar um experimento não é única. Pode simplesmente estar fundamentada num ótimo palpite, baseada na experiência, na opção por variar um fator de cada vez, entre vários fatores existentes em um sistema, ou no planejamento do experimento que visa obter um melhor tratamento das interações entre os fatores a serem considerados (Montgomery, 1997 e Santos, 2001).

A primeira é claramente uma estimativa baseada na experiência do experimentador. A mesma não constitui um enfoque de caráter científico. A segunda é bastante utilizada e um pouco mais racional. Por exemplo, dado um experimento com três fatores (A, B e C), cada um com dois níveis (A1, A2, B1, B2, C1, C2), deve-se variar um dos fatores, por exemplo, C, e fixar os outros A e B. Na análise seguinte varia-se A e fixam-se B e C, e assim por diante. Ao final de cada um dos experimentos, identifica-se qual o nível ótimo do fator que se variou. Neste exemplo poderia ser A2, B2, C2. O limite desse planejamento está no fato de se variar apenas um fator de cada vez, mantendo os outros fixos. Com isso, perde-se a capacidade de avaliar corretamente o efeito das interações entre eles no experimento.

A terceira estratégia, a de projeto de experimento, fundamenta-se em dados estatísticos para sistematizar e organizar a informação visando avaliar as interações entre os fatores, para conhecer e destacar aqueles mais significativos ou de interesse do experimentador. O projeto de experimento, a partir dos objetivos fixados pelo experimentador, pode ser selecionado segundo as seguintes classes:

- comparação entre tratamentos, cujo objetivo é comparar diversos tratamentos e selecionar o melhor;
- seleção de variáveis, que procura identificar qual é ou quais são as variáveis mais relevantes sobre um determinado sistema. Segundo Montgomery (1997), os experimentos fatoriais do tipo N^k e N^{k-p}

- são os mais indicados para selecionar variáveis, sendo N igual ao número de níveis dos fatores e k o número de fatores;
- exploração da superfície de resposta, usada para o caso em que as variáveis principais foram identificadas. Por exemplo, permite estudar simultaneamente que efeito um tipo de material e a temperatura possuem sobre a vida de uma bateria, ou se existe um material que não sofra efeito da temperatura ao longo da vida de uma bateria;
 - experimento para otimização do sistema, recomendado para avaliar experimentos cujos resultados já foram obtidos. O objetivo é mapear toda a superfície de resposta de um sistema, até mesmo para aqueles casos que tenham tido sucesso nos resultados, tendo por estratégia deslocar as variáveis do sistema (fatores) para a região onde estão contidos os resultados ótimos;
 - experimento para implementar robustez ao sistema tem por meta tornar o sistema robusto à variação de ruídos, como, por exemplo, temperatura, umidade, poeira etc. No caso do projeto de uma mola, deseja-se conhecer e especificar parâmetros para que se mantenha a altura livre da mola dentro dos limites requeridos, independentemente de variabilidades operacionais do processo de fabricação.

A Tabela 12.2 apresenta exemplos para a classificação de experimentos em função do objetivo do experimento por parte do experimentador.

Em face da especificidade da linguagem utilizada na área de projeto de experimento, são relacionadas na Tabela 12.3 algumas definições para os termos mais usuais da literatura que aborda essa temática.

Tabela 12.2 Classificação de experimentos de acordo com seu objetivo

Ordem	Objetivo	Tipo de experimento
1	Determinar as variáveis de projeto significativas	Seleção de variáveis
2	Dado um fator, determinar a melhor opção de projeto para o mesmo	Comparação de tratamentos
3	Refinar o modelo empírico. Determinar o ótimo dentro da região experimental	Exploração da superfície de resposta
4	Determinar o ótimo dentro da região operacional	Otimização do sistema
5	Minimizar a sensibilidade do sistema aos fatores não controláveis	Implementar robustez ao sistema

Os estatísticos já desenvolveram uma metodologia própria para trabalhar o delineamento de experimento. Os modelos variam de acordo com: número de fatores; se os efeitos dos fatores são fixos ou aleatórios; número de níveis para cada fator; se há necessidade de utilizar blocos ou não; o objetivo do experimento; o tipo de matriz experimental a ser utilizada; o custo e o orçamento para a pesquisa; o tempo disponível para obter resultados relevantes; e o grau de aproximação aceitável na resposta do experimento.

Ao projeto de experimento, também denominado delineamento de experimento, poderá ser dado o mesmo tratamento metodológico do processo de projeto de produto, como apresentado no Capítulo 2. Por esse motivo, propõe-se que a metodologia para o delineamento do experimento siga uma sistemática similar àquela adotada no processo de projeto do produto. Essa proposição, apresentada por Santos (2001), facilita o acompanhamento dos passos necessários para se conhecer o problema, identificar as variáveis mais significativas na seleção dos materiais, escolher o processo de fabricação e considerar melhor os requisitos do usuário para a fase de uso.

Tabela 12.3 Definições básicas da área de projeto de experimentos (Santos, 2001)

Termo	Definição
Arranjo	É o conjunto de todas as combinações de níveis de todos os fatores avaliados em um experimento. Os arranjos podem ser do tipo fatorial completo (em que todas as combinações são avaliadas) ou fatorial fracionado (em que algumas das combinações são eliminadas, de acordo com tabelas estatísticas, variando com o experimento a ser projetado)
Blocos	Um bloco pode ser definido como um conjunto homogêneo de unidades experimentais. Por exemplo, se é conhecido que a performance entre os turnos de uma dada linha de produção é distinta, então as unidades experimentais ensaiadas num dado turno formam um bloco. Existe uma técnica chamada de blocos experimentais que possui o objetivo de aumentar a precisão de um experimento
Classe	São categorias, ordens ou classificações do projeto de experimento (Tabela 12.2). Exemplo: se a classe de experimento escolhida é do tipo <i>exploração da superfície de resposta</i> ou <i>otimização do sistema</i>

continua

Tabela 12.3 Definições básicas da área de projeto de experimentos (Santos, 2001) (*continuação*)

Termo	Definição
Combinação de tratamentos	É a combinação única de níveis dos vários fatores em um arranjo. Por exemplo, se um experimento possuir dois fatores (F) (A e B), com dois níveis (N) (1 e 2), as combinações de tratamentos possíveis são (N^F): A1B1; A1B2; A2B1; A2B2. Um tratamento é uma combinação de níveis dos fatores. A organização desses tratamentos é apresentada na forma de uma matriz experimental (Wu e Hamada, 2000, p. 5)
Efeitos	São as variáveis dependentes em um experimento, algumas vezes denominadas de variáveis de saída, e são os resultados de um experimento. É possível avaliar o mesmo conjunto de amostras para vários efeitos, por exemplo, peso, tensão, velocidade etc.
Efeitos principais	São os que apresentam maior relevância para a análise de um determinado experimento, ou seja, a saída ou evidência mais significativa que se deseja medir ou controlar no experimento
Fatores	São as variáveis de um experimento. Algumas vezes são denominadas variáveis de entrada e intencionalmente modificadas de acordo com um planejamento predeterminado. Entretanto, existem regras que direcionam a alocação de fatores para um arranjo. Pode haver tantos fatores em um experimento quanto o experimentador desejar testar, dependendo do custo envolvido e da disponibilidade de verba liberada para realizar o estudo experimental. Exemplo de fatores: temperatura, velocidade, tempo, pressão etc.
Fatores controláveis	São os fatores que o experimentador pode ou deseja controlar em um experimento. Em teoria, quase todos os fatores podem ser controlados, desde que o experimentador esteja disposto a "pagar" o custo. Na realidade, muitos deles são não-controláveis e os controláveis são sistematicamente variados, portanto, avaliados no experimento
Fatores não-controláveis	São os fatores que o experimentador optou por não controlar ou que não conseguiu controlar no experimento. Eles podem ser, na opinião do investigador, pouco relevantes para a pesquisa porque são muito caros para controlar ou porque são desconhecidos
Interação	É a influência da variação de um fator sobre os resultados obtidos pela variação de um outro fator

continua

Tabela 12.3 Definições básicas da área de projeto de experimentos (Santos, 2001) (*continuação*)

Termo	Definição
Níveis	São os valores fixados para os fatores em um determinado experimento e podem assumir valores quantitativos (50, 70, 90°C; 50, 75, 100 kg etc.) ou qualitativos (Marcas A, B ou C; Fornecedores X, Y, Z, Turno 1, 3, 5 etc.)
Nível de significância	Possui importância para a construção dos intervalos de confiança e também para realizar os testes de hipóteses. Quanto menor for este nível, maiores as chances de que o parâmetro a ser estimado esteja contido no intervalo de confiança construído
Poder do teste	É a probabilidade de que a amostra a ser ensaiada possa rejeitar a hipótese nula, caso esta seja falsa. Por exemplo: supõe-se que, para um experimento, o poder do teste desejado seja de 95% (logo $\beta = 0,05$). Isso significa que há apenas 5% de chance de aceitar a hipótese nula como verdadeira no caso em que, na realidade, ela é falsa. O poder do teste também ajuda a determinar o tamanho da amostra
Repetição	É o ato de realizar mais de uma medição sobre uma mesma unidade experimental
Replicação	É o ato de utilizar mais de uma unidade experimental para uma mesma combinação dos tratamentos
Resposta	É o sinônimo de efeito
Ruído	É determinado pelo efeito de todos os fatores não controláveis de um experimento. Em alguns casos, todos os fatores de ruído são conhecidos, mas, em geral, somente alguns o são
Tabela de resposta	É a tabela que mostra as respostas de um experimento, organizadas de acordo com a combinação dos tratamentos ou níveis dos vários fatores
Unidade experimental	Segundo a definição de Wu e Hamada (2000, p. 8), é um "Termo genérico com o qual se refere a uma unidade básica tal como um material, animal, máquina ou período de tempo, ao qual um tratamento é aplicado"

A primeira providência a ser definida, visando obter sucesso na atividade de delineamento do experimento, é definir a equipe de trabalho. Os membros dessa equipe devem estar envolvidos, dia-a-dia, com o processo industrial (no projeto, na manufatura, na logística), sendo interessante haver pelo menos uma pessoa habilitada na ferramenta de DoE de forma a

agir como facilitador. Indicada a equipe, as atividades a realizar são as da sistemática apresentada a seguir.

Igualmente ao processo de projeto (Capítulo 2), a sistemática de projeto de experimento foi dividida em quatro fases, assim caracterizadas: fase do projeto informacional, em que se faz o reconhecimento e declaração do problema; fase de projeto conceitual, na qual se faz a escolha dos fatores, níveis e seleção da variável de resposta; fase do projeto preliminar, em que se dá a estruturação e o delineamento do experimento; e fase do projeto detalhado, quando ocorre a realização do experimento e se faz a análise estatística, as conclusões e as recomendações. Cada uma dessas fases será detalhada a seguir.

A fase do **projeto informacional** (Figura 12.4) representa a primeira fase do projeto de experimento e está dividida nas seguintes atividades: definição do problema; definição dos requisitos do experimento; definição da logística e estudo da viabilidade do experimento; e verificação do projeto informacional.

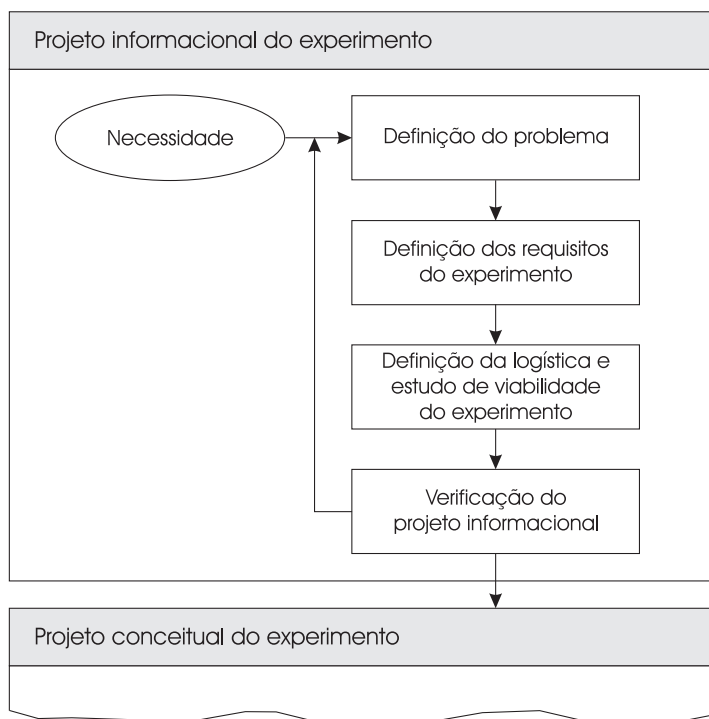


Figura 12.4 Fase do projeto informacional de um experimento (Santos, 2001).

Na definição do problema deve-se identificar o experimento a ser desenvolvido pelo uso de uma metodologia de análise e solução de problemas; descrever o problema objetivamente; estabelecer uma meta para definir o sucesso do experimento; determinar qual a classe do experimento, segundo seu objetivo; e, por fim, determinar as variáveis de projeto mais relevantes.

Da mesma forma como definido no Capítulo 2, a partir da definição do problema, elabora-se uma lista de requisitos. Nessa atividade deve-se fixar ou deixar bem claras as funções requeridas para o experimento, as grandezas de entrada e saída e as possíveis perturbações externas ao problema. Na elaboração da lista distinguem-se os requisitos obrigatórios dos requisitos desejáveis. Os obrigatórios devem ser atendidos sob quaisquer circunstâncias e os desejáveis são considerados, principalmente de acordo com critérios econômicos. Além disso, devem-se definir também os requisitos de normas, campo de tolerância, erro admissível etc.

A definição da logística e estudo de viabilidade do experimento consiste em organizar e estruturar ações para dispor de todas as condições e equipamentos requeridos para executar os ensaios, o local onde será realizado o experimento e as condições do ambiente (temperatura, umidade, poeira, ruído etc.) que possam influenciar na resposta do experimento. Além da parte instrumental, há que se dispor de sistemas computacionais, planilhas para registro das informações, *software* de processamento e documentação normativa para os procedimentos de ensaio e de análise. Particularmente, o estudo de viabilidade do experimento é realizado tendo como objetivo os benefícios atingidos caso a meta do experimento seja alcançada. É possível perguntar se os benefícios a serem obtidos justificam o custo do experimento. Neste caso, se a equipe de projeto concluiu que é plausível continuar o projeto do experimento, segue-se para a próxima fase do planejamento do DoE.

O final dessa fase constitui a entrada para o projeto conceitual. As seguintes informações devem estar definidas: classificação do experimento quanto ao objetivo; número de fatores do experimento; equipe; materiais; equipamentos e procedimentos; os requisitos estatísticos do experimento; e a declaração do problema. Para a verificação formal dessa fase de projeto informacional, uma lista de verificação pode ser construída.

Na fase do **projeto conceitual** ocorre a definição do conceito dos princípios de solução do experimento que melhor representam ou venham a

satisfazer as especificações advindas da fase informacional. As seguintes atividades são características do projeto conceitual:

- classificar os fatores e escolher seus níveis e intervalos, ou seja, destacar os fatores potencialmente interessantes, como os de controle e ruído;
- definir a(s) resposta(s) do experimento como a variável de resposta, o tipo de resposta desejada, o sistema de medição e o método de medição apropriado. Essa atividade pode ser feita em paralelo ou até mesmo antes da anterior;
- selecionar a combinação dos tratamentos de acordo com as variáveis: classe do projeto experimental, número de níveis e número de fatores. O conhecimento do experimentador, além de outros advindos do projeto informacional, pode ajudar na escolha da estratégia e do tipo de experimento (Tabela 12.2).

Com a definição do melhor conceito para realizar o experimento tem-se: a classe do delineamento (comparação de tratamentos, otimização do sistema etc.), fatores, níveis, intervalos, variável ou variáveis de resposta definida e restrições a que estará sujeito o experimento. Como no caso do projeto informacional, aqui também se deve dispor de uma ferramenta para efetuar a verificação da implementação da fase conceitual.

No **projeto preliminar** do delineamento do experimento, procura-se implementar o conceito anteriormente definido seguindo o fluxo de transformação das informações representada por quatro atividades fundamentais:

- determinação do tamanho da amostra, que consiste em considerar a análise estatística em função do arranjo experimental escolhido e de outras ferramentas para verificar a condição de suficiência do modelo estatístico obtido. Podem-se utilizar os valores já determinados para o nível de significância e para o poder do teste;
- determinação da resolução do delineamento desejado, feita para indicar a capacidade do delineamento em fornecer informações a respeito dos efeitos principais e suas interações. Outro ponto a ser considerado é que, quanto maior a resolução do delineamento, maior o número de projeções possíveis para o experimento;
- seleção da família de delineamento experimental mais apropriada, normalmente feita e testada de acordo com o tamanho da amostra,

da necessidade ou não da replicação e da necessidade em trabalhar com blocos;

- verificação do projeto preliminar, feita a partir de uma ação estruturada sobre o delineamento a fim de garantir que os procedimentos experimentais estejam completos e descrevam, passo-a-passo, a condução do experimento.

As saídas dessa fase são: o delineamento de experimento sistematizado, a ordem da coleta das observações planejadas e o procedimento para executar o experimento bem definido. Ao final, têm-se as planilhas testadas, os instrumentos prontos para operar, a organização para a coleta e o armazenamento e processamento dos dados, além dos procedimentos para análise e validação do experimento. O passo seguinte é o detalhamento do processo de trabalho e execução.

O **projeto detalhado** é a última fase do processo de projeto do experimento. Nesta fase, considerando os requisitos das fases anteriores, a equipe de projeto possui um plano e um procedimento para conduzir o experimento. Pode ser subdividida em cinco atividades.

- preparação do ambiente de ensaio, que pode ser feita no laboratório ou na própria linha de produção. No caso do desenvolvimento de novos produtos e dependendo da fase de desenvolvimento do projeto, um modelo ou um protótipo pode ser construído, permitindo maior controle sobre as variáveis de projeto. Porém, geralmente os experimentos são conduzidos em laboratórios especializados e bem equipados;
- execução do experimento, conforme o procedimento elaborado, pode ser feita por mais de um operador. Esse é um critério definido pela equipe de projeto durante a fase de projeto preliminar, pois somente ao final desta é que se pode determinar com exatidão o tempo necessário para executar todas as combinações dos tratamentos. Recomenda-se que o agente de projeto designado para analisar os dados não seja o mesmo que executará o experimento. Isso contribuirá para que os dados não sejam analisados tendenciosamente. Normas técnicas devem ser consideradas ou cumpridas na elaboração e análise do experimento;
- análise estatística dos dados coletados constitui-se em uma atividade muito importante e, em geral, após receber uma planilha de coleta de

- dados, o agente de projeto responsável pela análise prepara-se para executar as seguintes tarefas: estimar o efeito dos fatores; formular o modelo inicial; elaborar análise de suficiência do modelo; refinar o modelo inicial; e interpretar os resultados;
- a verificação do projeto detalhado consiste em conferir os resultados experimentais e seus parâmetros e verificar se estes satisfazem os requisitos especificados ao final da fase de projeto informacional, como a precisão e as metas do experimento. No caso da precisão do experimento não ter sido atingida, a equipe de trabalho deve considerar o custo-benefício de realizar um novo experimento para atingir a precisão especificada. Já para o caso de o experimento não ter atingido as metas, o grupo de trabalho deve tentar compreender as causas fundamentais das não-conformidades;
 - a elaboração do relatório do experimento deve sempre justificar o sucesso ou não do experimento, além de exibir as hipóteses estatísticas consideradas, o modelo estatístico definido e, se houver fatores quantitativos no experimento, exibir a função aproximada para a superfície de resposta do experimento. Devem ser tabulados os resultados da análise de variância (ANOVA) ou da estimativa da máxima verossimilhança (MLE), indicando os fatores significantes e quais são os níveis que otimizam a resposta para esses mesmos fatores. Outra seção importante diz respeito às restrições estatísticas e sistêmicas às quais o experimento e suas conclusões estão sujeitas.

Como inicialmente sinalizado, o espaço de projeto ou processo de projeto é um trabalho fundamentado no conhecimento, principalmente no que se refere ao projeto e ao processo de fabricação sobre o produto e sobre as ferramentas disponíveis, determinísticas ou probabilísticas, racionalizadas em modelos matemáticos ou qualitativos para dotar o produto da robustez requerida pelo usuário. Por mais idealizado que seja o modelo, o mesmo não funciona se dados consistentes não estiverem disponíveis. A obtenção desses dados depende, fundamentalmente, do que se conhece sobre o produto, do seu desempenho com o usuário ou dos dados obtidos em laboratório. Qualquer que seja a condição, a confiança e a qualidade da informação dependem de como o experimento foi delineado e executado.

12.6 Resumo

1. *O objetivo do capítulo foi fornecer o conhecimento básico de análise de parâmetros para que o leitor possa conhecer as potencialidades dessa análise e saber em que fase do ciclo de vida do produto deve ser introduzido esse processo; e contribuir com a linguagem necessária para compreender os textos especializados em projeto de experimento.*
2. *Como visto, o objetivo da análise de parâmetros é diminuir a variabilidade que pode afetar negativamente aspectos relacionados à manufatura, ao material e ao uso. Essa não é uma preocupação recente e, principalmente após a década de 1950, houve vários ajustes e contribuições para o aperfeiçoamento do processo dessa análise. Atualmente, a tendência é considerá-la desde as primeiras fases do ciclo de vida do produto. A experiência vem demonstrando que, quando a análise de parâmetros é devidamente considerada na etapa de projeção, o resultado é um produto robusto, tanto para fabricação quanto para uso e descarte.*
3. *Para estruturar melhor essa abordagem, foram apresentados os fundamentos para a análise de parâmetros no processo de projeto, focando o desdobramento histórico, o relato de ações já experimentadas ao longo do tempo e a perspectiva atual, o que justifica a redação deste capítulo. Posteriormente, foram abordadas as principais definições e medidas para a análise de parâmetros, destacando-se a relação entre sinal e ruído, a função perda, o projeto de parâmetros e de tolerância e, finalmente, as medidas de sensibilidade, compatibilidade e estabilidade.*
4. *Em consequência da quantidade de variáveis sempre presentes nas tomadas de decisão no âmbito do processo de projeto e das exigências advindas da compatibilização requerida para considerar as necessidades e os requisitos do consumidor, torna-se necessário processar as variáveis de entrada por metodologias que auxiliem a equipe de projeto a racionalizar as decisões. Para tanto, apresentou-se o método de Taguchi para o projeto robusto e o projeto de experimento (DoE). Ressalta-se que a diferença entre os métodos está no fato de o segundo fazer uso dos fundamentos da estatística e da probabilidade, adequando o rigor às necessidades do processo. A descrição dos métodos, por certo, não permite à equipe de projeto proceder todas as avaliações necessárias, mas é um primeiro passo para se inteirar da linguagem, das possibilidades de análise e das referências básicas.*

12.7 Problemas e temas de discussão

1. Faça um levantamento dos autores de metodologia de projeto e identifique os métodos estatísticos que eles recomendam para auxiliar na tomada de decisão diante de informações com muitas variáveis.
2. O delineamento do experimento é mais apropriado para as fases do projeto preliminar e detalhado, quando já se tem melhor definido os esforços, os materiais e as dimensões. Pesquise nos livros de elementos de máquinas as equações para o dimensionamento dos mesmos e identifique as variáveis dependentes e independentes presentes nessas equações.
3. Para a pesquisa feita anteriormente, faça uma avaliação de sensibilidade e de compatibilidade das variáveis.
4. Qual a definição mais adequada para projeto de parâmetros?
5. O que é projeto de experimento?
6. Identifique uma área para aplicação de projeto de experimento e proponha uma sistemática (passos básicos) para implementá-lo no seu ambiente de trabalho.
7. O que você entende por espaço de projeto?
8. Defina função perda.
9. Exemplifique aplicações adequadas para o uso da relação sinal/ruído.
10. Qual a diferença entre projeto de parâmetros e projeto de tolerância? Quais são as complementações e as semelhanças?

12.8 Referências bibliográficas

- BACK, N. *Metodologia de projeto de produtos industriais*. Rio de Janeiro, Guanabara Dois, 1983.
- BEER, F. P.; JOHNSTON, E. R. *Mecânica vetorial para engenheiros, estática*. 3.ed. v.I. São Paulo, McGraw-Hill. 1980.
- FIOD NETO, M. *Taguchi e a melhoria da qualidade: uma releitura crítica*. Florianópolis, UFSC, 1997.
- HIRANO, E. W. "Desenvolvimento de metodologia de diagnóstico da produtividade na geração de energia elétrica". Florianópolis, 2003. 188p. Dissertação (mestrado). PPGEM – UFSC.

- KEVIN, P. *et al.* *Use and knowledge of robust design methodology (RDM) of european industry*. EURobust, 2003.
- KOCH, P. N.; YANG, R. J.; GU, L. "Design for six sigma through robust optimization". *Structural Multidisciplinary Optimization*. v.26, n.3-4, 2004, p.235-248.
- MCADAMS, D. A.; WOOD, F. L. "Methods and principles for concurrent functional tolerance design". *Proceedings of DETC – ASME, Design Engineering Technical Conferences*. Las Vegas, September, 1999.
- MONTGOMERY, D. C. *Introduction to statistical quality control*. 3.ed. New York, John Wiley & Sons, 1997.
- OSTROFSKY, B. *Design, planning, and development methodology*. New Jersey, Prentice-Hall, 1977.
- OTTO, K.; WOOD, K. *Product design: techniques in reverse engineering and new product development*. New Jersey, Prentice Hall, 2001.
- SANCHES, R. A. "Otimização dos parâmetros de regulação das máquinas circulares de malharia, utilizando a metodologia de Taguchi". Campinas, 2001. 171p. Dissertação (mestrado). Faculdade de Engenharia Mecânica da Universidade de Campinas.
- SANTOS, M. Q. C. "Sistematização para aplicar o projeto de experimentos na melhoria da confiabilidade de produtos". Florianópolis, 2001. 163p. Dissertação (mestrado). PPGEM – UFSC.
- SLACK, N.; CHAMBERS, S.; JOHNSTON, R. *Administração da produção*. São Paulo, Atlas, 2002.
- TAGUCHI, G. *Introduction to quality engineering: design quality into products and processes*. Tokyo, Asian Productivity Organization, 1986.
- WU, C.; HAMADA, M. *Experiments: planning, analysis, and parameter design optimization*. New York, John Wiley e Sons, 2000.

Capítulo 13

Otimização integrada no processo de projeto do produto

13.1 Introdução ao conceito de otimização integrada

No Capítulo 11 estudou-se a modelagem da concepção desenvolvida e no Capítulo 12, os aspectos relativos à análise de sensibilidade e às tolerâncias das variáveis e como as restrições limitam as possíveis soluções para o produto em desenvolvimento. A partir desse estágio tem-se as atividades de dimensionamento da concepção ou das concepções e da busca da melhor solução para o produto. Ao procedimento de busca da melhor solução denomina-se, em geral, otimização no projeto.

De acordo com o Capítulo 2, as atividades de dimensionamento e otimização da solução são desenvolvidas, com maior intensidade e de forma mais sistematizada, dentro da fase do projeto preliminar. O projetista deve ter sempre em mente a preocupação com a otimização, ou seja, em todo o ciclo de desenvolvimento do produto. No projeto informacional, descrito no Capítulo 5, ao estabelecer as especificações de projeto tem-se a preocupação de identificar um conjunto de especificações que resulte na solução de um produto que atenda da melhor forma possível às necessidades ou aos atributos requeridos pelos consumidores. Na fase do projeto conceitual, na forma descrita nos Capítulos 6 e 7, ao estabelecer a estrutura funcional, na busca dos princípios de solução das funções, na combinação dos princípios de solução, procura-se pelo conjunto das melhores soluções

conceituais para o problema. No Capítulo 8, novamente são apresentados métodos de seleção da melhor solução dentre as concepções geradas no projeto conceitual. As formas de otimização, desenvolvidas nas fases do projeto informacional e conceitual, são mais qualitativas, enquanto que no projeto preliminar se tem formas mais quantitativas.

Este capítulo apresenta uma introdução sobre o projeto preliminar, que será detalhado em volume futuro desta obra, onde serão tratados também os aspectos do projeto detalhado, construção e testes do protótipo. O conteúdo deste capítulo apresenta uma visão geral dos procedimentos adotados no dimensionamento e na otimização do produto, como continuação da fase do projeto conceitual do produto.

Para o dimensionamento da solução é necessário conhecer as solicitações de diferentes naturezas que atuam nas estruturas ou nos componentes do produto. Os materiais são selecionados e as partes do equipamento são dimensionadas. Nessa etapa do processo de desenvolvimento do produto são usados os mais diversos métodos analíticos da literatura clássica de análise e dimensionamento de elementos de máquinas, bem como métodos numéricos, como o de elementos finitos.

Nas duas últimas décadas a expressão otimização do projeto, ou do produto, recebeu uma atenção muito grande por parte da academia e da indústria. Assim, a área de conhecimento foi objeto de mudanças de enfoques e, também, de denominações.

Vinte anos atrás a área era mais conhecida por métodos matemáticos de otimização ou otimização no projeto, como mostra a obra de Arora (1989). Na forma clássica de otimização, formula-se uma ou mais funções critério ou funções objetivo, sujeitas a um conjunto de restrições. Como será visto a seguir, a maioria dos problemas de otimização é enquadrada dentro de duas principais classes, quais sejam a programação linear e a programação não-linear, ou melhor, problemas lineares e não-lineares.

Na prática da engenharia, os problemas de projeto de produtos são multivariáveis, multicritérios, multidisciplinares e, ainda, as variáveis e critérios são do tipo quantitativo e qualitativo. Nesses casos, a formulação da otimização torna-se bem complexa, fugindo dos padrões clássicos de formulação matemática de otimização. Assim, surgiram vários conceitos para tratar desses problemas, tais como: otimização multidisciplinar de projeto; otimização total do projeto; otimização global do projeto; e projeto para x-bilidade, entre outros.

No conceito de qualidade total do produto ou projeto para x-bilidade, ou melhor, a otimização integrada no processo de projeto do produto tem por objetivo buscar uma solução que seja adequada a um elevado número de qualidades ou atributos tais como: fabricabilidade, montabilidade, testabilidade, confiabilidade, manutenibilidade, apoio logístico, segurança, uso, meio ambiente, entre tantos outros atributos.

Nos próximos itens deste capítulo serão abordados os seguintes aspectos: o item 13.2 tratará dos princípios gerais de dimensionamentos da solução; no item 13.3 será apresentada uma visão geral da otimização matemática do projeto e no 13.4 serão introduzidos conceitos gerais sobre a otimização integrada. No item 13.5 será apresentado um resumo do capítulo e no 13.6 tem-se listados problemas e temas de discussão.

13.2 Sistemática de dimensionamento da concepção de projeto

Para o processo de dimensionamento de um produto ou sistema, recomenda-se o seguinte procedimento: analisar as especificações de projeto ou atributos de desempenho que o sistema deverá ter; identificar as solicitações e os fatores de meio ambiente aos quais o sistema será submetido; modelar as características de desempenho a dimensionar; selecionar materiais a serem adotados nos componentes ou na estrutura do sistema; e, por último, determinar as dimensões sujeitas às restrições de projeto e que otimizam o atributo ou multiatributos do produto.

Os atributos de desempenho que o produto deve ter foram especificados no Capítulo 5. Esses atributos são os mais diversos, desde os mais simples aos mais complexos, tais como: resistência à ruptura, à corrosão, rigidez adequada, estabilidade, rendimento, confiabilidade, manobrabilidade, segurança, manutenibilidade, entre outros.

Para o dimensionamento da concepção é necessário conhecer as solicitações ou condições de meio ambiente a que o sistema estará sujeito. As solicitações podem ser as mais variadas: baixas ou altas temperaturas, ambientes corrosivos, forças estáticas ou dinâmicas, interferências eletromagnéticas, interações fluido-estrutura, acelerações, ambientes a altas pressões ou no vácuo, mau uso, manutenção inadequada, sabotagem, entre tantas outras condições possíveis. O conhecimento dessas solicitações pode ser obtido de diversas maneiras por meio de pesquisa em modelos anteriores

ou sistemas similares, pelas medições em modelos experimentais, ou em campo e por simulações.

Definidos os atributos de desempenho do sistema, a modelagem de avaliação correspondente e as solicitações atuantes, o passo seguinte é a escolha dos materiais mais apropriados a serem adotados nos componentes e nas estruturas do sistema. A seleção do material é uma etapa bem complexa, pois depende de um número grande de fatores, entre os quais podem ser citados: solicitações e condições de meio ambiente a que estará submetido, processos de fabricação, estética, durabilidade, normas e tantos outros. Nesse início da atividade de dimensionamento é conveniente adotar alternativas de materiais. Na evolução do projeto, ao longo das fases de projeto preliminar e projeto detalhado, na medida em que mais dados são conhecidos, como os processos de fabricação e de acabamentos superficiais, essas alternativas irão convergir para um único material.

Tendo escolhido uma gama de materiais, conhecendo o modelo de dimensionamento e as solicitações, podem-se calcular as dimensões dos componentes e dos elementos estruturais do sistema. Para estes dimensionamentos são adotados os mais diversos métodos analíticos, numéricos e experimentais. Na literatura técnica encontram-se métodos de dimensionamento de uma ampla gama de componentes mecânicos, eletrônicos, eletromecânicos, ópticos, lógicos e de muitos outros domínios de conhecimento. Para sistemas mais complexos, há diversas alternativas de métodos numéricos. Como exemplos, dispõe-se dos métodos dos elementos finitos e de contorno, utilizados para análise de componentes e sistemas de meios sólidos, líquidos, magnéticos e de transmissão de calor.

Na grande maioria, os componentes, aplicados no desenvolvimento de sistemas, não são dimensionados, mas selecionados em catálogos de componentes normalizados, como mancais de rolamento, parafusos, correias, acoplamentos, embreagens, perfis metálicos, componentes eletroeletrônicos, hidráulicos e pneumáticos, entre tantos.

13.3 Otimização matemática do projeto

No presente item procura-se dar uma visão geral do processo clássico de otimização, com ênfase na formulação do problema e na apresentação de uma breve discussão de métodos matemáticos de solução.

Nesse contexto, o problema fundamental é a formulação do problema de otimização. Pode-se afirmar que metade do esforço despendido na solução da otimização é na sua formulação. Assim é necessário que essa formulação seja elaborada de forma sistemática bem definida.

A formulação do problema de otimização de um projeto envolve a representação, em uma declaração matemática definida, a partir da descrição verbal do problema. A formulação se inicia com a identificação de um conjunto de variáveis, como já vistas nos Capítulos 11 e 12, denominadas variáveis de projeto, que modela a concepção sob o ponto de vista de um desempenho, uma qualidade, um atributo ou um critério. Uma vez atribuídos valores às variáveis, tem-se uma solução que pode atender, ou não, ao problema e que dificilmente é um projeto ótimo.

Uma solução de projeto é definida para desempenhar uma função dentro de um conjunto de restrições de várias naturezas: limitação de recursos, durabilidade, dimensões, peso, custo de produção etc. Essas restrições devem ser influenciadas pelas variáveis, e, se o projeto atende a todas as restrições, tem-se um projeto viável, mas, provavelmente, ainda não um projeto ótimo.

Para identificar uma solução ótima, deve ser estabelecido um critério para definir a melhor solução, dentre um conjunto de soluções viáveis. Para esse critério encontram-se, na literatura, diversas denominações: função critério, função objetiva, função custo, função desempenho, qualidade ou atributo do projeto. Na prática do desenvolvimento de produto, normalmente o projeto ótimo é aquele selecionado adotando vários critérios, ou o que deve apresentar várias qualidades ou atributos. O projeto de um veículo, por exemplo, deve atender aos seguintes critérios: mínimo custo de manufatura, mínimo peso/consumo de energia, alta aceleração e máximo conforto no trânsito. Quando a obtenção da solução ótima se baseia em vários critérios ou deve apresentar diversos atributos, tem-se um problema de otimização denominado de diversas formas: otimização multiobjetivo, multicritério, multiatributo e, ainda, otimização multidisciplinar. Na presente obra adotar-se-á o termo atributo ou multiatributos e multidisciplinar, como meio para seleção ou determinação da melhor solução, sujeita a um conjunto de restrições.

Para o caso de um único atributo, o modelo matemático de otimização é formulado da seguinte forma:

- minimize a função:

$$f(\mathbf{x}) = 0; \quad (13.1)$$

- sujeita às restrições:

$$\mathbf{h}(\mathbf{x}) = 0; \quad (13.2)$$

$$\mathbf{g}(\mathbf{x}) \leq 0 \quad (13.3)$$

Na equação 13.1, $f(\mathbf{x})$ é uma função atributo escalar que permite a comparação entre as soluções alternativas, $\mathbf{h}(\mathbf{x}) = (h_1, h_2, \dots, h_i)^T$ são restrições funcionais de igualdades, $\mathbf{g}(\mathbf{x}) \leq (g_1, g_2, \dots, g_j)^T$ são restrições funcionais de desigualdades que determinam se o projeto é viável e \mathbf{x} é um vetor n -dimensional, em que n é finito.

Se houver multiatributos, então a formulação do problema toma a forma:

- determine o vetor:

$$\mathbf{x} = (x_1, x_2, x_3, \dots, x_n)^T; \quad (13.4)$$

- o qual minimiza a função:

$$\mathbf{F}(\mathbf{x}) = [f_1(\mathbf{x}), f_2(\mathbf{x}), \dots, f_k(\mathbf{x})]^T \quad (13.5)$$

em que k é o número de atributos da solução, sujeita a restrições do tipo das equações 13.2 e 13.3.

Nas equações 13.1 e 13.5 procura-se pelo mínimo de um atributo ou multiatributo. Em grande número de casos o atributo deve ser minimizado, por exemplo: mínimo consumo de combustível; mínimo custo de produção do produto; mínimo peso; e tantos outros. Em outras situações procura-se por um máximo do atributo: máximo rendimento; máxima rigidez; máxima segurança; etc. Os métodos de solução de problemas de otimização são formulados para obtenção de mínimos. Dessa forma, os problemas de maximização podem ser transformados em problemas de minimização para efeito de solução, pela simples inversão de sinal da função atributo.

A equação 13.3, que representa relações de desigualdades entre as variáveis de projeto, está na forma padrão de menor ou igual a zero. Na prática, as relações de desigualdades são, freqüentemente, da forma de

maior ou igual a zero, que podem ser colocadas na forma-padrão invertendo, também, o sinal da equação.

Para resolver os problemas de otimização, ou seja, para a obtenção do valor da função atributo e os correspondentes valores das variáveis de projeto, foram desenvolvidos inúmeros métodos matemáticos. Para a seleção do método mais apropriado a cada problema é conveniente classificar os diversos problemas da prática de projeto ótimo de produtos de acordo com os seguintes tipos:

- problemas sem restrições: quando não há restrições como as equações 13.2 e 13.3. Há casos de funções atributo de uma ou mais variáveis; na literatura são encontrados muitos métodos para a solução de problemas sem restrições;
- problemas com restrições: neste caso há relações ou limitações nas variáveis de projeto que distinguem soluções viáveis das inviáveis;
- problemas uniatributo: são casos em que há somente um atributo, na forma das equações 13.1 a 13.3. Muitos problemas simples podem ser tratados como sendo de um único atributo, especialmente quando são considerados aspectos isolados, subproblemas ou componentes de sistemas maiores. Nesses casos o desempenho pode ser formulado por uma única função critério;
- problemas multiatributo: a grande maioria dos problemas de projeto de sistemas técnicos precisa atender bem a vários atributos. Nesses casos, a qualidade ou desempenho geral do produto é expressa pela equação 13.5, uma relação entre os vários atributos individuais. Como será visto a seguir, na literatura encontram-se várias proposições para estabelecer a função que engloba múltiplos atributos ou aspectos multidisciplinares do sistema em desenvolvimento;
- problemas lineares: são casos em que as equações 13.1 a 13.3 são lineares. A solução de otimização é obtida com métodos da chamada programação linear;
- problemas não-lineares: na maioria dos problemas da prática da engenharia, as equações 13.1 e 13.5 expressam o desempenho do produto sendo projetado e as equações 13.2 e 13.3 limitam a região viável da solução, sendo todas equações não-lineares. As variáveis podem ser contínuas ou discretas. Os métodos de solução desses tipos de problemas se enquadram na chamada programação não-linear e são, em geral, métodos numéricos.

Na Tabela 13.1 são indicados alguns métodos matemáticos que podem ser aplicados para a solução de diversos tipos de problemas de otimização. São apontadas, também, referências bibliográficas, onde há informações sobre os métodos cujas descrições não serão apresentadas nesta obra.

Tabela 13.1 Métodos matemáticos de otimização para os diversos tipos de problemas

Item	Tipos de problemas	Método de otimização	Referências
1	Problemas não-lineares sem restrições	Diferenciação Pesquisa aleatória Pesquisa sistemática Pesquisa univariável Gradientes de máximo decréscimo Gradientes conjugados: Fletcher e Reeves Newton Davidon-Fletcher-Powell	Venkataraman (2000) e Arora (1989)
2	Problemas não-lineares com restrições	Eliminação de restrições Multiplicador de Lagrange	Arora (1989)
3	Problemas lineares	Simplex padrão Simplex de dupla fase	Arora (1989)
4	Problemas multi-atributos	Maximização da função soma ponderada das funções de atributos individuais Maximização da função produtório das funções atributo individuais	Thurston, Carnaham e Liefu (1991) e Marler e Arora (2003)

Na primeira linha da Tabela 13.1 os problemas são simples, sem restrições, com uma ou mais variáveis nos quais a solução é obtida pelo cálculo diferencial. Sendo diferenciável e de uma só variável, a equação da função atributo é diferenciada e a derivada é igualada a zero. As raízes dessa equação correspondem aos valores da variável, nos máximos ou mínimos, da função atributo. No caso de a equação ser de várias variáveis, as derivadas parciais também são igualadas a zero e tem-se um sistema de equações cujas raízes devem ser obtidas. Para que as raízes assim obtidas sejam de pontos de mínimo, nesses pontos devem ser atendidas certas condições de mínimo, como largamente publicado em obras de cálculo diferencial. Pode haver vários pontos de mínimo, e o mínimo global seria então a solução

ótima. Os demais métodos da primeira linha são numéricos, desde os mais elementares aos mais elaborados. Na pesquisa aleatória são gerados pontos aleatórios e, em cada um deles, o valor da função atributo é calculado e comparado ao valor do ponto anterior em busca de um mínimo, a solução ótima. Na linha da pesquisa sistemática tem-se vários métodos, nos quais, de uma forma predeterminada, são arbitrados valores às variáveis, calculados os valores da função e comparados os resultados aos anteriores em busca do mínimo. Como exemplos podem-se citar a pesquisa exaustiva a intervalos iguais, redução seqüencial do intervalo de pesquisa e pesquisa univariável. Os demais métodos do primeiro item são numéricos e aproveitam propriedades dos gradientes no ponto da função.

Na segunda linha da Tabela 13.1, em primeiro lugar, das equações de restrições são estabelecidas relações entre variáveis e assim, reduzindo o número de variáveis da função atributo e eliminando as restrições, chega-se a uma classe de problemas a serem resolvidos pelos métodos da primeira linha da tabela. Resumidamente, no método do multiplicador de Lagrange as equações de restrições são multiplicadas por escalares e os resultados são adicionados à função atributo. Essa nova função é diferenciada em relação às variáveis, incluindo os multiplicadores de Lagrange; as derivadas são igualadas a zero e é obtido um sistema de equações que pode ser resolvido analiticamente para problemas simples, mas em geral só por métodos numéricos.

No caso de problemas lineares, quando as funções de restrições são de igualdades na forma da equação 13.3 e as variáveis são todas não-negativas, o método de solução mais indicado é o Simplex padrão. Quando as equações de restrições são de desigualdades e, entre as variáveis, algumas são negativas, transforma-se esse problema para a forma padrão pela introdução de variáveis artificiais de folga e das mesmas cria-se uma função atributo artificial. A solução desse problema é realizada em duas fases. Na primeira aplica-se o método Simplex para determinar as variáveis de folga que minimizam ou anulam a função atributo artificial e, na segunda fase, é aplicado o método Simplex padrão.

Na prática de desenvolvimento de produtos, na maioria dos casos os problemas são multivariáveis, não-lineares, com restrições e devem atender a um grande número de atributos requeridos pelos consumidores. A formulação desses problemas em uma única função atributo global é, em geral, inviável. Desta forma, como mostram Marler e Arora (2003), houve

um grande esforço de pesquisa com o intuito de desenvolver métodos que permitissem a otimização simultânea de diversos atributos individuais. Surgiram, então, várias proposições de composição das funções atributos individuais (equação 13.5) em uma função multiatributo, global ou, às vezes, chamada de função de utilidade ou de qualidade total. Essa função não é uma função desempenho ou atributo global, e sim um conceito que, se maximizado, maximizaria também as funções atributo individuais, ou atenderia da melhor forma as necessidades dos consumidores do projeto. Essa função composta é, então, submetida a um processo de maximização nos casos descritos anteriormente. Uma das propostas encontradas na literatura para expressar a função composta é a equação seguinte:

$$U = \sum_{i=1}^k u_i [F_i(\mathbf{x})] \quad (13.6)$$

em que U é a função multiatributo e $u_i[F_i(\mathbf{x})]$ são funções dos atributos individuais.

A equação 13.6 pode ser escrita nas formas de uma soma exponencial ponderada, soma ponderada ou então um produto das funções de atributos individuais, como mostram as equações seguintes:

$$U = \sum_{i=1}^k w_i [F_i(\mathbf{x})]^p \quad (13.7)$$

ou

$$U = \sum_{i=1}^k w_i F_i(\mathbf{x}) \quad (13.8)$$

e

$$U = \prod_{i=1}^k [F_i(\mathbf{x})] \quad (13.9)$$

em que w_i são fatores de peso ou de importância de cada uma das funções atributos individuais e são valores positivos, tais que $\sum w_i = 1$.

Nessas equações, as funções atributo individuais devem ser formuladas positivamente e, de preferência, independentemente, para que a contribuição dada a uma função não afete as demais. Para determinar os valores de w_i encontram-se diversas sugestões, entre elas a tomada de decisão de uma equipe de avaliadores e uma segunda pelo ordenamento das funções atributo individuais pela ordem de importância e atribuindo o va-

lor de $r_i = 1$ à função mais importante e $r_k = k$ à menos importante, sendo k o número de funções atributo individuais e r_i a ordem de importância da função objetivo i . A partir disso são calculados os fatores de importância pela seguinte equação:

$$w_i = \frac{\frac{1}{r_i}}{\sum_{j=1}^k \frac{1}{r_j}} \quad (13.10)$$

Como visto anteriormente, a formulação matemática de problemas de projeto, que seja representativa de todas as variáveis envolvidas e dos diferentes atributos que o produto deverá ter, é difícil e complexa, não compensando, muitas vezes, o esforço de formulação e de solução matemática do problema de otimização. Uma alternativa para superar a dificuldade é realizar a otimização iterativa e, evolutivamente, seguir a metodologia de trabalho da engenharia simultânea, onde os aspectos que contribuem para a melhoria dos diversos atributos necessários ao produto são considerados e introduzidos simultaneamente ao longo do trabalho de projeto. Essa forma de tratamento da otimização integrada no projeto do produto será apresentada no item seguinte.

13.4 Otimização integrada do produto

No primeiro item deste capítulo foi introduzido o conceito de otimização integrada, que corresponde ao projeto do produto considerando simultaneamente, em todas as fases do desenvolvimento, os fatores que tornam o produto melhor ao longo de seu ciclo de vida. Para que esse objetivo seja alcançado, o produto deve ser adequado a atributos requeridos pelos usuários, desde a sua fase de concepção até o descarte. Para atender a esses atributos, desenvolveu-se um considerável número de técnicas de projeto, cada uma visando uma determinada qualidade ou atributo do produto. A primeira técnica a ser adotada é seguir a orientação de Einstein que diz que o melhor projeto é o mais simples que funciona. Outras técnicas mais elaboradas e sistematizadas estão apresentadas na Tabela 13.2, ordenadas ao longo do ciclo de vida, com o nome em português e inglês, com referências especializadas no assunto. A presença dos nomes em inglês se justifica por certos nomes em português ainda não se encontrarem familiarizados ou consagrados em nosso meio.

Tabela 13.2 Métodos de projeto ótimo integrado de produtos industriais

Nome do método em português	Nome do método em inglês	Sigla	Referências bibliográficas
Projeto para configuração	<i>Design for configuration</i>		Pahl e Beitz (1996), cap.7
Projeto para precisão	<i>Design for precision</i>		Weber (2001) e Slocum (1992)
Projeto para estética	<i>Design for aesthetics</i>		Pahl e Beitz (1996), cap.7 e Santos (1998)
Projeto para custo	<i>Design for cost/profit</i>	DFC	Ver Capítulo 8
Projeto para robustez	<i>Design for robustness</i>		Ver Capítulo 12
Projeto para modularidade	<i>Design for modularity</i>		Pahl e Beitz (1996), cap.8 e Maribondo (2000)
Projeto para segurança e responsabilidade civil	<i>Design for safety/liability</i>	DFS	Bralla (1996), cap.17 e Alonço (2004)
Projeto para a normalização	<i>Design for standards</i>		Pahl e Beitz (1996), cap.7; Back (1983), cap.19 e Hundal (1997), cap.10
Projeto para teste	<i>Design for testability</i>		Blanchard e Fabrycky (1990), cap.6
Projeto para manufatura	<i>Design for manufacturing</i>	DFM	Otto e Wood (2001), cap.14; Back (1983), cap.21 e Boothroyd <i>et al.</i> (1994)
Projeto para montagem	<i>Design for assembly</i>	DFA	Pahl e Beitz (1996), cap.7; Boothroyd <i>et al.</i> (1994) e Sousa (1998)
Projeto para embalagem	<i>Design for packaging/transportability</i>		Dowlatshahi (1996) e Romano (1996)
Projeto para uso/ergonomia	<i>Design for use/ergonomics/human factors</i>		Blanchard e Fabrycky (1990), cap.15 e Bralla (1996), cap.19
Projeto para confiabilidade	<i>Design for reliability</i>		Blanchard e Fabrycky (1990), cap.13; Bralla (1996), cap.15 e Iresom <i>et al.</i> (1995)

continua

Tabela 13.2 Métodos de projeto ótimo integrado de produtos industriais
(continuação)

Nome do método em português	Nome do método em inglês	Sigla	Referências bibliográficas
Projeto para inspeção	<i>Design for inspectability</i>		Huang (1996), cap.10
Projeto para manutenibilidade	<i>Design for maintainability/service/repair</i>		Blanchard <i>et al.</i> (1995), cap.14; Bralla (1996), cap.16 e Huang (1996), cap.14
Projeto para apoio logístico	<i>Design for supportability</i>		Blanchard e Fabrycky (1990), cap.16
Projeto para o meio ambiente/ reciclagem/ desmontagem	<i>Design for environment/recycling/disassembly</i>	DFE	Bralla (1996), cap.18; Otto e Wood (2001), cap.15 e Bitencourt (2001)

Nos próximos itens serão apresentados conceitos fundamentais e algumas recomendações ou princípios de projeto para que o produto venha a atender à maioria desses atributos. Esses conceitos permitem ao leitor ter uma visão geral do método e dos princípios que podem ser aplicados.

13.4.1 Projeto para configuração

Com os parâmetros principais determinados pelo processo de otimização, ou por outro método de dimensionamento simplificado, inicia-se a etapa da determinação do leiaute geral, as formas preliminares dos componentes, bem como das possíveis interferências. O dimensionamento, o leiaute e as formas geométricas definitivas são obtidos de uma forma progressiva pela consideração de diversos atributos, como os apresentados na Tabela 13.2 e outros princípios básicos como os relacionados a seguir:

1. Adotar soluções simples, fáceis de entender e construir. Menos componentes resultam, provavelmente, em menos custos de fabricação, menos manutenção e maior confiabilidade. Formas simples são mais fáceis de analisar; por exemplo, a análise de tensões e de rigidez.
2. Minimizar a utilização de materiais, que leva a reduzir a probabilidade de falhas e a soluções de maior desempenho; por exemplo,

- maior carga útil leva a maiores velocidades e acelerações em veículos.
3. Adotar formas de componentes e arranjos que resultem em fluxos mais diretos de forças, trajetórias curtas e que não causem solicitações e estados de tensão complexos.
 4. Dimensionar componentes ou estruturas de resistência ou rigidez uniforme; por exemplo, um feixe de molas ou uma viga de igual resistência.
 5. Prever que as forças atuantes se equilibrem internamente na estrutura e que as estruturas ou componentes sejam simétricos.
 6. Conceber soluções auto-atuantes. Por exemplo, vedações ou tampas de reservatórios devem ser projetadas de modo que a força resultante da pressão atue no sentido de aumentar a pressão de vedação.
 7. Projetar mecanismos, estruturas ou dispositivos estáveis ou, quando forem submetidos a distúrbios, que estes sejam amortecidos.
 8. Adotar formas e arranjos do equipamento que minimizem os efeitos prejudiciais de deformações elásticas, dilatações térmicas e de relaxação.
 9. Prever formas e arranjos que minimizem forças de atrito, corrosão, erosão, abrasão etc.

Princípios básicos de configuração dos componentes ou do produto e recomendações para o seu leiaute, como os listados acima, poderiam ser apresentados em maior número, considerando a vasta gama de tipos de produtos existentes, mas, no presente item, tem-se por objeto dar apenas uma visão geral das preocupações que a equipe de projeto deve ter.

13.4.2 Projeto para precisão

Um produto, uma máquina-ferramenta e uma câmera fotográfica são montagens de vários componentes que foram projetados para operar em conjunto com um definido desempenho de uso. Cada componente tem sua função, e esta deve ser exercida com uma precisão tal que, na cadeia de componentes, seja alcançada a precisão de utilização requerida do produto.

Projetar para precisão significa conceber princípios de solução dos componentes e de todo o produto de modo que exerçam com precisão a

função e que não exijam precisão de fabricação acima dos processos disponíveis. Projetar um produto com precisão de uso compreende a análise dos possíveis erros ou desvios de função, dos fatores de meio ambiente que afetam a precisão, a seleção ou a geração de princípios de solução, a modelagem e minimização dos erros e, se necessário, a ajustagem de função ou compensação de erros.

Cada produto ou equipamento tem seus erros típicos ou desvios de função e suas tolerâncias. Por exemplo, em uma máquina-ferramenta, os erros típicos são de posição relativa entre a peça e a ferramenta, erros de retilidade dos movimentos, erros de rotação dos eixos etc.

As fontes típicas de erros encontradas em equipamentos são: rigidez estática e dinâmica da estrutura; folgas; estabilidade de movimentos; precisão geométrica dos sistemas de controle e de posicionamento; desgastes; erros operacionais; condições de uso e de manutenção; condições de meio ambiente; erros nos sinais; energia; e materiais de entrada. Para facilitar a análise dos erros, estes devem ser modelados para identificar sensibilidades às variáveis envolvidas e identificar princípios de solução que minimizem esses erros. Em uma máquina-ferramenta a precisão de posicionamento relativo entre a peça e a ferramenta deve ser modelada de acordo com as deformações estruturais em razão das forças de usinagem e de variações térmicas, da falta de retilidade e de paralelismo das guias, de excentricidades e erros de rotação dos eixos. Tendo essas relações de erros, efetua-se a análise de sensibilidade para verificar quais erros afetam mais a precisão de posicionamento relativo entre peça e ferramenta.

Concluídas a identificação dos erros, a modelagem e análise de sensibilidade, procura-se por princípios de solução que minimizem os erros ou que permitam alcançar a precisão desejada. Alguns dos princípios de projeto para a precisão são:

1. Conceber arranjos de elementos ou cadeias de mecanismos que reduzam os erros geométricos dos componentes.
2. Identificar princípios de funcionamento ou leiautes de mecanismos ou estruturas invariantes às condições de meio ambiente ou de operação; por exemplo, que a precisão de posicionamento não seja afetada devido a variações de temperatura.
3. Reduzir ao mínimo possível o número de componentes do equipamento, pois as juntas ou conexões são pontos de baixa rigidez ou de folgas que provocam erros de posicionamento ou de movimentos.

4. Permutar movimentos se uma concepção apresenta erros além dos permitidos. Por exemplo, se em uma máquina-ferramenta o movimento de uma peça muito grande e pesada provoca erros de usinagem acima do permitido, a inversão de movimentos entre peça e ferramenta pode resolver o problema de precisão.
5. Introduzir dispositivos de ajustagem que, na montagem, permitam ajustar posições relativas devido aos erros de fabricação das peças.
6. Introduzir sistemas de controle para corrigir imprecisões. Como exemplo, em máquinas-ferramentas com controle numérico, os erros sistemáticos podem ser medidos e as respectivas correções introduzidas na programação para eliminar os desvios. Podem ser introduzidos, também, controles que corrijam desgastes de ferramentas, deformações elásticas e térmicas de estruturas, além de tantos outros tipos de imprecisões em produtos.

13.4.3 Projeto para estética

Em sua grande maioria, os produtos industriais apresentam-se tecnicamente maduros e, de cada tipo, são oferecidas várias alternativas no mercado atual. Havendo semelhança nos atributos técnicos, o consumidor escolhe o produto pela sua estética. O conceito de estética significa a harmonia de formas e/ou cores, resultante da percepção sensorial da conscientização ao se deparar com um objeto. Os atributos estéticos do produto são constituídos por um conjunto de fatores, que podem ser classificados nas ordens sensorial, simbólica e de estilo.

Os fatores de ordem sensorial são aqueles que correspondem a visão, tato, som, odor e gosto. Esses fatores são detectados pela cor (transparente, opaco, refletivo), forma (orgânica, aerodinâmica), sabor (doce, amargo, salgado), contato (suave, quente, duro, frio, liso, áspero), fragrância (natural, artificial) etc.

Os fatores simbólicos referem-se a significados ou aparências que se pretende atribuir a um produto. Como exemplos destes, tem-se: formal ou informal, masculino ou feminino, pesado ou leve, rígido ou flexível, inteligente, veloz, preciso etc.

Quanto aos fatores de estilo, podem ser diversos, entre os quais tem-se o moderno, contemporâneo, realista, futurista, barroco, Luís XV, gótico etc.

Assim, para se obter um produto de boa estética, devem-se adotar princípios ou recomendações de projeto como os apresentados a seguir:

1. Usar adequadamente as cores para unificar, distinguir, camuflar, chamar a atenção, estruturar, codificar, indicar, simbolizar e estilizar componentes ou produtos.
2. Utilizar efeitos das cores: contrastar sinais ou avisos para serem vistos ou lidos com maior facilidade; criar ilusão de ótica (cores claras parecem mais leves do que cores escuras); para dar uma aparência de maior estabilidade de um equipamento, pintam-se partes inferiores com cores escuras e as superiores com cores claras.
3. Escolher materiais e acabamentos de acordo com os seguintes aspectos: as cores e características naturais dos materiais, em geral, têm melhor aparência do que tentativas de disfarces; os materiais e acabamentos não devem se deteriorar com o tempo ou reagir com substâncias com as quais entram em contato; os materiais e acabamentos devem apresentar resistência ao desgaste, à corrosão, ao calor e à umidade; devem ter capacidade de esconder defeitos ou danos superficiais no uso; devem ser de fácil limpeza etc.
4. Prover o produto com unidade de composição: todos os componentes devem apresentar o mesmo estilo de formas e cores, formando um conjunto harmonioso.
5. Dotar o produto com formas que dão idéia dos princípios e da seqüência de funcionamento, bem como do uso do produto.
6. Dotar o produto com a aparência de seu principal atributo: uma máquina-ferramenta deve ter aparência rígida, estável e precisa; veículos de transporte de passageiros devem ter formas que aparentem velocidade e estabilidade; instrumentos e equipamentos médico-hospitalares devem inspirar confiança, conforto e apresentar aspectos de limpeza e salubridade.
7. Projetar detalhes do produto para a boa estética: minimizar a colocação externa de elementos de fixação tais como parafusos; arranjar controles e mostradores em conjuntos de uso amigável e de aparência atraente; usar estilos e arranjos de letreiros e sinais de fácil leitura e boa aparência.

Alguns desses princípios ou recomendações melhoram, além da estética do produto, outros atributos, como sua segurança e utilização.

13.4.4 Projeto para modularidade

A diversidade de requisitos dos consumidores resulta em grande variedade de produtos e em uma produção complexa e difícil de planejar e controlar. Racionalizar a produção, de modo a atender de forma otimizada à ampla diversidade de usos dos consumidores, requer um amplo e demorado planejamento do processo de desenvolvimento de produtos. Isso leva, com frequência, as empresas a ofertarem produtos especialmente projetados e construídos para cada necessidade. Com o objetivo de ofertar produtos para uma ampla faixa de necessidades, de forma mais racional e econômica, desenvolveu-se o conceito de projeto para modularidade.

O termo modularidade é adotado para descrever o uso de unidades comuns com o fim de criar uma variedade de produtos. O objetivo é identificar unidades independentes e normalizadas ou intercambiáveis para atender a uma variedade de funções. O desenvolvimento de produtos modulares é uma técnica atualmente muito utilizada desde produtos simples, como brinquedos e móveis, até os mais complexos, como automóveis e aviões. É comum, na indústria automobilística, oferecer uma variedade de modelos de automóveis pela combinação de diversos subsistemas denominados de módulos básicos, auxiliares, adaptativos e especiais ou não-módulos, cujas características serão apresentadas a seguir.

No caso de produtos modulares, é conveniente distinguir dois conceitos: módulos funcionais e módulos construtivos. Módulo funcional é um conceito abstrato e pode ser formado por uma ou mais funções, como descritas no Capítulo 7. Módulos construtivos são soluções físicas que incorporam um ou mais módulos funcionais. Genericamente, os módulos podem ser classificados em quatro tipos:

- módulo básico: implementa uma ou mais funções básicas e é comum aos diversos produtos do sistema;
- módulo auxiliar: corresponde a funções auxiliares e é usado em conjunto com módulos básicos para criar os diversos produtos;
- módulo adaptativo: incorpora funções adaptativas usadas para expandir as características ou adaptar-se a outros produtos ou restrições;
- módulos especiais: implementa funções específicas, sendo especialmente projetado e construído para atender a necessidades especiais do usuário.

Combinando os quatro tipos de unidades, é montada uma variedade de produtos que satisfazem uma ampla gama de necessidades dos usuários. Essa técnica de desenvolver, produzir e comercializar um sistema de produtos modulares traz os seguintes benefícios:

- maior variedade de produtos;
- módulos podem ser projetados e produzidos em paralelo, reduzindo o tempo de desenvolvimento;
- economia de escala e maior precisão na produção de módulos comuns;
- uso de processos de fabricação mais precisos e de lote econômico maior;
- rapidez no atendimento de usuários com necessidades mais diversificadas;
- facilidade de atualização tecnológica do produto pela troca de módulos obsoletos;
- facilidade de diagnóstico de falha, reposição e reparo de módulos;
- maior possibilidade de adaptações a diferentes mercados.

Para desenvolver um sistema de produtos modulares e alcançar os benefícios descritos por Sudjianto e Otto (2001) e Zamirowski e Otto (1999), são elaboradas as seguintes atividades:

1. Analisar as necessidades e usos dos consumidores: a primeira atividade da equipe de projeto para o desenvolvimento de um sistema ou família de produtos modulares é a pesquisa pelas necessidades do mercado. Os usuários são questionados quanto aos possíveis usos do produto, aos diversos níveis de desempenho. Alguns segmentos do mercado requerem um único perfil de uso enquanto outros já desejam diferentes perfis, ou seja, produtos variantes. Adotando a técnica de projeto para modularidade, atende-se a diferentes usos com uma família de produtos com variações, tendo por base uma plataforma de componentes, montagens ou outros recursos comuns.
2. Desenvolver estruturas funcionais para os diversos perfis de uso: para cada perfil de uso desenvolve-se uma estrutura de funções (Figura 7.3), como descrito no método da síntese funcional no Capítulo 7. Analisando as diversas estruturas funcionais desenvolvidas, identificam-se similaridades e redundâncias entre as mesmas.

3. Definir os módulos funcionais: comparando as diversas estruturas funcionais, identificam-se as funções que são iguais, as parcialmente iguais, as auxiliares, as necessárias para adaptação a outros sistemas e as especiais que não se repetem. A partir da identificação, formam-se os módulos funcionais como definidos anteriormente e denominados de módulos funcionais básicos, auxiliares, adaptativos e especiais. Cada um desses tipos de módulos funcionais pode ser constituído por uma ou mais das respectivas funções.
4. Desenvolver os módulos construtivos: definidos os módulos funcionais, são desenvolvidos os princípios de solução das funções ou desses módulos funcionais. A partir dos princípios de solução das funções são concebidos os módulos construtivos, que podem agregar um ou mais módulos funcionais.
5. Projetar as interfaces dos módulos: uma parte complexa do processo de desenvolvimento de produtos modulares é o projeto das interfaces dos módulos construtivos, pois estas devem permitir as montagens dos produtos para os diferentes usos.

Para definir os módulos construtivos são adotados diversos critérios, como:

- um módulo pode ser formado pelo agrupamento de um conjunto de funções por meio das quais se tem um fluxo dominante, do início ao fim do sistema. Os fluxos são de energia, material ou de sinais;
- é recomendado que o conjunto de funções que realizam ramificações de fluxos seja reunido em um único módulo;
- um par de funções que realiza uma transformação ou transmissão de um fluxo pode ser agrupado em um único módulo;
- o conjunto de funções que são comuns nas diversas estruturas funcionais pode ser agrupado em um módulo básico ou, também, em um módulo plataforma;
- quando uma função ou grupo de funções é único em uma variante de uso do produto, estas podem ser agrupadas em um módulo especial;
- quando as soluções desenvolvidas para uma função ou grupo de funções têm a possibilidade de tornarem-se obsoletas é recomendável que a função ou o grupo seja construído em um módulo, para mais tarde substituí-lo por um módulo de tecnologia atualizada;

- caso se deseje que um conjunto de funções ou detalhes da estrutura represente uma característica de desempenho ou de estética dos vários produtos modulares, pode-se reunir essas funções em um único módulo;
- quando um componente ou grupo de componentes apresenta alta taxa de falha, recomenda-se agrupá-los em um único módulo, o que facilita o diagnóstico, o teste e a manutenção do equipamento.

13.4.5 Projeto para segurança e responsabilidade civil

A segurança do produto, ao longo de seu ciclo de vida, torna-se cada vez mais importante. A equipe de projeto deve estar preocupada com possíveis riscos de acidentes na fabricação, no transporte, no uso, na manutenção e até no descarte e na reciclagem. Perigos de acidentes são vários, entre os quais: cortes; dilacerações; ferimentos graves devido a choques, acesso a elementos rotativos por membros, dedos, cabelos, roupas; choques elétricos; radiação eletromagnética ou nuclear; ferimentos do olho ou outras partes por estilhaços ou rebarbas; intoxicações por gases e líquidos dos processos de fabricação e usados no produto; incêndios; ruídos; explosões, etc.

Havendo possibilidade de acidente, estas devem ser eliminadas. Se não for possível eliminá-las, então deverão ser tomadas todas as providências para minimizar seus efeitos e, também, preparar-se para possíveis litígios no caso de haver danos pessoais ou de bens materiais dos usuários. Para reduzir a possibilidade de ser culpado em um processo de responsabilidade civil, o projetista deve assumir posturas como as listadas a seguir, em ordem decrescente de importância:

- eliminar os perigos do projeto do produto;
- quando não puderem ser eliminados, prover guardas ou proteções que evitem a exposição das pessoas aos perigos;
- se acidentes são possíveis, projetar o produto ou prover dispositivos de forma que injúrias sérias sejam pouco prováveis;
- avisar o usuário sobre os riscos no uso do produto;
- treinar os usuários para evitar acidentes no caso de uso ou manutenção do produto.

Para alcançar esses objetivos – projetar produtos mais seguros e estar preparado para possíveis litígios, no caso de ocorrerem acidentes pessoais ou danos materiais – adotam-se princípios de projeto que se assemelham ou se superpõem, em parte, aos princípios apresentados no item de projeto para uso. Uma visão simplificada desses princípios é:

1. Projetar o produto livre de falha deve ser o ideal da equipe de projeto.
2. Admitir que os usuários poderão cometer erros na operação do produto. Esses erros não deveriam provocar acidentes. Para minimizar esses erros, a relação entre os usuários e o produto deve ser projetada de tal forma que seja de fácil e agradável uso, sem provocar cansaço, dentro de suas capacidades físicas e de conhecimento.
3. Arranjar os controles e comandos do equipamento de modo que o operador não precise se reposicionar ou se colocar numa posição desconfortável para vê-los ou acioná-los e não se fira ao encostar em outras peças.
4. Prover anteparos e proteções a lâminas cortantes ou elementos semelhantes. Os tipos de proteção também devem ser previstos em mecanismos de transmissão e outras partes móveis, com movimentos de rotação e alternativos. Para evitar litígios na ocorrência de acidentes, o projetista deve incorporar dispositivos de segurança, do estado da arte técnica e economicamente viáveis.
5. Prevenir perigos de acidentes nas atividades de serviço, manutenção e reparo, deixando livre e fácil o acesso às peças reparáveis ou de reposição, sem interferir em outros componentes ou submontagens.
6. Projetar folgas entre partes móveis e fixas, de modo que não ocorra cisalhamento ou amassamento de dedos ou mãos do operador.
7. Prover os equipamentos eletroeletrônicos com o devido aterramento e/ou bloqueios de circuitos com voltagens que possam provocar injúrias.
8. Usar materiais de alta resiliência ou resistentes ao impacto em produtos que podem sofrer choques ou cair e, assim, estilhaçar-se em pedaços cortantes ou com pontas perfurantes ou, ainda, em pedaços muito pequenos e com risco de serem ingeridos por crianças.
9. Evitar o uso de materiais tóxicos ou inflamáveis nas peças, nos revestimentos e em fluidos ou gases que possam vaziar. Caso seja inevitável, devem ser previstos dispositivos de detecção e alarmes.

10. Evitar situações em que o usuário esteja sujeito a elevados e prolongados esforços, movimentos repetitivos, ruídos, vibrações, temperaturas elevadas ou baixas, que provoquem traumas acumulativos.
11. Usar sinais de operação e avisos de perigos visíveis, claros, de bom contraste e duráveis.
12. Os manuais de operação e de manutenção devem ter sessões destacadas com informações de segurança nos procedimentos de uso, manutenção e descarte do equipamento.
13. A equipe de projeto deve manter registros de todos os testes realizados, problemas ocorridos no campo, reclamações de usuários que se relacionam à segurança e de ações corretivas adotadas para resolver esses problemas. Deve dar preferência a soluções e procedimentos normalizados. Essas providências podem ser extremamente importantes na preparação de defesas em litígios devido a acidentes pessoais ou danos materiais.

13.4.6 Projeto para a normalização

Normas são referências resultantes de escolha coletiva para servir de base a entendimentos repetitivos e fixam definições, características, dimensões, qualidades, métodos de ensaio, regras de utilização, diretrizes de cálculo, terminologias etc. A normalização em seu sentido mais amplo engloba as seguintes atividades: elaboração de normas, pesquisa e desenvolvimento para validação de normas, aplicação de normas, formação de pessoal, controle e certificação de qualidade, ensaios, metrologia e serviços de calibragem. Os níveis de normalização são internacionais (ISO), regionais, nacionais (ABNT) e empresariais.

As normas empresariais referem-se a produtos específicos e operações. Nelas, têm-se as de desempenho do produto, de materiais, componentes semi-acabados, componentes normalizados, de fornecedores, de processos de fabricação, métodos de computação, desenho etc.

As principais vantagens que a normalização oferece são:

- redução dos custos de projeto, pois já se dispõe das informações correspondentes;
- redução de custos de manufatura, uma vez que os planos de fabricação e montagem, os equipamentos de fabricação e o pessoal treinado já existem;

- menor número de partes no produto, menor diversidade na compra de componentes e de materiais e menores custos associados;
- custos de armazenagem, embalagem, manipulação e transporte menores;
- economia na elaboração de folhetos técnicos, propaganda e listas de preços;
- maior precisão na fabricação, confiabilidade e segurança pela utilização de tecnologias experimentadas;
- maior disponibilidade e intercambiabilidade de partes ou componentes;
- redução do tempo de entrega do produto;
- maior qualidade e sua manutenção.

Para alcançar esses benefícios da normalização, devem ser adotados certos procedimentos e princípios de solução, especialmente nas fases iniciais de projeto do produto:

1. Usar peças normalizadas.
2. Aquisição de peças que tenham sido produzidas em grandes lotes.
3. Projetar produtos em tamanhos seriados para reduzir custos de desenvolvimento, evitando projetos especiais quando a mesma função deve ser atendida com capacidades diferentes.
4. Adotar o projeto modular que permita o atendimento a um número maior de consumidores com menor número de componentes ou montagens.
5. Adotar a tecnologia de grupo para reduzir custos de projeto e manufatura.
6. Adotar dimensões normalizadas para evitar a utilização de ferramentas não-normalizadas na fabricação, montagem e manutenção.
7. Utilizar tolerâncias normalizadas.

13.4.7 Projeto para teste

Teste é um processo que consome muitos esforços; o desenvolvimento ou aquisição do equipamento de teste requer considerável tempo e recursos em alguns produtos. A preocupação com o processo, desde o início do desenvolvimento, leva à escolha de soluções que minimizam os custos de desenvolvimento ou de aquisição dos equipamentos, bem como os es-

forços de teste ao longo das várias fases do ciclo de vida do produto. O ponto de partida é o estabelecimento de um entendimento comum entre os membros da equipe, todos os departamentos funcionais da empresa e os usuários internos ou externos sobre os requisitos do produto, os testes e métodos a realizar, como inspecionar e diagnosticar o desempenho, as categorias ou amostras para ensaios e equipamentos disponíveis ou a construir. Com esse entendimento a equipe pode iniciar efetivamente o projeto do produto, a inspeção e o teste de forma paralela.

Os requisitos de aceitação do produto são estabelecidos a partir das necessidades dos usuários do projeto e do produto, ou seja, são os atributos descritos no Capítulo 5 e no presente capítulo. Se o valor ou meta de um atributo é estabelecido, deve-se de imediato verificar se tal avaliação é possível, como e com que método, e até prover pontos ou formas de fixação de sensores.

Os ensaios podem ser efetuados em modelos analíticos, modelos físicos de partes ou do todo para ensaios de desempenho, ergonômicos e de estética, em protótipos ou amostras de equipamentos e mesmo em equipamentos desativados, dependendo da fase de desenvolvimento ao longo do ciclo de vida do produto.

Devido ao aumento da complexidade e da sofisticação dos produtos, à redução necessária do tempo de lançamento nos tempos atuais de alta competitividade, a área de conhecimento de inspeção para diagnóstico de desempenho e de testes de avaliação do produto tornou-se muito importante, criando inclusive o conceito de projeto para teste de avaliação. Para alcançar esses objetivos é necessário entender e aplicar certos princípios de projeto, como os listados a seguir:

1. Utilizar representações de dimensionamentos geométricos e tolerâncias de modo a evitar interpretações ambíguas no controle da fabricação.
2. Especificar parâmetros e tolerâncias do produto dentro dos limites de capacidades dos processos de fabricação.
3. Prover pontos de teste, acessos e conexões a esses pontos.
4. Prover capacidades para autoteste do produto.
5. Normalizar conexões e interfaces para facilitar o uso de equipamentos de teste e conectores normalizados, reduzir, assim, esforços de ligações e ajustes durante a realização dos testes.

6. Garantir a compatibilidade entre o produto e o equipamento de inspeção e teste.
7. Prover capacidades para automação dos testes.
8. Prover capacidades para instalação de testes embutidos para diagnósticos e testes de avaliação de desempenho.
9. Projetar modularização física e/ou elétrica do produto, para facilitar testes e isolamento de falhas de módulos ou submontagens.

13.4.8 Projeto para manufatura

Projeto para manufatura é uma sistemática na qual se procura projetar o conjunto de componentes que irá compor o produto, de forma a simplificar a fabricação, obter a precisão necessária, com os menores custos. Nesse método, adota-se um procedimento iterativo no qual, tendo a forma aproximada e o material do componente, seleciona-se o processo de fabricação que melhor atende às especificações do mesmo. Nesse procedimento, são considerados os fatores de forma da peça, material selecionado, precisão, acabamento superficial, número de peças a serem produzidas e custo, sua compatibilidade com as capacidades dos processos estudados.

Projeto para manufatura é um domínio de conhecimento geralmente tratado em conjunto com a seleção do material e com o problema da montagem dos componentes no produto como um todo. O número de processos de fabricação é elevado e, como exemplos, tem-se: diversos processos de usinagem; fundição; forjamento; conformação de chapas; moldagem por injeção; soldagem; peças fabricadas pela metalurgia do pó; diversos tratamentos superficiais etc. O número de materiais e formas da matéria-prima é ainda maior. Cada material tem seu processo mais apropriado para fabricação e para cada processo tem-se formas mais apropriadas para as peças, bem como, o correspondente lote de produção mais econômico. Dessa forma, havendo possibilidades de variantes de formas dos componentes, alternativas de materiais e de processos de fabricação a serem usados, o domínio de conhecimento do processo de projeto para a manufatura é amplo e complexo, exigindo um estudo sistematizado para se chegar à solução da peça com o melhor custo e qualidade.

Cada processo de fabricação requer características próprias de forma, dimensões, precisão e materiais, surgindo assim na literatura, conforme

Boothroyd, Dewhurst e Knigth (1994), proposições de métodos tais como: projeto para usinagem; projeto para fundição; projeto para moldagem por injeção e dezenas de outros processos. Como consequência, as recomendações e princípios de projeto para a manufatura são em grande número. A seguir, algumas de caráter mais geral:

1. Simplificar o projeto e reduzir o número de partes – quanto mais simples forem as peças, menor é o número de operações de processamento, menor é o número de fixações na mesma máquina ou em máquinas diferentes; quanto menor for o número de componentes, menores serão as oportunidades de erros de fabricação, de montagem, menos manipulações serão necessárias e maior será a confiabilidade do produto.
2. Normalizar peças e materiais usados – normalização de peças e materiais reduz o número de processos diferentes a selecionar, facilita as atividades de projeto, reduz o número de diferentes operações de manipulação e montagem; um número menor de tipos de peças e materiais reduz inventários, aprendizado de operadores e custos, aumenta a qualidade de fabricação e as oportunidades de automação.
3. Projetar para facilitar a fabricação – selecionar processos de fabricação compatíveis com os materiais escolhidos e com os volumes de produção. Como exemplos para o caso de usinagem recomenda-se: para volumes de produção maior, considerar processos de estampagem e de fundição para reduzir usinagem; usar peças pré-moldadas e pré-forjadas com formas mais próximas da forma final para reduzir a usinagem; projetar para simplificar dispositivos de fixação e gabaritos; evitar cantos vivos, ranhuras e furos profundos e de pequeno diâmetro que levam à ruptura das ferramentas e das peças usinadas; evitar conicidades e contornos curvos em favor de formas retangulares; projetar peças com superfícies usinadas no mesmo plano ou de mesmo diâmetro para reduzir o número de operações; projetar peças para as quais se podem usar ferramentas normalizadas etc.
4. Projetar dentro dos limites de capacidades dos processos de fabricação a fim de evitar processos adicionais para atender a requisitos de precisão e acabamentos superficiais – o projetista deve conhe-

cer as capacidades dos processos e estabelecer os processos de controle; precisa adequar o projeto aos limites normais de tolerâncias de modo a eliminar inspeções e controles posteriores.

13.4.9 Projeto para montagem

A montagem compreende um conjunto de operações realizadas durante e após o processo de fabricação, envolvendo a associação de peças ou conjuntos de peças para a obtenção do produto final. Na montagem, uma peça deve ser identificada, captada, movimentada, orientada, introduzida, fixada e ter controlado seu posicionamento final. Como já foi dito no item anterior, a fabricação e a montagem devem ser examinadas em conjunto porque as recomendações de projeto para facilitar essas duas atividades podem ser conflitantes em alguns casos. Dessa forma, deve-se adotar uma solução de compromisso para que se obtenha um custo total menor e garantia de qualidade. Que a montagem seja manual ou automática também deve ser levada em conta ao projetar a peça e escolher o processo de fabricação, pois, se esta é apropriada para a montagem automática, também será apropriada à operação manual. Tendo em mente essas considerações iniciais, princípios gerais de projeto dos componentes são apresentados a seguir visando facilitar a montagem:

1. Reduzir os custos de montagem, minimizando o número de peças, variedade de peças, utilização de ferramentas especiais, distâncias de movimentação e movimentos complexos. Para obter esses efeitos, recomenda-se que sejam adotados os seguintes princípios de projeto:
 - projetar peças com múltiplas funções, o que geralmente requer maiores custos de fabricação;
 - utilizar módulos de submontagens;
 - montar em espaços abertos, não em espaços confinados, e não fora da vista ou do acesso direto de manipuladores;
 - prever a montagem de peças, de cima para baixo ou em uma única direção, sobre uma base ou plataforma que não deva ser reorientada, de massa relativamente grande e de baixo centro de gravidade;
 - minimizar o uso de ferramentas diferentes ou especiais, de dispositivos e gabaritos de montagem;

- projetar os componentes visando à automação do processo de montagem, pois o que facilita o processamento automático torna fácil a operação manual.
2. Facilitar o armazenamento ou empilhamento de peças em preparação para montagem:
 - prever que as peças, ao saírem do processo de fabricação, sejam empilhadas com facilidade em uma única posição;
 - ou, como é muito comum na indústria eletrônica, sejam fabricadas em tiras quando estampadas a partir de chapas ou em grupos, no caso da moldagem por injeção, para simplificar a alimentação em montagens automáticas.
 3. Facilitar a manipulação dos componentes. Isso requer que os componentes a serem montados devam ser identificados, captados, orientados e movimentados até a posição de inserção. Para que esse procedimento seja facilitado, adotam-se os seguintes princípios de projeto:
 - as peças devem ser projetadas para auto-orientarem-se quando alimentadas no processo;
 - projetar para que os componentes não venham a emaranhar-se, encunhar ou desorientar-se na alimentação. Isso facilita a automação na manipulação de partes por mesas vibratórias, em tubos e magazines;
 - conceber peças com simetria em ambos os eixos do plano de inserção. Não sendo possível essa simetria, deve-se então acentuar a assimetria para garantir a correta inserção ou, então, introduzir um detalhe que possibilite a fácil identificação da orientação;
 - peças com detalhes pouco aparentes e que requeiram uma determinada orientação de inserção devem ser providas de detalhe ou superfície de guia externo, para facilitar a correta orientação;
 - em peças semelhantes, pela forma, ou de materiais diferentes, recomenda-se diferenciar pela cor ou outro recurso para não haver erros na montagem;
 - as peças devem ser projetadas com superfícies que sejam facilmente agarradas, posicionadas e fixadas. O ideal é adotar superfícies planas, paralelas, que permitam a captação por uma pessoa ou pela garra de um robô;

- minimizar peças finas e planas, ou muito pequenas, que requeiram ferramentas especiais, como pinças para manipular e orientar na montagem;
 - evitar partes com cantos vivos, pontas, arestas cortantes ou rebarbas que possam machucar pessoas, danificar outras peças ou o produto como um todo e, ainda, peças que possam ser facilmente danificadas ou quebradas;
 - não adotar peças pesadas que possam ferir e fatigar o montador e aumentar o tempo de montagem;
 - evitar partes escorregadias, oleosas, com adesivos ou flexíveis que dificultem a manipulação;
 - na compra de componentes, procurar adquirir materiais já orientados em fitas, tiras ou magazines.
4. Facilitar a inserção e a fixação dos componentes. Algumas recomendações que facilitam a inserção ou acoplamentos e a fixação das peças são as seguintes:
- utilizar guias de inserção tais como ranhuras, chanfros e superfícies cônicas;
 - inserir as peças verticalmente, de cima para baixo, empilhadas, fixadas pela ação da gravidade e sem necessidade de fixações provisórias;
 - prever fixações pela utilização de engates rápidos;
 - evitar o uso de parafusos ou minimizar bitolas diferentes;
 - garantir espaço suficiente para colocação de elementos de fixação e para os movimentos das ferramentas;
5. Prever o controle de posicionamento final na montagem, garantindo o fácil acesso com instrumentos de medida, e evitar desmontagens para efetuar esse controle.

13.4.10 Projeto para embalagem

A adequação do produto para a embalagem é um atributo importante que deve ser considerado desde o início do projeto e ao longo do ciclo de vida. A embalagem tem funções para o transporte, proteção, armazenamento e exposição. O transporte e armazenamento ocorrem nas fases de fabricação, distribuição, uso, caso seja portátil, manutenção e descarte.

A embalagem cria e melhora a imagem do produto, sendo um fator de mercado, e tem um impacto considerável sobre o custo. O projeto para embalagem é influenciado por requisitos de marketing, de manufatura, de inventários, transporte e de armazenamento. Os requisitos a ser considerados no projeto para a embalagem são:

- materiais da embalagem: quanto aos materiais considera-se: tipo usado; resistência; densidade; volume; custo; custo de processamento; deposição do material; reutilização etc.;
- testes da embalagem: quanto aos ensaios de embalagens, dependem de: tipo de produto; uso; níveis de choques ou quedas; umidade; resistência a temperaturas baixas ou altas; resistência a tensão, pressão, compressão e corrosão; níveis de proteção necessários ou danos admissíveis; e fragilidade do material;
- características da embalagem: são consideradas as seguintes características: forma, dimensões e módulos; custo total da embalagem; históricos de perdas e danos; especificações da embalagem; fatores internos e externos da embalagem; facilidades de abertura, fechamento e reutilização; facilidade de movimentação de carga; identificação da embalagem; perda de espaço no empilhamento; relação peso/proteção ou eficácia da embalagem;
- requisitos funcionais da embalagem: os principais são: transporte; armazenagem; facilidade de movimentação; inventário; requisitos de expedição; segurança contra intempéries e roubo; tempos de estocagem; índices de utilização de espaços em contêineres e paletes;
- modos de transporte: neste caso, para os requisitos de projeto da embalagem podem-se listar os seguintes: meios de transporte aéreo, rodoviário, ferroviário e marítimo; dimensões e capacidades limites desses meios; intempéries, vibrações e acelerações nesses meios; tempos de transporte, de entrega e distâncias; número de transportadores e transbordos; facilidades de carga e descarga; contratos de transporte; salários, custos de transporte por peso ou por volume, custos de armazenagem; taxas de câmbio e riscos de cargas perigosas.

Como observado, os requisitos de projeto para otimizar ou facilitar a embalagem e o transporte são muitos, tornando-se uma tarefa complexa.

Considerando diversidade e formas de materiais, diferentes modos de transporte, as mais variadas facilidades de carga e descarga, condições ambientais de transporte e armazenagem e a infinidade de produtos, seria possível elaborar uma lista infindável de orientações de projeto de embalagens para transporte. Assim, na seqüência, apresenta-se uma lista limitada de princípios genéricos de projeto para embalagem e transporte de produtos:

1. A embalagem deve, em termos de forma, tamanho, estrutura e resistência, permitir o atendimento apropriado e rápido de pedidos do produto.
2. Projetar embalagens de alta densidade, o que resulta em menores taxas de transporte e menor utilização de espaços na armazenagem.
3. Levantar em consideração os recursos físicos disponíveis de armazéns, expedição e movimentação manual ou mecanizada de cargas.
4. Havendo necessidades especiais de movimentação e transporte de cargas, esses recursos devem ser projetados de forma integrada ao projeto do produto e da embalagem.
5. Adequar o projeto do produto para movimentação fácil e simples por empilhadeiras, em unidades, como no caso de paletes.
6. Facilitar o fechamento, abertura, reutilização e identificação da embalagem e promover maior satisfação de uso.
7. Projetar o produto e a embalagem de modo a otimizar a ocupação de espaços no empilhamento em armazéns, containerização, paletização, carrocerias e vagões.
8. Considerar as dimensões de espaços e prateleiras em lojas e departamentos de venda a varejo para que o produto possa ser exposto de forma a atrair o consumidor.
9. Dotar o produto e a embalagem de características ergonômicas adequadas para as operações de armazenagem, desembalagem e movimentação em cargas e descargas.
10. Facilitar ao máximo a manipulação durante a fabricação, a montagem, estocagem e o transporte.
11. Adotar soluções que melhorem a identificação e a distribuição para reduzir erros no inventário.

13.4.11 Projeto para uso amigável

Na literatura, encontram-se muitos termos para tratar do atributo que expressa a qualidade do produto para uso. Entre essas denominações tem-se: projeto ergonômico; fatores humanos no projeto; projeto para operação; e projeto para uso. Fatores humanos no projeto referem-se ao desenvolvimento de produtos fáceis de entender, seguros no uso e apropriados às condições físicas do homem. A ergonomia tem sido definida como a disciplina que estuda os aspectos relacionados à harmonia entre os produtos e as pessoas que os usam, ênfase a fatores físicos do usuário do produto: alcance aos controles e comandos; forças requeridas; temperaturas; vibrações; acelerações; ruídos; cognição; tensões e danos ao usuário.

O projeto para uso amigável é o termo mais apropriado e mais amplo, uma vez que compreende a fácil operação, a obtenção de resultados confiáveis no uso inicial e repetitivo e a satisfação com o desempenho do produto. Esse conceito é particularmente importante quando o usuário não é um especialista na sua operação. Um produto amigável deve melhorar ou ampliar as capacidades humanas, maximizar a utilidade do produto, melhorar a eficiência, a segurança e o conforto.

As metas do projeto para uso podem ser medidas pelas seguintes variáveis:

- tempo curto de aprendizado para operação ou uso do produto;
- acomodação de todos os usuários;
- minimizar tensões e danos pessoais com o uso repetido, excesso de esforços em posições desconfortáveis;
- velocidade de operação;
- taxa baixa de erros do usuário;
- máxima facilidade de uso;
- satisfações subjetivas do usuário.

Quando se fala em acomodar todos os usuários, isso significa atender indivíduos com diversidades físicas, capacidades cognitivas e de percepção e diferenças de personalidade. Devem ser consideradas essas diferenças individuais ao longo das idades, ou seja, o produto deve ser amigável ao uso transgeracional.

Uma metodologia de projeto para uso amigável deve englobar uma análise do usuário, análise da tarefa a executar e a biomecânica envolvida.

A análise do usuário é a investigação dos futuros usuários primários e ocasionais, interessados na operação do produto. Nessa análise devem ser consideradas as formas de interfaciar com o produto para tornar amigável o uso pelos diferentes usuários.

Na análise da tarefa devem ser revisadas as ações humanas necessárias para operar o produto. A operação é desdobrada em tarefas e subtarefas e cada uma é analisada em termos de força muscular, frequência de aplicação, posturas, informações necessárias, processo mental, ações que devam ser tomadas e as condições do meio ambiente no entorno.

A biomecânica é uma área multidisciplinar em que se combinam os conhecimentos de física, engenharia, medicina e psicologia para analisar os esforços atuantes nos membros e juntas do usuário, durante as atividades na operação e em repouso. A biomecânica envolve procedimentos quantitativos, utilizando princípios estáticos e dinâmicos, quantificando movimentos, forças, tensões e fadiga corporal, medindo acomodações e ajustes e avaliando conforto.

Para desenvolver um produto amigável ao uso, adotam-se a metodologia acima exposta e uma série de princípios de projeto, os quais apresentam certas superposições com aqueles adotados para outros atributos. Por exemplo, certos princípios que melhoram o uso também melhoram a produtividade, a segurança, a manutenção e a aparência do produto. Princípios típicos recomendados no projeto para o uso amigável são:

1. Ajustar o produto ao usuário: a operação do produto deve se ajustar aos usuários física e mentalmente. Deve-se adaptar às experiências anteriores em operações similares aos hábitos, às atividades de lazer, aos diferentes níveis de conhecimentos especializados e gerais dos usuários. Fisicamente, a interface entre usuário e produto deve-se ajustar em termos de dimensões e arranjos dos controles, das forças, velocidades, direções de movimento etc.
2. Simplificar as tarefas: as operações de controle devem ser diretas e constituídas por um número mínimo de passos, com o mínimo de planejamento, resolução de problemas, processamento de informações e tomadas de decisão.
3. Tornar as ações lógicas: os arranjos e os movimentos de controles e acionamentos devem simular os movimentos de equipamentos sendo projetados. Comandos como alavancas, botões, diais, inter-

ruptores, teclas e pedais que alteram o modo e nível de estados do produto precisam estar próximos dos mecanismos e com acionamentos similares aos mesmos.

4. Utilizar restrições: projetar os controles de forma que movimentos ou seqüências incorretos não sejam possíveis.
5. Prover retroalimentação de ações de comando: a todas as ações de acionamento de comandos devem corresponder sinais ou movimentos que indiquem ao usuário como o produto opera.
6. Projetar bons mostradores: mostradores claros, visíveis, legíveis, fáceis de interpretar, lógicos e de convenções familiares ou normalizadas são importantes para o fácil uso do produto.
7. Antecipar erros humanos: erros humanos são prováveis, e os projetistas devem reconhecer que, cedo ou tarde, o usuário vai operar de forma incorreta. Erros de transmissão de informações, distrações, vícios, não leitura ou acompanhamento de instruções levam a operações falhas. Soluções livres de falhas ou que minimizem a ocorrência de erros devem ser concebidas.
8. Evitar posições e movimentos inadequados ou limites para o usuário: manter pulsos retos, cotovelos na posição inferior, minimizar flexões e torções e minimizar movimentos da coluna são algumas preocupações do projetista.
9. Normalizar soluções: uma forma de utilizar os conhecimentos dos usuários e de outros que tenham relações com o produto é normalizar arranjos e as concepções em produtos, pelo uso de normas internacionais, nacionais ou da própria empresa. Soluções normalizadas, quando aprendidas pelo usuário, tornam o uso amigável.

13.4.12 Projeto para confiabilidade

Confiabilidade tornou-se um dos principais atributos de sistemas técnicos complexos e altamente competitivos, principalmente aqueles com grande quantidade de componentes, entre eles, aviões computadores, sistemas de comunicação, automóveis e até instrumentos de medição simples e equipamentos eletrodomésticos.

A confiabilidade é definida como a probabilidade de um sistema ou produto desempenhar a função de forma satisfatória, por um determinado

período de tempo, quando operado sob especificadas condições de operação. Como se observa, são destacados quatro elementos nessa definição: probabilidade, desempenho satisfatório, tempo e condições especificadas de operação.

Probabilidade é uma fração ou porcentagem que especifica o número de vezes que um evento ocorre num determinado número de tentativas. Desempenho satisfatório indica que se deve estabelecer um critério definindo o que se entende por operação satisfatória do equipamento. O terceiro elemento, o tempo, é importante porque representa uma medida durante a qual o sistema deve operar segundo o especificado. Por fim, as condições sob as quais o sistema ou produto deve operar: temperatura, vibrações, umidade, choques, localização geográfica, níveis de capacidades dos técnicos de operação e manutenção, entre outras.

Como medidas de confiabilidade destacam-se a função de distribuição da confiabilidade ao longo do tempo, a taxa de falha e o tempo médio entre falhas. Para se conseguir a otimização da confiabilidade de um produto, recomenda-se adotar os seguintes princípios de projeto:

1. Simplificar o projeto ao máximo sem prejudicar o desempenho da função, o que vem em benefício da confiabilidade. Concepções complexas e tecnologias sofisticadas levam, em geral, a problemas de confiabilidade na operação.
2. Melhorar a confiabilidade individual dos componentes, o que eleva a confiabilidade do produto como um todo.
3. Adotar, quando possível, componentes normalizados com confiabilidade comprovada, em vez de projetar componentes especiais.
4. O produto pode ser projetado com redundâncias, o que faz o mesmo continuar a operação no caso de um componente primário falhar. Isso geralmente leva a concepções mais complexas para incluir circuitos com essas redundâncias.
5. Reduzir a taxa de utilização de componentes críticos, melhorando assim a confiabilidade do produto.
6. Adotar ações para reduzir os efeitos negativos ao meio ambiente no qual o produto irá operar. Entre essas medidas preventivas tem-se o isolamento de fontes externas de calor, vedação contra a umidade e uso de blindagens contra radiações eletromagnéticas e eletrostáticas.

7. Prevenir falhas por fadiga evitando pontos de concentração de tensão e de corrosão.
8. Evitar o uso de parafusos auto-atarraxantes, que se afrouxam quando submetidos a vibrações. Quando é necessária a utilização de parafusos, deve-se usá-los com segurança contra o afrouxamento ou com arruelas de pressão.
9. Prover a proteção do produto com fusíveis, pinos de segurança e rupturas de circuitos. Esse procedimento protege os componentes críticos do produto, e a manutenção torna-se mais simples e rápida pela troca dos componentes danificados.
10. Identificar os componentes que mais falham e dar prioridade à melhora da confiabilidade destes, em vez de outras partes.
11. Prever possíveis erros humanos ou operações e manutenções inadequadas do equipamento.
12. Projetar o sistema para melhorar a manutenibilidade, o que leva à melhora da confiabilidade.
13. Prever ações para reduzir efeitos de expansões térmicas e de sobre-aquecimentos que reduzam a vida de componentes eletrônicos.
14. Projetar os componentes ou o produto de forma a facilitar testes de vida útil dos mesmos.

13.4.13 Projeto para inspeção

Projetar para a fácil inspeção é uma necessidade dos usuários, os quais requerem qualidade e segurança ao longo das diversas fases do ciclo de vida do produto. A facilidade de inspeção é especialmente importante na manufatura, montagem, instalação e manutenção. A inspecionabilidade na manufatura permite um rápido e preciso monitoramento do processo de fabricação e, em serviço, uma rápida e precisa determinação de deteriorações da estrutura ou função, garantindo um uso seguro. Havendo falta da facilidade de inspeção, o projetista é forçado a adotar soluções livres de falha, o que, às vezes, leva a resultados muito conservativos, elevando o custo e, com frequência, reduzindo o desempenho na função.

Como se observa, o requisito de uma fácil inspeção resulta da necessidade de detecção de não-conformidades do produto quanto ao desempenho de sua função e uso, ou seja, a ocorrência de falhas, defeitos ou

erros. Não-conformidades ou defeitos podem ser identificados pela aplicação de métodos de análise de modos de falha e efeitos. Como exemplos de falhas tem-se: falta de componente; componente fabricado com falhas ou imprecisão; dano do componente; componente posicionado de forma incorreta, posição relativa ou invertida e, união ou fixação inadequada do componente.

Ocorrendo um defeito inicia-se o processo de sua detecção, examinando-se o componente e o local do evento, de forma a observar, documentar e caracterizar esse defeito. O que ajuda nesse processo de detecção é o exame de históricos de defeitos, modos de falhas, experiência anterior e a verificação da documentação de fabricação, montagem, operação e manutenção. A detecção dos defeitos deve ser efetuada primeiramente por métodos não-destrutivos e, em seguida por métodos destrutivos. Deve ser feita uma análise visual externa de marcas e indicações por meio de instrumentos de medição de temperatura, vazamentos, vibrações, varredura de ruídos, energia infravermelha, testes elétricos diversos etc.

Os tipos de defeitos, os procedimentos e instrumentos adotados e os princípios de projeto para facilitar a detecção são bem variados. Na seqüência são apresentados uma sistematização de tarefas e alguns princípios de projeto adotados para tornar mais fácil o processo de detecção de defeitos de componentes em um equipamento.

1. Ajustagem do produto – os fatores que afetam o desempenho nessa tarefa são: as instruções disponíveis, a precisão na lista de defeitos, a calibragem e a capacidade do equipamento. Para facilitar essa tarefa podem-se projetar pontos para testes funcionais do produto.
2. Apresentação do defeito – como fatores que auxiliam nessa tarefa tem-se: o acesso ao defeito, a localização das áreas a inspecionar e a maneabilidade do produto. Como princípios de projeto que facilitam essa atividade tem-se, por exemplo: garantir que o componente que pode falhar esteja à vista ou colocado o mais externamente ao produto, com acesso rápido e sem a necessidade de muitas desmontagens; subdividir painéis que devem ser inspecionados em áreas de reconhecimento visual lógico fácil e que partes, submontagens ou o produto como um todo possam ser movimentados para a inspeção. Tomando o exemplo do automóvel, vários meios de inspeção permitem verificar o estado de operação: abrindo-se o capô pode-se ver com facilidade o nível de água de refrigeração do

motor, de limpeza do pára-brisa e o nível de óleo de freio, pelo uso de reservatórios de plástico transparentes. Ligando a chave de ignição acendem-se várias luzes e movimentam-se ponteiros no painel, indicando a existência de lubrificação do motor, o fechamento das portas, se o cinto de segurança está sendo utilizado e tantas outras indicações.

3. Pesquisa do defeito – os fatores que afetam o desempenho dessa tarefa são: a forma visual que depende do tamanho do defeito, contraste do defeito com campo no entorno, complexidade do campo, iluminação e acuidade periférica; estratégia de pesquisa, se é aleatória ou sistemática; e o tempo fixado ou disponível para a pesquisa. Para facilitar essa pesquisa, soluções de projeto típicas são: uso de códigos, diferenciações e contrastes por cores para identificar componentes faltantes ou danificados; utilização de componentes simétricos ou de grande assimetria para evitar posicionamento reverso; e uso de arranjos seqüenciais ou lógicas para facilitar a conferência da seqüência ou existência de peças.
4. Tomada de decisão – para essa atividade deve haver formas e critérios para discriminar um estado de defeito ou não. Um estado de defeito pode ser diferenciado de diversas formas: pela existência do padrão, pela comparação do componente defeituoso com o padrão, e pela existência dos inúmeros ruídos ou discrepâncias do sistema, do meio ambiente ou de natureza humana. Os critérios adotados para diferenciar estados defeituosos de não-defeituosos são: probabilidade de defeito, custo ou valor de aceitação, custo ou valor de rejeição e custos ou probabilidades percebidas.
5. Ação objeto da inspeção – uma vez concluída a tarefa de tomada de decisão, executa-se a ação objeto da inspeção que pode ser de diversas naturezas: verificação da precisão de fabricação e de montagem das peças, execução de serviços de lubrificação e adição de consumíveis e reparação ou substituição de peças danificadas, desgastadas ou falhas.

13.4.14 Projeto para manutenibilidade

Mantenabilidade é um atributo inerente ao projeto do sistema ou do produto. Refere-se ao desempenho fácil, preciso, seguro, rápido e econô-

mico na função de manutenção. A manutenção é considerada de dois tipos: manutenção corretiva e preventiva. Este atributo é avaliado por medidas como: tempos máximos de parada para manutenção, tempos médios de manutenções, frequências de manutenções, tempos médios entre manutenções ou reparos, horas e capacidades de mão-de-obra para manutenção, custos e outros recursos e facilidades necessários.

A manutenibilidade pode ser definida, segundo Chen (2003), como medida de habilidade de que um item seja mantido ou restaurado para uma especificada condição, quando a manutenção é realizada por pessoal com especificadas capacidades, usando procedimentos e recursos prescritos a cada nível de manutenção e reparo.

Falhas em equipamentos são inevitáveis mesmo sendo construídos com alta confiabilidade. A habilidade de restaurar eficazmente para o seu estado de pleno uso é um atributo cada vez mais importante na atualidade. Para alcançar esses benefícios certas orientações de projeto para manutenibilidade devem ser adotadas:

1. Conceber características funcionais e físicas as mais simples possíveis. Complexidade no projeto tem um efeito direto sobre os custos de produção e manutenção. Reduzir o número de componentes, sub-montagens e até redundâncias ajuda a diminuir o nível de habilidades necessárias dos técnicos e os requisitos dos equipamentos e ferramentas de manutenção.
2. Prever espaços adequados para o acesso visual e para atividades de manipulação, incluindo a montagem e desmontagem necessária durante a inspeção, reparo e substituições de partes.
3. Adotar componentes normalizados para simplificar a manutenção, principalmente das peças que mais falham, pois estes são mais facilmente encontrados para a reposição.
4. Projetar partes modulares, pois módulos ou submontagens podem ser testados e reparados separadamente do produto como um todo.
5. Projetar para a fácil montagem e desmontagem – como consequência de um atributo de boa montabilidade, tem-se uma melhor manutenibilidade.
6. Prover um fácil diagnóstico de falhas e, também, de avaliação do estado de reparo. Um sistema projetado em módulos ou subsistemas que permitem o isolamento de falhas, desmontagem e reposição de partes, aumentará muito a manutenibilidade. O diagnóstico

pode ser melhorado introduzindo dispositivos de monitoramento do estado de funcionamento do sistema, alarmes ou sistemas de autoteste. Pontos de testes devem ser previstos para indicar ações de manutenção.

7. Prover identificações para evitar acidentes na manutenção em pontos de elevada tensão, alta temperatura, de peças em movimento, vazamentos à alta pressão e de substâncias tóxicas.
8. Redigir manuais de manutenção, isto é, fornecer instruções e procedimentos adequados.

13.4.15 Projeto para apoio logístico

O projeto para apoio logístico engloba todas as considerações necessárias para garantir o suporte efetivo, fácil e econômico de um produto ao longo do seu ciclo de vida. Para alcançar esses objetivos, desde o início do projeto a equipe deve ter em mente dois aspectos fundamentais: o primeiro é projetar o produto com as características que garantam um fácil e econômico apoio durante todo o ciclo de vida; o segundo é o projeto de todos os elementos do apoio logístico, para garantir que esses elementos sejam compatíveis com o produto e compatíveis entre si.

Os elementos de apoio logístico, que deverão ser desenvolvidos de forma integrada e compatível com o produto, são os seguintes:

1. Plano de manutenção – inclui o estabelecimento dos requisitos e o desenvolvimento do conceito de manutenção, o plano de compra e de aquisição dos itens de apoio necessários ao longo de todo o ciclo de vida do produto.
2. Suprimento de apoio – compreende peças de reposição e de reparo, consumíveis, *software*, equipamentos de teste, de transporte, de manipulação e de treinamento. Incluem também a provisão da documentação e do pessoal associados às funções de compra, fornecimento, distribuição, armazenamento de itens de reposição e de reparo, por nível e localização geográfica de manutenção.
3. Equipamentos de teste e de apoio – incluem todas as ferramentas, equipamentos de monitoramento de condições, de diagnóstico, de metrologia e de calibração necessários em manutenções preventivas e corretivas.

4. Equipamentos de transporte e de manipulação – incluem contêineres, equipamentos para embalagens, movimentação, armazenamento e, ainda, equipamentos para transporte do produto, dos instrumentos de teste e de apoio, das peças de reposição e reparo, do pessoal e dos materiais de manutenção.
5. Pessoal e treinamentos – necessários para instalação, verificação, operação, movimentação e manutenção do produto e equipamentos de teste e apoio.
6. Facilidades – necessárias para as funções de manutenção em todos os níveis e regiões geográficas. Essas facilidades incluem edificações e instalações fixas e móveis para a assistência técnica em diferentes níveis e para atividades de inspeção, de calibração e de recondicionamento.
7. Documentação – necessária para procedimentos de instalação, inspeção e calibração, informações sobre facilidades, instruções de operação e manutenção, desenhos, *software* e especificações para as funções de operação e manutenção.

13.4.16 Projeto para meio ambiente, reciclagem e descarte

O projeto para meio ambiente tem recebido, especialmente após o surgimento da norma ISO 14000, uma atenção grande e, com isso, desenvolveram-se muitas pesquisas e surgiram várias denominações para esse método de projeto, com a preocupação de minimizar os danos causados ao meio ambiente. Entre as diversas denominações relacionadas ao projeto para meio ambiente encontram-se: projeto para reciclagem; projeto para descarte; projeto para desmontagem; projeto para remanufatura; projeto para mínimo consumo de energia; projeto para sustentabilidade; e projeto para o fim de vida do produto. Entre essas denominações existem pequenas diferenças de enfoques, mas, em geral, o requisito fundamental é minimizar a utilização de recursos naturais, geração de resíduos, riscos à segurança e à saúde e a degradação ecológica.

A equipe de projeto, concentrada nessas preocupações ao longo de todas as fases de desenvolvimento, conseguirá produtos mais amigáveis e agradáveis ao meio ambiente e, portanto, mais competitivos. Na grande maioria dos casos consegue-se este objetivo utilizando-se de princípios simples de projeto:

1. Utilizar a mínima quantidade de materiais: menos material reduz o consumo de matéria-prima e de energia nos processamentos e leva a soluções mais leves e com menos probabilidade de falha.
2. Utilizar o mínimo de materiais diferentes: esta orientação permite economia no número de ambientes, no armazenamento de matéria-prima, minimiza as operações de desmontagens e de identificações na reciclagem.
3. Utilizar materiais e processos de fabricação que minimizem defeitos, cavacos e resíduos tóxicos.
4. Facilitar a desmontagem, evitando rebites, colas, soldas e materiais compósitos.
5. Adotar materiais e processos de fabricação que requeiram o mínimo de processamentos adicionais de revestimentos superficiais ou pinturas.
6. Avaliar o ciclo de vida do produto e adotar materiais e componentes com durabilidade e tecnologias compatíveis.
7. Adotar as tecnologias, materiais e soluções com o mínimo de razão de obsolescência.
8. Adotar soluções que resultem em módulos reutilizáveis, remanufaturáveis, recondicionáveis ou facilmente recicláveis.
9. Minimizar necessidades de embalagens para armazenamento e transporte.
10. Evitar materiais e processos que provoquem a corrosão e dificultem a limpeza e a desmontagem para o reparo, recondicionamento, remanufatura ou reciclagem de módulos ou componentes.
11. Facilitar a distinção entre processos de desmontagem destrutivos e não-destrutivos, bem como evitar a utilização de ferramentas especiais ou mão-de-obra especializada e em posturas desconfortáveis e demoradas.
12. Projetar o produto tendo em mente as seguintes perguntas: O que faz com que a remanufatura ou reciclagem de um produto se torne mais difícil que de outro? Quais são as operações de maior custo? O que torna a atividade econômica de reciclagem mais atraente? O que mais dificulta a desmontagem? Quais são as principais dificuldades na limpeza? Quais são as necessidades ou as dificuldades na inspeção? O que mais dificulta no reparo, remanufatura ou recondicionamento? O que torna a remontagem difícil?

13.5 Resumo

Os principais aspectos tratados neste capítulo podem ser resumidos de acordo com os apresentados a seguir:

1. *Projeto preliminar é a atividade na qual se realizam o arranjo, o dimensionamento e a otimização do projeto do produto.*
2. *Na atividade de arranjo do produto é definido o leiaute dos vários componentes ou subsistemas e é verificada a existência de interferência dos mesmos.*
3. *No processo de dimensionamento de um produto ou sistema, adota-se o seguinte procedimento: análise das especificações de projeto ou atributos de desempenho que o sistema deverá ter; identificação das solicitações e dos fatores de meio ambiente aos quais o sistema será submetido; modelagem das características de desempenho a dimensionar; seleção dos materiais para os componentes ou estrutura do sistema; e, por último, determinação das dimensões sujeitas às restrições de projeto.*
4. *Nas duas últimas décadas, devido à grande concorrência no mercado internacional, o domínio de conhecimento de otimização no projeto de produtos recebeu uma atenção especial por parte da academia e das indústrias.*
5. *O domínio do conhecimento evoluiu da forma tradicional de métodos matemáticos de otimização para conceitos mais amplos com diversas denominações, como: otimização multicritérios, otimização multidisciplinar, otimização global, otimização integrada, projeto para excelência e projeto para x-bilidade.*
6. *Otimização integrada é definida como sendo o desenvolvimento do projeto do produto considerando, simultaneamente, em todas as fases do desenvolvimento, os fatores que tornam o produto melhor ao longo de seu ciclo de vida. Para que isso seja alcançado o produto deve ser adequado aos atributos requeridos pelos usuários, desde sua concepção até o seu descarte.*
7. *Para atender aos diversos atributos que o produto deve satisfazer, desenvolve-ram-se técnicas de projeto para x-bilidade, tendo como principais as seguintes: projeto para precisão; projeto para robustez; projeto para estética; projeto para modularidade; projeto para custo; projeto para segurança e responsabilidade civil; projeto para a normalização; projeto para teste; projeto para manufatura; projeto para montagem; projeto para embalagem; projeto para uso/ergonomia; projeto para confiabilidade; projeto para inspeção; projeto para manutenibilidade; projeto para apoio logístico; e projeto para o meio ambiente/reciclagem/desmontagem.*

8. *Na literatura especializada encontram-se descritas as diversas técnicas de projeto para x-bilidade, que apresentam os seguintes aspectos: definição do atributo, medidas para a mensuração do atributo, princípios, recomendações e princípios de projeto e métodos de avaliação do atributo.*

13.6 Problemas e temas de discussão

1. Quais são as atividades e os correspondentes resultados que são desenvolvidos no projeto preliminar do produto?
2. Quais são as principais etapas do processo de otimização matemática de problemas de engenharia?
3. Discuta as razões principais que levaram o domínio de conhecimento da otimização de produtos a tornar-se uma disciplina tão importante.
4. Sob o ponto de vista da otimização matemática tem-se na engenharia uma grande variedade de tipos de problemas. Faça uma classificação e descrição dos principais tipos de problemas de otimização mostrando, também, a forma das equações de funções de atributos e de restrições.
5. Quais são, em linhas gerais, os passos recomendados e os métodos utilizados no processo de dimensionamento de componentes ou elementos estruturais de um produto em desenvolvimento?
6. O que se entende por otimização integrada do produto?
7. Quais são os atributos típicos que devem ser considerados num processo de otimização integrada do produto?
8. Identifique e discuta os quatro elementos da definição de confiabilidade.
9. Quais são as medidas quantitativas típicas da confiabilidade de um equipamento?
10. Descreva a diferença entre os conceitos de manutenção e manutenibilidade.
11. Quais as medidas quantitativas que poderiam ser adotadas para avaliação da manutenibilidade?
12. Por que o conceito de projeto para uso é considerado um atributo importante e de que forma pode ser otimizado?
13. Defina apoio logístico do produto e descreva a sua relação com a confiabilidade, a manutenibilidade e o uso amigável do produto.

14. Quais são os aspectos que devem ser considerados no projeto do produto para torná-lo apropriado ao apoio logístico?
15. Por que é tão importante considerar os fatores de apoio logístico desde o início do processo de desenvolvimento do projeto do produto?
16. Discuta as razões que levam a selecionar, simultaneamente, os materiais e os processos de fabricação durante o processo de projeto de um produto.
17. Quais são os aspectos que devem ser observados durante o processo de projeto para o meio ambiente? Quais outras denominações foram propostas na literatura para designar ou para considerar o projeto para o meio ambiente?

13.7 Referências bibliográficas

- ALONÇO, A. S. "Metodologia para a concepção de máquinas agrícolas seguras". Florianópolis, 2004, 221p. Tese (doutorado). PPGEM – UFSC.
- ARORA, J. S. *Introduction to optimum design*. New York, McGraw-Hill, 1989.
- BACK, N. *Metodologia de projeto de produtos industriais*. Rio de Janeiro, Guanabara Dois, 1983.
- BITENCOURT, A. C. P. "Desenvolvimento de uma metodologia de reprojeto de produtos para o meio ambiente". Florianópolis, 2001, 198p. Dissertação (mestrado). PPGEM – UFSC.
- BLANCHARD, B. S.; FABRYCKY, W. J. *Systems engineering and analysis*. 2ed. New Jersey, Prentice-Hall. 1990.
- BLANCHARD, B.; VERNA, D.; PETERSON, E. L. *Maintainability*. New York, John Wiley & Sons, 1995.
- BOOTHROYD, G.; DEWHURST, P.; KNIGHT, W. *Product design for manufacture and assembly*. New York, Marcel Dekker, 1994.
- BRALLA, J. G. *Design for excellence*. New York, McGraw Hill, 1996.
- CHEN, L.; CAI, J. Using vector projection method to evaluate maintainability of mechanical system in design review. *Reliability engineering and system safety*. v.81, n.2, 2003, p.147-154.
- DOWLATSHAHI, S. The role of logistics in concurrent engineering. *International Journal of Production Economics*. v.44, n.3, July 1996, p.189-199.

- HUANG, G. Q. *Design for X: concurrent engineering imperatives*. Great Britain, Chapman & Hall, 1996.
- HUNDAL, M. S. *Systematic mechanical designing: a cost and management perspective*. ASME Press, 1997.
- IRESON, W. G.; COOMBS, C. F.; MOSS, R. Y. *Handbook of reliability engineering and management*. New York, McGraw Hill, 1995.
- MARIBONDO, J. de F. "Desenvolvimento de uma metodologia de projeto de sistemas modulares, aplicada a unidades de processamento de resíduos sólidos domiciliares". Florianópolis, 2000, 277p. Tese (doutorado). PPGEM – UFSC.
- MARLER, R. T.; ARORA, J. S. *Review of multi-objective optimization concepts and algorithms for engineering*. Technical Report Number: ODL-01.03. Optimal Design Laboratory, College of Engineering, University of Iowa, 24 April 2003, 207p.
- OTTO, K. N.; WOOD, K. L. *Product design: techniques in reverse engineering and new product development*. New York, Prentice-Hall, 2001.
- PAHL, G.; BEITZ, W. *Engineering design: a systematic approach*. London, Springer, 1996.
- ROMANO, L. R. "Metodologia de projeto para embalagem". Florianópolis, 1996, 172p. Dissertação (mestrado). PPGEM – UFSC.
- SANTOS, C. T. dos. "Design no desenvolvimento de produtos: uma análise e prospecção de princípios e métodos utilizados". Florianópolis, 1998, 101p. Dissertação (mestrado). PPGEP – UFSC.
- SLOCUM, A. H. *Precision machine design*. Englewood Cliffs, New Jersey, Prentice-Hall, 1992.
- SOUSA, A. G. de. "Estudo e análise dos métodos de avaliação da montabilidade de produtos industriais no processo de projeto". Florianópolis, 1998, 238p. Dissertação (mestrado). PPGEM – UFSC.
- SUDJANTO, A.; OTTO, K. N. "Modularization to support multiple brand platforms". In: *ASME Design Engineering Technical Conferences*, September 9-12, 2001, Pittsburgh. *Proceedings of DETC 2001/DTM*.
- THURSTON, D. L.; CARNAHAN, J. V.; LIEFU, T. "Optimization of design utility". In: *International Conference on Design Theory and Methodology*. DE-v. 31, p. 173-180, 1991.
- VENKATARAMAN, S. "Search/optimization techniques in design. Department of Mechanical & Aerospace Engineering". Arizona State

University, 2000. Disponível em: URL: <http://asudesign.eas.asu.edu/education/MAE540/surveys.htm>; acessado em 30/1/2007.

WEBER, C. J. "Metodologia de desenvolvimento de produtos de precisão com ênfase no uso de sistemas de ajustagem". Florianópolis, 2001, 166p. Dissertação (mestrado). PPGEM – UFSC.

ZAMIROWSKI, E. J.; OTTO, K. N. "Identifying product family architecture modularity using function and variety heuristics". In: ASME Design Engineering Technical Conferences. September 12-15, 1999, Las Vegas, 1999. *Proceedings of DETC 1999/DTM*.

Apêndice

Modelo PRODIP – processo de projeto

Introdução

O presente apêndice apresenta o modelo de Processo de Desenvolvimento Integrado de Produtos – PRODIP, com ênfase na macrofase de projeto do produto.

Romano (2003) apresenta um detalhamento maior das oito fases em uma planilha, cujo modelo foi mostrado na Tabela 2.2, do Capítulo 2. As tabelas A1 a A4 deste apêndice, correspondentes às fases de projeto informacional, projeto conceitual, projeto preliminar e projeto detalhado, são partes extraídas e adaptadas desta planilha no que se refere a estas quatro fases.

A leitura dos elementos da tabela deve ocorrer no sentido horizontal, da esquerda para a direita. A primeira coluna identifica o índice da atividade. A segunda indica as entradas para a realização das atividades da terceira coluna e tarefas da quarta coluna, que são executadas nos domínios de conhecimento da quinta coluna, auxiliados pelos mecanismos da sexta coluna, avaliados pelos controles da sétima coluna, obtendo as saídas da oitava coluna. Estas saídas são as entradas das atividades e tarefas posteriores.

Para facilitar o gerenciamento do processo de desenvolvimento do projeto, cada atividade descrita na terceira coluna é desdobrada em tarefas que podem ser descritas uma em cada célula como apresentado na Tabela 2.2 do Capítulo 2. Da mesma forma, é conveniente que os domínios

de conhecimento necessários para executar cada tarefa, os mecanismos e os dispositivos de controle sejam apresentados nas células numa mesma linha. Este procedimento foi adotado na planilha, elaborada por Romano (2003). Nas Tabelas A1 a A4, para reduzir espaço, as várias tarefas referentes a cada atividade, os correspondentes domínios de conhecimento, os mecanismos de execução e os dispositivos de controle são agrupados nas células da linha das atividades.

Os resultados de cada atividade e, conseqüentemente, das respectivas tarefas devem ser registrados no sistema de documentação do projeto. Assim, para todas as atividades descritas na quarta coluna das tabelas A1 a A4, a última tarefa é adicionar os resultados ao sistema de documentação do projeto. Dessa forma, esta última tarefa não será apresentada no final das tabelas A2 a A4, por estarem subentendidas como realizadas.

O desdobramento adotado nessas tabelas foi realizado tomando-se por base as atividades desenvolvidas em indústrias de máquinas agrícolas de médio porte, de acordo com Romano (2003). O desdobramento das atividades das quatro fases aqui apresentadas são adaptações de partes da planilha global, estas devem ser consideradas como orientações para que cada equipe de projeto faça as respectivas adaptações de acordo com o setor e porte de sua indústria.

As siglas apresentadas na coluna de domínios das tabelas A.1 a A.4 foram descritas em detalhes no Capítulo 2, item 2.4. Para relembrar elas têm os seguintes significados:

GE – Gestão Empresarial;

GP – Gerenciamento de Projeto;

MK – Marketing;

PP – Projeto do Produto;

PM – Projeto da manufatura;

SU – Suprimento;

QU – Qualidade;

SE – Segurança;

DP – Dependabilidade;

AF – Administrativo-financeiro;

PR – Produção;

PV – Pós-venda;

Todos – Todos os domínios de conhecimento.

Fase do projeto informacional

Tabela A.1 Desdobramento do projeto informacional do produto

Fase do projeto informacional							
Índice da atividade	Entradas	Atividades	Tarefas	Domínios	Mecanismos	Controles	Saídas
1	Ficha de aprovação de passagem de fase; plano de projeto; sistema de documentação do projeto	Comunicar início da fase de projeto informacional	Comunicar a aprovação do plano de projeto à equipe de projeto; convocar para 1ª reunião da fase de projeto informacional	GP	Meios eletrônicos; outros	Plano de gerenciamento das comunicações; relação dos membros da equipe; orçamento de desenvolvimento	Comunicado de aprovação do plano de projeto; convite para 1ª reunião da equipe
2	Convite para 1ª reunião; plano de projeto; sistema de documentação do projeto	Reunir a equipe de desenvolvimento do produto, de gerenciamento do projeto; apresentar plano de projeto	Apresentar o plano de projeto, o gerente, equipe de desenvolvimento, declaração do escopo, estrutura de projeto, lista de atividades do projeto, recursos físicos, planeamento organizacional, cronograma, plano de gerenciamento das comunicações, de suprimentos, da qualidade, a política de segurança, restrições de projeto; definir a prioridade, a periodicidade de reuniões; esclarecer dúvidas	GP; PP; AF; SU; GU; SE	Reunião de apresentação do projeto; sistema de documentação do projeto	Relação dos membros da equipe; declaração do escopo; estrutura de decomposição do projeto; classificação de riscos; lista de atividades; lista de recursos físicos; planeamento organizacional; cronograma; plano de gerenciamento das comunicações, de qualidade, de suprimentos; política de segurança	Plano do projeto apresentado
3	Plano de projeto; recursos financeiros	Executar atividades do projeto	Atribuir código ao projeto; divulgar código; prover recursos para executar o plano de projeto	GP	Sistema de documentação; código do projeto	Plano estratégico de produtos; plano de gerenciamento das comunicações; orçamento de desenvolvimento	Código do projeto; recursos físicos e financeiros

continua

Tabela A.1 Desdobramento do projeto informacional do produto (*continuação*)

Fase do projeto informacional							
Índice da atividade	Entradas	Atividades	Tarefas	Dominios	Mecanismos	Controles	Saídas
4	Declaração do escopo do projeto; estrutura de decomposição do projeto; avaliação de produtos similares no mercado	Definir os fatores de influência no projeto do produto	Avaliar a declaração do escopo, da estrutura de decomposição; analisar a avaliação dos produtos existentes no mercado, as normas e leis que afetam o produto; definir ensaios e inspeções de produto; identificar normas técnicas de segurança; anexar fatores de influência ao sistema de documentação	PP; MK; QU; AF; SE; DP	Análise de especialistas; benchmarking; ensaios de laboratório, de campo e simulações; levantamentos de estudos de casos; registros de controles operacionais, de assistência técnica e de programas de garantia; sistema de documentação do projeto	Planejamento de marketing; restrições; legislação; normas para homologação, de segurança; estrutura de decomposição; plano de gerenciamento da qualidade e das comunicações	Fatores de influência no projeto do produto
5	Planejamento de marketing	Monitorar as variações de mercado que podem influenciar o estabelecimento das especificações de projeto	Monitorar demanda de mercado; atualizar planejamento de marketing; anexar planejamento de marketing ao sistema de documentação	MK; GP	Pesquisa de mercado; planejamento de marketing; sistema de documentação	Estratégia de produto, mercado e tecnologia; plano de gerenciamento de qualidade e das comunicações	Plano de marketing
6	Envolvidos no desenvolvimento	Identificar as necessidades dos clientes/usuários	Definir os clientes/usuários ao longo do ciclo de vida, e suas necessidades; coletar informações dos clientes/usuários e anexar necessidades ao sistema de documentação	Todos	Reunião da equipe de desenvolvimento do produto, dos clientes/usuários; pesquisas junto a clientes, usuários e especialistas; conversão das informações originais em necessidades dos clientes/usuários; sistema de documentação do projeto	Ciclo de vida do produto; clientes/usuários; informações originais dos clientes/usuários; características de segurança do produto; plano de gerenciamento da qualidade e das comunicações	Clientes/usuários; informações originais dos clientes/usuários e suas necessidades; características de segurança

continua

Tabela A.1 Desdobramento do projeto informacional do produto (continuação)

Fase do projeto informacional							
Índice da atividade	Entradas	Atividades	Tarefas	Domínios	Mecanismos	Controles	Saídas
7	Necessidades dos clientes/usuários	Estabelecer os requisitos dos clientes/usuários	Desdobrar as necessidades dos clientes/usuários em requisitos; valorar os requisitos; verificar se os requisitos dos clientes/usuários refletem as necessidades do mercado; anexar os requisitos ao sistema de documentação	Todos	Reunião da equipe de desenvolvimento com os clientes/usuários; desdobramento das necessidades em requisitos dos clientes/usuários; pesquisa junto a clientes/usuários; sistema de documentação do produto	Necessidades e requisitos dos clientes/usuários; plano de gerenciamento da qualidade e das comunicações	Requisitos e parecer sobre os requisitos dos clientes/usuários valorados
8	Requisitos dos clientes/usuários	Estabelecer os requisitos de projeto	Definir os requisitos de projeto considerando os atributos gerais e específicos; verificar se os requisitos de projeto refletem as necessidades, hierarquizá-los e adicioná-los ao sistema de documentação	Todos	Reunião da equipe de desenvolvimento do produto; desdobramento dos requisitos de clientes/usuários em requisitos de projeto; classificação dos atributos do produto; pesquisa junto a clientes, usuários e especialistas; matriz da casa da qualidade; sistema de documentação	Necessidades dos clientes/usuários; requisitos valorados; plano de gerenciamento de qualidade e das comunicações	Requisitos e parecer sobre requisitos de projeto; requisitos hierarquizados
9	Requisitos dos clientes/usuários; requisitos de projeto	Estabelecer as especificações de projeto	Definir as especificações de projeto; comparar as especificações de projeto com as especificações de produtos do mercado; identificar as normas que se relacionam com as especificações; revisar; reavaliar; emitir; adicionar ao sistema de documentação as especificações de projeto	Todos	Reunião da equipe de desenvolvimento; valor meta das especificações de projeto; formas de avaliação; aspectos desejados; normas técnicas; verificação de especificações; sistema de documentação; análise de riscos	Fatores de influência no projeto; requisitos de clientes/usuários; classificação de riscos; plano de gerenciamento da qualidade e das comunicações	Especificações de projeto

continua

Tabela A.1 Desdobramento do projeto informacional do produto (continuação)

Fase do projeto informacional							
Índice da atividade	Entradas	Atividades	Tarefas	Dominios	Mecanismos	Controles	Saídas
10	Especificações de projeto	Definir os fatores de influência no plano de manufatura	Identificar as especificações de projeto relacionadas ao processo de manufatura e suas restrições	PM; QU; GP	Análise de especialistas; sistema de documentação do projeto	Requisitos dos clientes/usuários e de projeto; plano de gerenciamento da qualidade e das comunicações	Fatores de influência no plano de manufatura
11	Especificações de projeto	Desenvolver estratégia para envolvimento de fornecedores	Identificar as especificações de projeto relacionadas ao desenvolvimento de fornecedores; adicionar as estratégias ao plano de gerenciamento de suprimentos e ao sistema de documentação	SU; GP	Análise de especialistas; metodologia de envolvimento de fornecedores; plano de gerenciamento de suprimentos; sistema de documentação do projeto	Planos de gerenciamento de suprimentos, da qualidade e das comunicações	Estratégia para o envolvimento de fornecedores
12	Política de segurança do produto	Levantar informações sobre segurança no ciclo de vida do produto	Revisar histórico de segurança dos produtos disponíveis no mercado; avaliar risco de acidente e mau uso ao longo do ciclo de vida; identificar as especificações de projeto relacionadas à segurança	SE; GP	Banco de dados sobre segurança; análise de risco; análise de especialistas; sistema de documentação do projeto	Avaliação dos produtos disponíveis no mercado; ciclo de vida do produto; especificações de projeto; plano de gerenciamento de qualidade e das comunicações	Informações sobre segurança do produto
13	Especificações de projeto	Definir as metas de dependabilidade	Estabelecer os métodos e modelos para análise e previsão da confiabilidade e mantibilidade; levantar informações sobre dados experimentais e de laboratório; estabelecer as metas de confiabilidade e mantibilidade	DP; GP	FMEA (Failure Mode and Effect Analysis); análise da árvore de falhas; fatores humanos e de risco; banco de dados sobre dependabilidade; análise de especialistas; sistema de documentação	Estrutura de decomposição do projeto; análise dos produtos disponíveis no mercado; plano de gerenciamento da qualidade e das comunicações	Metas de dependabilidade
14	Especificações de projeto	Definir o custo-meta do produto	Estabelecer os parâmetros de formação do custo-meta; adicionar custo-meta ao sistema de documentação	AF; GP	Metodologia de estimativa de custo; sistema de documentação	Preço de venda do produto; plano de gerenciamento da qualidade e das comunicações.	Custo-meta do produto

continua

Tabela A.1 Desdobramento do projeto informacional do produto (continuação)

Fase do projeto informacional							
Índice da atividade	Entradas	Atividades	Tarefas	Domínios	Mecanismos	Controles	Saídas
15	Plano de projeto	Realizar análise econômica e financeira	Analisar fluxo de caixa do projeto; anexar a análise de fluxo de caixa ao sistema de documentação	GP; AF	Fluxo de caixa; curva S; sistema de documentação	Orcamento do desenvolvimento do produto; recursos financeiros; plano de gerenciamento da qualidade e das comunicações	Análise do fluxo de caixa do projeto
16	Especificações de projeto do produto	Avaliar as especificações de projeto	Verificar se as especificações de projeto atendem ao escopo do projeto; emitir parecer sobre as especificações de projeto	GP; QU	Análise de especialista; avaliação das especificações de projeto; sistema de documentação	Declaração do escopo do projeto; plano de gerenciamento da qualidade e das comunicações	Avaliação das especificações de projeto do produto
17	Especificações de projeto; avaliação das especificações	Submeter as especificações de projeto à aprovação	Aprovar as especificações de projeto; adicionar as especificações ao sistema de documentação	GE; GP	Formulário de aprovação das especificações; sistema de documentação	Plano estratégico de produtos; plano de gerenciamento da qualidade e das comunicações	Especificações de projeto do produto aprovadas
18	Plano de projeto	Monitorar o progresso do projeto	Monitorar as atividades, a utilização dos recursos no projeto, variação de custo, variação do cronograma, os riscos do projeto; determinar o índice de desempenho de custo; avaliar os resultados da equipe de desenvolvimento; adicionar o relatório de progresso ao sistema de documentação	GP	Análise de especialista, de variação de custo, e de cronograma; índice de desempenho de custo; classificação de riscos; sistema de documentação	Orcamento e cronograma de desenvolvimento; declaração dos riscos; análise de variação de custo e de cronograma; índice de desempenho de custo; plano de gerenciamento da qualidade e das comunicações	Relatório de progresso do projeto
19	Relatório de progresso do projeto	Comunicar relatório de progresso do projeto	Distribuir relatório de progresso	GP	Meios eletrônicos	Plano de gerenciamento das comunicações	Relatório de progresso do projeto

continua

Tabela A.1 Desdobramento do projeto informacional do produto (continuação)

Fase do projeto informacional							
Índice da atividade	Entradas	Atividades	Tarefas	Dominios	Mecanismos	Controles	Saídas
20	Plano de projeto	Atualizar plano de projeto	Verificar se é necessário realizar o projeto conceitual ou se as soluções conhecidas permitem passar às fases de projeto preliminar ou detalhado, se todas as atividades foram concluídas; identificar os recursos físicos para o projeto conceitual, preliminar ou detalhado; atualizar cronograma, orçamento de desenvolvimento; emitir o plano de projeto	Todos	Reunião da equipe de desenvolvimento; análise de especialista; lista de atividades do projeto; cronograma e orçamento de desenvolvimento; plano de projeto	Especificações de projeto; estrutura de decomposição do projeto; recursos físicos disponíveis; plano estratégico de negócios; plano de gerenciamento das comunicações	Plano de projeto atualizado
21	Especificações de projeto aprovadas; plano de projeto; ficha de aprovação de passagem de fase		Preencher e assinar ficha de aprovação de passagem de fase; adicionar plano de projeto e ficha de aprovação de passagem de fase ao sistema de documentação	GP	Ficha de aprovação de passagem de fase; sistema de documentação do projeto	Plano de projeto atualizado; plano gerenciamento de qualidade e das comunicações	Ficha de aprovação de passagem de fase; plano atualizado de projeto do produto
22	Saídas globais da fase; especificações de projeto do produto; documentação do projeto						

Fase do projeto conceitual

Tabela A.2 Desdobramento do projeto conceitual do produto

Fase do projeto conceitual							
Índice da atividade	Entradas	Atividades	Tarefas	Domínios	Mecanismos	Controles	Saídas
1	Ficha de aprovação de passagem de fase	Comunicar início da fase de projeto conceitual	Convocar equipe para 1ª reunião; comunicar à equipe a aprovação das especificações de projeto do produto	GP	Meios eletrônicos	Plano de gerenciamento das comunicações; relação dos membros da equipe; orçamento de desenvolvimento	Comunicado de aprovação; convite para 1ª reunião
2	Plano de projeto	Atualizar recursos financeiros do projeto		GP; AF	Fluxo de caixa; curva S	Orçamento de desenvolvimento do projeto	Orçamento de recursos financeiros
3	Especificações de projeto do produto; plano de projeto atualizado; sistema de documentação	Reunir equipe e apresentar plano de projeto atualizado	Apresentar a lista de atividades atualizada, os membros da equipe e o cronograma de desenvolvimento	Todos	Reunião da equipe de desenvolvimento do produto	Plano de projeto; lista de atividades; relação dos membros da equipe; cronograma de desenvolvimento	Plano de projeto apresentado
4	Planejamento de marketing	Monitorar as variações de mercado que podem influenciar o desenvolvimento das concepções de projeto	Monitorar demanda de mercado; atualizar planejamento de marketing	Mk; GP	Pesquisa de mercado; planejamento de marketing; sistema de documentação do projeto	Estratégia de produto, mercado e tecnologia; plano de gerenciamento de qualidade e de comunicações	Planejamento de marketing

continua

Tabela A.2 Desdobramento do projeto conceitual do produto (continuação)

Fase do projeto conceitual							
Índice da atividade	Entradas	Atividades	Tarefas	Domínios	Mecanismos	Controles	Saídas
5	Requisitos dos clientes/usuários e de projeto; fatores de influência no projeto do produto	Estabelecer a estrutura funcional do produto	Definir função global e subfunções do produto; estabelecer as estruturas funcionais alternativas; identificar, selecionar e envolver fornecedores para o desenvolvimento de princípios de solução de subfunções; analisar e selecionar estrutura funcional; adicionar informações ao sistema de documentação	PP; SU; GP	Abstração orientada; difereças de desenvolvimento de estrutura funcional; análise de especialista; documentos para coleta de preços, solicitação de cotação e de proposta; matriz de decisão para seleção; sistema de documentação	Fatores de influência no projeto do produto; requisitos de projeto; capacidades internas; estratégia para envolvimento de fornecedores; plano de gerenciamento de qualidade e de comunicações	Função global; estruturas funcionais alternativas; fornecedores envolvidos; subfunções desenvolvidas por fornecedores; estrutura funcional selecionada
6	Estrutura funcional; fatores de influência no projeto e no plano de manufatura do produto	Desenvolver as concepções alternativas do produto	Desenvolver princípios de solução para as subfunções; combinar princípios de solução para formar a função global; monitorar o desenvolvimento das concepções em relação às especificações de projeto; selecionar concepções mais adequadas; elaborar modelos das concepções; estimar custos das concepções	PP; SU; QU; SE; DP; PV; AF; GP	Métodos intuitivos (<i>brainstorming</i> ; analogias; sinéctico etc.); métodos sistemáticos (matriz morfológica; síntese funcional; TRIZ etc.); engenharia reversa; critérios de combinação de princípios de solução; análise de especialista; análise de viabilidade; métodos de seleção de soluções; estimativas de custo; sistema de documentação	Especificações de projeto; plano de gerenciamento de qualidade e das comunicações; subfunções desenvolvidas por fornecedores; normas de homologação do produto; requisitos dos clientes/usuários; fatores de influência no plano de manufatura	Estrutura funcional; princípios de solução; concepções alternativas; modelos das concepções alternativas; estimativa de custo das concepções alternativas

continua

Tabela A.2 Desdobramento do projeto conceitual do produto (continuação)

Fase do projeto conceitual							
Índice da atividade	Entradas	Atividades	Tarefas	Dominios	Mecanismos	Controles	Saídas
7	Modelos das concepções alternativas; estimativas de custo das concepções	Selecionar a concepção do produto	Avaliar comparativamente as concepções alternativas em relação às especificações de projeto; conduzir avaliação de riscos e oportunidades de cada concepção em relação ao projeto do produto e ao plano de manufatura; descrever as características da concepção selecionada	Todos	Reunião da equipe de desenvolvimento do produto; métodos de seleção da concepção; sistema de documentação do produto	Requisitos de clientes/ usuários; especificações de projeto; fatores de influência no projeto e no plano de manufatura do produto; estratégia para envolvimento de fornecedores; avaliação das concepções alternativas; plano de gerenciamento da qualidade e das comunicações	Relatório de avaliação das concepções alternativas; concepção do produto
8	Concepção do produto; fatores de influência no plano de manufatura	Analisar a concepção para identificar processos de fabricação internos ou externos, existentes ou novos	Verificar se o processo de manufatura atende às especificações de projeto; identificar os problemas ou restrições de fabricação que afetam o desenvolvimento da concepção	GP; PM; QU	Análise de especialistas e sistema de documentação	Especificações de projeto; custo-meta; plano de gerenciamento da qualidade e das comunicações	Fatores de influência no plano de manufatura
9	Estratégia de envolvimento de fornecedores	Definir prazos aos fornecedores para desenvolver projeto preliminar e detalhado das subfunções	Estabelecer e aprovar contrato com fornecedores envolvidos; adicionar contratos ao sistema de documentação	SU; AF; GP	Seleção do tipo de contrato; sistema de documentação	Plano de gerenciamento de suprimentos, da qualidade, das comunicações	Contrato de desenvolvimento com fornecedor

continua

Tabela A.2 Desdobramento do projeto conceitual do produto (*continuação*)

Fase do projeto conceitual							
Índice da atividade	Entradas	Atividades	Tarefas	Dominios	Mecanismos	Controles	Saídas
10	Custo-meta; estimativa de custo das concepções alternativas; análise de fluxo de caixa	Atualizar análise econômica e financeira	Atualizar análise de fluxo de caixa do projeto	GP; AF	Fluxo de caixa; curva S; sistema de documentação	Orçamento de desenvolvimento do produto; recursos financeiros; planejamento de gerenciamento da qualidade e das comunicações	Análise de fluxo de caixa do projeto
11	Concepção do produto	Avaliar a concepção do produto	Verificar se a concepção atende ao escopo do projeto e emitir parecer sobre a concepção	Todos	Avaliação da concepção; análise de especialista; sistema de documentação	Declaração do escopo do projeto; plano de gerenciamento da qualidade e das comunicações	Avaliação da concepção do produto
12	Concepção do produto e avaliação da concepção	Aprovar concepção do produto	Aprovar a concepção do produto e anexá-la ao sistema de documentação	GE; GP	Formulário de aprovação da concepção; sistema de documentação do projeto	Plano estratégico de produtos; plano de gerenciamento da qualidade e das comunicações	Concepção do produto aprovada
13	Plano de projeto	Monitorar progresso do projeto	Monitorar as atividades de projeto, a utilização de recursos, a variação de custo e de cronograma, os riscos de projeto; elaborar e distribuir relatório de progresso	GP	Análise de especialista, de variação de custo e de cronograma; classificação do risco do projeto; sistema de documentação; correio eletrônico	Cronograma de desenvolvimento; orçamento de desenvolvimento; análise de variação de custo e de tempo; declaração de risco; plano de gerenciamento da qualidade e das comunicações	Relatório de progresso do projeto

continua

Tabela A.2 Desdobramento do projeto conceitual do produto (continuação)

Fase do projeto conceitual							
Índice da atividade	Entradas	Atividades	Tarefas	Dominios	Mecanismos	Controles	Saídas
14	Plano de projeto	Atualizar o plano de projeto	Verificar se todas as atividades foram concluídas; atualizar lista de atividades; identificar recursos necessários para realizar a fase de projeto; preliminar; atualizar cronograma e orçamento de desenvolvimento; emitir plano de projeto	GP	Lista de atividades; análise de especialista; cronograma e orçamento de desenvolvimento; plano de projeto	Estrutura de decomposição do projeto; recursos físicos disponíveis; plano estratégico de negócios; plano de gerenciamento das comunicações	Plano de projeto atualizado
15	Concepção do produto aprovada	Preencher e aprovar a ficha de passagem de fase de projeto		GP	Ficha de aprovação de passagem de fase	Plano do projeto atualizado	Ficha de aprovação de passagem de fase
16	Plano de projeto; ficha de aprovação de passagem de fase	Atualizar plano de projeto e ficha de aprovação de passagem de fase		GP	Sistema de documentação do projeto	Plano de gerenciamento da qualidade e das comunicações	Plano do projeto atualizado; ficha de aprovação de passagem de fase
17	Saídas globais da fase: projeto conceitual do produto; ficha de aprovação da passagem de fase; plano de projeto atualizado; sistema de documentação do projeto						

Fase do projeto preliminar

Tabela A.3 Desdobramento do projeto preliminar do produto

Fase do projeto preliminar							
Índice de atividade	Entradas	Atividades	Tarefas	Domínios	Mecanismos	Controles	Saídas
1	Ficha de aprovação de passagem de fase	Comunicar início da fase de projeto preliminar	Comunicar a aprovação da concepção à equipe de desenvolvimento; convocar a equipe para a reunião de início do projeto preliminar	GP	Meios eletrônicos	Plano de gerenciamento das comunicações; relação dos membros da equipe	Comunicação de aprovação do projeto conceitual; convocação para reunião
2	Projeto conceitual do produto; plano de projeto atualizado; sistema de documentação	Apresentar o plano de projeto atualizado	Apresentar a lista de atividades, os novos membros da equipe e o cronograma do projeto	Todos	Reunião da equipe de desenvolvimento	Lista de atividades e dos membros da equipe de projeto; cronograma de desenvolvimento; plano do projeto	Plano atualizado do projeto
3	Planejamento de marketing; concepção do produto	Monitorar as variações de mercado que podem influir no layout do produto	Monitorar demanda de mercado; revisar metas de participação no mercado e de preço; definir número de modelos; reavaliar impacto sobre outros produtos; desenvolver estratégia de lançamento; atualizar planejamento de marketing	MK; DP; AF; GP	Pesquisa de mercado; análise de especialista; análise de concorrência; planejamento de marketing; sistema de documentação	Estratégia de produto, de mercado e de tecnologia; preço de produtos no mercado; plano de gerenciamento de qualidade e das comunicações	Planejamento de mercado

continua

Tabela A.3 Desdobramento do projeto preliminar do produto (*continuação*)

Fase do projeto preliminar							
Índice de atividade	Entradas	Atividades	Tarefas	Domínios	Mecanismos	Controles	Saídas
4	Especificações de projeto; concepção do produto	Desenvolver leiaute inicial do produto	Identificar especificações de projeto relacionadas a dimensões e leiaute; elaborar diagramas esquemáticos dos elementos constitutivos dos princípios de solução; definir agrupamentos ou módulos constitutivos; estabelecer componentes ou grupos de componentes a serem comprados ou desenvolvidos por fornecedores; definir forma, leiaute, dimensões, esboços e interfaces dos elementos ou grupos constitutivos; definir dimensões principais, forma e arranjos iniciais do produto	PP; SU; QU; DP; SE; PE; GP	Análise de especialista; diagrama dos elementos constitutivos; catálogos de componentes; reunião com fornecedores; sistema de documentação do produto	Especificações de projeto; subfunções, desenvolvidas por fornecedores; plano de gerenciamento de fornecedores; contratos com fornecedores; plano de gerenciamento da qualidade e das comunicações	Leiaute inicial do produto
5	Leiaute inicial	Desenvolver leiautes alternativos do produto	Desenvolver leiautes variantes do produto; compatibilizar com propostas dos fornecedores; desenhar esboços de cada leiaute; identificar características e pontos fortes de cada leiaute; revisar patentes, aspectos legais e de segurança dos leiautes; estimar custos; avaliar e selecionar leiautes do produto que atendem às especificações de projeto	Todos	Desenho; análise de especialista; banco de dados de segurança do produto, bancos de patentes; normas de segurança; métodos de estimativa de custo; análise de custo-benefício; métodos de seleção de soluções; sistema de documentação do produto	Especificações de projeto; patentes; leis; normas; preço de venda do produto; plano de marketing; plano de gerenciamento da qualidade e das comunicações	Leiautes iniciais viáveis

continua

Tabela A.3 Desdobramento do projeto preliminar do produto (*continuação*)

Fase do projeto preliminar							
Índice de atividade	Entradas	Atividades	Tarefas	Dominios	Mecanismos	Controles	Saídas
6	Leiautes iniciais viáveis	Desenvolver o leiaute dimensional do produto	Estabelecer dimensões, materiais; processos de fabricação; otimizar a solução; eliminar pontos fracos; verificar pontos críticos, interações e interfaces dos componentes e/ou dos grupos constituintes; revisar componentes ou módulos de fornecedores; estabelecer a forma e arranjo dos componentes nos leiautes alternativos; elaborar os leiautes dimensionais; elaborar desenhos dos componentes para construção de <i>mock-ups</i> ; construir <i>mock-ups</i> ; estimar custos dos leiautes, do ferramental e outros recursos; selecionar o leiaute dimensional que melhor atende às especificações técnicas; elaborar a lista inicial de componentes do leiaute dimensional	Todos	Métodos diversos de dimensionamento e de seleção de materiais e de processos de fabricação; métodos de otimização diversos ou DFX; análise de especialista; catálogos de componentes ou de subsistemas; desenhos; prototipagem física ou virtual; métodos de estimativa de custo; análise de especialistas; sistema de documentação	Especificações de projeto; planejamento de marketing; plano de gerenciamento da qualidade e dos comunicações; declaração do escopo do projeto; estratégia de produto, de mercado e de tecnologia; leiaute dimensional selecionado; custo-meta do produto	Leiaute dimensional do produto e lista de componentes
7	Leiaute dimensional	Estabelecer o leiaute final do produto	Definir responsáveis pelo detalhamento dos componentes; concluir o dimensionamento, a seleção dos materiais e a otimização dos componentes; revisar o leiaute dimensional com relação às falhas funcionais; compatibilidade especial e efeitos de faturas de perturbação; fixar o leiaute final do produto; elaborar a lista final de componentes; determinar custos dos componentes; analisar a possibilidade de obtenção de patente; adicionar informações da atividade ao sistema de documentação	Todos	Análise de especialistas; desenho; métodos de otimização DFX; catálogos de componentes; métodos de estimativa de custos; sistema de documentação do produto	Relação dos membros da equipe; lista inicial de componentes; plano de gerenciamento de suprimentos; capacidades internas; contratos com fornecedores; plano de gerenciamento da qualidade e dos comunicações; leiaute dimensional; metas de segurança e de dependabilidade; lista de componentes	Responsáveis pelo detalhamento dos componentes; desenhos dos componentes; lista de componentes comprados; leiaute dimensional revisado; desenhos de leiaute final; relatório de pedido de patente; custos dos componentes

continua

Tabela A.3 Desdobramento do projeto preliminar do produto (*continuação*)

Fase do projeto preliminar							
Índice de atividade	Entradas	Atividades	Tarefas	Domínios	Mecanismos	Controles	Saídas
8	Leiaute final do produto; lista de componentes	Desenvolver o plano de fabricação e teste do protótipo	Verificar a necessidade de realização do teste de laboratório ou de campo; estabelecer os tipos de testes a serem realizados; planejar os testes, o transporte; operar os testes, o protótipo; requisitar a fabricação e teste do protótipo; adicionar plano de construção e de teste ao sistema de documentação	Todos	Análise de especialistas; procedimentos de teste; normas de homologação do produto; sistema de documentação do projeto	Plano de gerenciamento da qualidade e das comunicações; especificações de projeto; cronograma de desenvolvimento; metas de dependabilidade; normas de segurança e de homologação	Plano de fabricação de teste do protótipo; requisição de fabricação e teste do protótipo
9	Leiaute final; lista de componentes; fatores de influência de fabricação do protótipo	Definir os requisitos iniciais de fabricação do protótipo	Revisar lista e documentação de componentes do protótipo; estabelecer estrutura inicial do protótipo; definir as máquinas-ferramenta, ferramentas e dispositivos para fabricação e montagem do protótipo; estimar custo de fabricação do protótipo; anexar requisitos de manufatura e custos do protótipo no sistema de documentação	PP; PM; QU; PR; AF; GP	Análise de especialistas; métodos de estimativa de custos; solicitação de recursos para construção do protótipo; sistema de documentação do projeto	Desenhos de leiaute final; listas de componentes ou grupos constituintes; custos iniciais de componentes; plano de gerenciamento da qualidade e das comunicações	Estrutura inicial do protótipo; custo inicial do protótipo; requisitos iniciais de manufatura do protótipo; solicitação de investimento para construção do protótipo
10	Fatores de influência no plano de manufatura	Avaliar capacidade de manufatura interna dos componentes	Verificar capacidade atual, recursos, prazo de implantação e pessoal; definir áreas para manufatura interna, armazenamento e montagem	GP; PP; PM; QU; PR; AF	Análise de especialistas; sistema de documentação do projeto	Estrutura inicial do protótipo; plano de gerenciamento de suprimentos, da qualidade e das comunicações	Capacidade de manufatura interna
11	Lista de componentes comprados; fatores de influência no plano de manufatura	Avaliar a capacidade de manufatura externa dos componentes	Revisar decisão de fabricar ou comprar componentes; adicionar estudo de capacidade de manufatura externa ao sistema de documentação do projeto	PP; SU; QU; AF; GP	Análise de especialista; análise de custo-benefício; sistema de documentação do projeto	Estrutura inicial do protótipo; plano de gerenciamento de suprimentos, da qualidade e das comunicações; contratos de desenvolvimento com fornecedores	Capacidade de manufatura externa

continua

Tabela A.3 Desdobramento do projeto preliminar do produto (*continuação*)

Fase do projeto preliminar							
Índice de atividade	Entradas	Atividades	Tarefas	Dominios	Mecanismos	Controles	Saídas
12	Análise do fluxo de caixa; custo de manufatura do protótipo; solicitação de investimento para construção do protótipo; volume de vendas; custo e preço de venda; estudo de viabilidade econômica	Avaliar viabilidade econômica do produto	Atualizar análise de fluxo de caixa do produto; realizar análise econômica do produto; verificar se a viabilidade econômica do produto atende ao plano estratégico de negócio; revisar a solicitação de investimento para construção do protótipo; emitir parecer sobre a viabilidade econômica do produto; aprovar a viabilidade econômica	Todos	Fluxo de caixa; curva S; análise de retorno sobre investimento; análise de especialistas; métodos de avaliação da viabilidade econômica de projetos; sistema de documentação do projeto	Orçamento de desenvolvimento do produto; recursos financeiros; plano estratégico de negócio; custo-meta; plano de gerenciamento da qualidade e das comunicações	Análise de fluxo de caixa; recursos financeiros para construir o protótipo; viabilidade econômica do produto aprovada
13	Plano de projeto	Monitorar o progresso do projeto	Monitorar as atividades, os recursos, a variação de custo, de cronograma e os riscos do projeto; avaliar os resultados da equipe de desenvolvimento; elaborar e distribuir o relatório de progresso do projeto	GP	Análise de especialista; análise de variação de custo e de cronograma; classificação do risco do projeto; sistema de documentação do projeto; correio eletrônico	Cronograma e orçamento de desenvolvimento do produto; declaração de riscos; análise de variação de custo e de cronograma; plano de gerenciamento da qualidade e das informações	Relatório de progresso do projeto
14	Plano de projeto	Atualizar plano de projeto	Verificar se todas as atividades foram concluídas; atualizar a lista de atividades, o cronograma e o orçamento de desenvolvimento; identificar recursos necessários para realizar a fase de projeto detalhado; emitir o plano atualizado	GP	Lista das atividades de projeto; análise de especialistas; cronograma e orçamento de desenvolvimento; plano de projeto	Estrutura de decomposição do projeto; recursos físicos disponíveis; plano estratégico de negócio; plano de gerenciamento da qualidade e das comunicações	Plano de projeto atualizado

continua

Tabela A.3 Desdobramento do projeto preliminar do produto (*continuação*)

Fase do projeto preliminar							
Índice de atividade	Entradas	Atividades	Tarefas	Dominios	Mecanismos	Controles	Saídas
15	Viabilidade econômica aprovada; plano de projeto atualizado; ficha de aprovação de passagem de fase	Aprovar passagem de fase do projeto	Preencher e aprovar a ficha de passagem de fase; adicionar o plano de projeto e a ficha no sistema de documentação	GP	Ficha de aprovação de passagem de fase e sistema de documentação do projeto	Plano de projeto atualizado; plano de gerenciamento da qualidade e das comunicações	Ficha de aprovação da passagem de fase; plano de projeto atualizado
16	Saídas globais da fase; relatório final; projeto otimizado; viabilidade econômica do produto; recursos financeiros para construção do protótipo; ficha de aprovação de passagem de fase; plano de projeto atualizado; sistema de documentação do projeto						

Fase do projeto detalhado

Tabela A.4 Desdobramento do projeto detalhado do produto

Fase do projeto detalhado							
Índice de atividade	Entradas	Atividades	Tarefas	Domínios	Mecanismos	Controles	Saídas
1	Plano de projeto; ficha de aprovação de passagem de fase; recursos para construção do protótipo	Iniciar a fase de projeto detalhado	Comunicar a aprovação da viabilidade econômica; convocar equipe de desenvolvimento do produto, atualizar necessidade de capital	GP	Meios eletrônicos; fluxo de caixa; curva S	Plano de gerenciamento das comunicações; relação dos membros da equipe de desenvolvimento; orçamento de desenvolvimento	Comunicação da aprovação da viabilidade econômica; convocação da equipe de desenvolvimento; recursos financeiros
2	Viabilidade econômica do produto; leilute final; plano do projeto atualizado; sistema de documentação	Reunir equipe e apresentar plano de projeto atualizado	Apresentar a lista de atividades do projeto atualizado, os membros da equipe e o cronograma de desenvolvimento; identificar os pontos críticos da fase de projeto detalhado	Todos	Reunião da equipe de desenvolvimento do produto	Lista das atividades do projeto; relação dos membros da equipe; cronograma de desenvolvimento; leilute final	Plano do projeto apresentado
3	Planejamento de marketing; leilute final	Monitorar as variações de mercado que podem afetar o projeto detalhado do produto e da manufatura	Monitorar demanda do mercado; definir data de lançamento; revisar custo de lançamento e preço de venda; desenvolver estratégia de assistência técnica; identificar as peças de reposição; elaborar plano de treinamento para as áreas de vendas; pós-vendas e assistência técnica; atualizar planejamento de marketing	GP; MK; QU; AF; PP; DP; PV	Pesquisa de mercado; análise de especialista; métodos de estimativa de custo; plano de treinamento; planejamento de marketing; sistema de documentação do projeto	Estratégia de produto, de mercado e de tecnologia; cronograma de desenvolvimento; plano de fabricação e teste do protótipo; orçamento inicial de lançamento e propaganda	Planejamento de marketing atualizado

continua

Tabela A.4 Desdobramento do projeto detalhado do produto (continuação)

Fase do projeto detalhado							
Índice de atividade	Entradas	Atividades	Tarefas	Domínios	Mecanismos	Controles	Saídas
4	Requisição de protótipo; plano de fabricação e teste do protótipo; recursos para construção do protótipo	Construir o protótipo	Atualizar cronograma e planejar o processo de fabricação e montagem do protótipo; definir os responsáveis pela fabricação ou aquisição dos componentes do protótipo; emitir pedidos de componentes; fabricar, adquirir, receber e estocar componentes do protótipo; executar e monitorar montagem do protótipo; registrar divergências entre o projeto, fabricação e montagem do protótipo	Todos	Cronograma de fabricação e montagem do protótipo; análise de especialistas; desenhos dos componentes; pedidos de componentes; laboratório de protótipos; desenhos de layout final; sistema de documentação do projeto	Cronograma de desenvolvimento; listas e desenhos de componentes; plano de gerenciamento de suprimentos; da qualidade e das comunicações; plano de fabricação e teste do protótipo	Cronograma e plano de fabricação e montagem do protótipo; pedidos de componentes; componentes do protótipo; divergências na fabricação e montagem do protótipo
5	Requisição do protótipo	Avaliar montagem do protótipo	Analisar o protótipo; elaborar relatório de montagem do protótipo	GP; PP; PM; QU	Relatório de montagem do protótipo; sistema de documentação	Divergências de montagem do protótipo; plano de fabricação do protótipo; plano de gerenciamento de qualidade e das comunicações	Relatório de montagem do protótipo e plano de teste do protótipo
6	Protótipo analisado	Planejar testes do protótipo	Elaborar os planos de teste do protótipo e dos componentes	GP; QU; PP	Metodologia de teste de produtos	Especificações de projeto; métodos de testes; normas de homologação	Planos de teste do protótipo e dos componentes
7	Protótipo, componentes e planos de testes laboratório e de campo	Realizar teste de laboratório e/ou de campo do protótipo e dos componentes	Preparar, realizar e monitorar teste de laboratório; elaborar e emitir relatório de teste de laboratório; preparar, realizar e monitorar teste de campo; elaborar e emitir relatório de teste de campo	GP; MK; PP; PM; SU; QU; SE; DP; PV	Laboratório de teste; normas técnicas; dados históricos experimentais e de testes de laboratório; local para teste de campo; instrumentação para teste de campo; sistema de documentação do projeto	Cronograma de desenvolvimento do produto; plano de fabricação; planos de testes dos componentes e do protótipo; requisitos dos usuários/clientes; especificações de projeto, metas de dependabilidade e de segurança	Relatórios de testes de laboratório e de campo dos componentes e do protótipo

continua

Tabela A.4 Desdobramento do projeto detalhado do produto (*continuação*)

Fase do projeto detalhado							
Índice de atividade	Entradas	Atividades	Tarefas	Domínios	Mecanismos	Controles	Saídas
8	Relatórios de montagem, de testes de laboratório e de campo dos componentes e do protótipo	Analisar relatórios do protótipo	Analisar desempenho do protótipo e ou dos componentes; avaliar conformidade com o projeto do produto; verificar necessidades de modificações no protótipo; emitir parecer sobre análise dos testes; estabelecer plano de ações corretivas; emitir plano de ações corretivas	GP; DP; PP; QU; MK	Análise de especialista; análise de testes; plano de ação corretiva do protótipo; sistema de documentação do projeto	Especificações de projeto; metas de dependabilidade e de segurança; planos de qualidade e das comunicações	Plano de ação corretiva do protótipo
9	Plano de ação corretiva do protótipo	Implementar plano de ação corretiva do protótipo	Realizar correções no projeto do produto e no protótipo; realizar novos testes dos componentes e/ou protótipo; emitir relatório de implementação das ações corretivas	GP; PP; PM; QU; PR; MK; SE; DP; PV	Desenhos de componentes; laboratório de protótipos; teste de laboratório; teste de campo; relatório de ações corretivas; sistema de documentação do projeto	Divergências de montagem do protótipo; relatório de teste de laboratório e de campo; plano de qualidade e das comunicações	Relatório de implementação das ações corretivas
10	Relatório de implementação das ações corretivas; protótipo	Submeter o protótipo à aprovação	Avaliar relatório de implementação das ações corretivas; verificar atendimento às especificações de projeto; aprovar o protótipo do produto	Todos	Reunião da equipe de desenvolvimento; formulário de aprovação do protótipo; sistema de documentação do projeto	Relatórios de teste de laboratório e de campo do protótipo; plano de gerenciamento da qualidade e das comunicações	Protótipo do produto aprovado

continua

Tabela A.4 Desdobramento do projeto detalhado do produto (continuação)

Fase do projeto detalhado							
Índice de atividade	Entradas	Atividades	Tarefas	Dominios	Mecanismos	Controles	Saídas
11	Responsáveis pelo detalhamento dos componentes; desenhos dos componentes; desenhos de layout final	Completar os dimensionamentos, detalhamentos e desenhos dos componentes	Definir cronograma de detalhamento dos componentes; completar a otimização detalhada de forma, materiais, superfícies, tolerâncias e ajustes dos componentes; monitorar conformidade com as normas e critérios de homologação dos componentes; completar os desenhos dos componentes e montagem do produto; adquirir componentes para homologação de conformidade	GP; PP; PM; MK; SU; SE; DP; PV; AF	Análise de especialista; diretrizes de durabilidade, segurança, ergonomia, estética, produção, montagem, controle de qualidade; padronização, transporte, manutenção e reciclagem; desenhos de componentes e de montagem; catálogos de componentes; metodologia de estimativa de custos; sistema de documentação do projeto	Cronograma de desenvolvimento; especificações de projeto; normas técnicas e de homologação; desenhos dos componentes; estimativa de custo dos componentes e módulos; plano de qualidade e das comunicações	Cronograma de liberação da documentação; componentes otimizados; estado de atendimento às normas de homologação; desenhos de componentes e de montagem; estimativa de custos do produto
12	Desenhos dos componentes e montagem do produto	Fixar as especificações técnicas do produto	Completar as especificações técnicas; aprovar e emitir as especificações técnicas do produto	GP; PP; MK; SU; QU	Especificações de projeto; sistema de documentação do projeto	Especificações de projeto; plano de gerenciamento da qualidade e das comunicações	Especificações técnicas do produto
13	Requisitos iniciais de manufatura; fatores de influência no plano de manufatura	Detalhar o plano de manufatura do produto	Definir e detalhar o tipo de arranjo físico da produção; determinar locais de fabricação e de montagem; definir especificações das máquinas-ferramenta, dos dispositivos e das ferramentas para fabricação dos componentes; planejar rotas de fabricação e padrões de manufatura; definir padrões de fabricação e de montagem; estimar custo de manufatura; emitir plano de manufatura	PM; PR; QU; AF	Análise de fluxo de produção; projeto detalhado do arranjo físico da produção; catálogos de máquinas, dispositivos e ferramentas; diagramas de processo de operações; análise de especialista; metodologia de estimativa de custo de manufatura; plano de manufatura; sistema de documentação do projeto	Requisitos de manufatura; capacidade de manufatura interna; desenhos de componentes e de montagem; custo de manufatura do protótipo; plano de gerenciamento da qualidade e das comunicações	Plano de manufatura do produto

continua

Tabela A.4 Desdobramento do projeto detalhado do produto (*continuação*)

Fase do projeto detalhado							
Índice de atividade	Entradas	Atividades	Tarefas	Domínios	Mecanismos	Controles	Saídas
14	Amostras dos componentes	Iniciar a certificação dos componentes fabricados e comprados	Identificar as amostras dos componentes; realizar inspeções nos componentes recebidos; emitir certificados de aprovação de amostras	DP; PP; QU; GP	Identificação dos componentes; certificados de aprovação de amostras; metrologia; sistema de documentação do projeto	Solicitação de amostras dos componentes; desenhos dos técnicos; normas identificadas; plano de gerenciamento da qualidade e das comunicações	Amostras identificadas; solicitação de inspeção de amostras; certificados de aprovação de amostras de componentes
15	Planejamento de marketing; especificações técnicas do produto; desenhos de componentes e de montagem	Elaborar manual de assistência técnica do produto	Elaborar os procedimentos de assistência técnica; definir ferramentas para assistência técnica; elaborar os procedimentos de segurança no transporte, na operação e na manutenção do produto; redigir manual de assistência técnica	MK; DP; QU; PV; SE; GP	Análise de especialista; catálogo de peças do produto; modelos de redação de manuais de assistência técnica; sistema de documentação do projeto	Plano de gerenciamento da qualidade e das comunicações; relatório de segurança e de dependabilidade do produto	Procedimentos de segurança e de assistência técnica; catálogo de peças; manual de assistência técnica
16	Manual de assistência técnica do produto; especificações técnicas do produto	Elaborar o manual de instruções do produto	Redigir informações de transporte; manutenção; armazenamento; instalação; colocação em serviço; utilização; situação de emergência e de descarte	DP; QU; SE; DP; GP	Análise de especialista; procedimentos de operação; modelos de redação de manuais de instruções	Necessidades de clientes/usuários; especificações técnicas; relatório de segurança e de dependabilidade do produto	Manual de instruções
17	Desenhos dos componentes e de montagem; especificações técnicas; plano de manufatura; certificados de aprovação de amostras	Revisar documentação de projeto e de manufatura do produto	Revisar desenhos, documentos relativos ao projeto do produto, ao plano de manufatura e estrutura do produto; concluir documentação do produto	PP; PM; GP	Análise de especialista; documentação do produto; sistema de documentação do projeto	Estrutura do produto; plano de gerenciamento da qualidade e das comunicações	Documentação do produto

continua

Tabela A.4 Desdobramento do projeto detalhado do produto (continuação)

Fase do projeto detalhado							
Índice de atividade	Entradas	Atividades	Tarefas	Domínios	Mecanismos	Controles	Saídas
18	Documentação do produto	Implementar o controle das mudanças do projeto	Verificar mudanças realizadas; comunicar as mudanças; adicionar mudanças à documentação	GP; PP	Sistema de controle de mudanças	Plano de gerenciamento da qualidade	Controle de mudanças do projeto
19	Documentação do produto; análise de fluxo de caixa; viabilidade econômica do produto	Preparar solicitação de investimentos do produto	Verificar custo do produto, do ferramental para produção, de lançamento, de propagação, de desenvolvimento do produto; emitir relatórios de custos; atualizar preço de venda, fluxo de caixa; elaborar e emitir a solicitação de investimentos para produção do produto	AF; PP; PM; MK; GP	Análise de especialista; relatórios de custo do produto, do ferramental, de lançamento, de propagação; de desenvolvimento do produto; fluxo de caixa; curva S; solicitação de investimento do produto; sistema de documentação do projeto	Custo-métra do produto; plano de gerenciamento da qualidade e das comunicações; plano de manufatura; orçamento de lançamento, de propagação; e de desenvolvimento; preço de venda; recursos financeiros	Relatórios atualizados de custo do produto, ferramental, lançamento, propagação e desenvolvimento do produto; preço atualizado de venda; fluxo de caixa; solicitação de investimento do produto
20	Solicitação de investimento; relatórios de custo do produto, de ferramental, de lançamento, de propagação e desenvolvimento; preço de venda	Avaliar e aprovar solicitação de investimento	Verificar se a solicitação de investimento atende ao plano de negócio; analisar relatórios de custo do produto, de ferramental, de lançamento, de propagação e desenvolvimento do produto; comparar custo com preço de venda do produto, emitir parecer e aprovar solicitação de investimento	Todos	Análise de especialista; reunião da equipe de desenvolvimento; sistema de documentação do projeto; formulário de aprovação de investimento	Plano estratégico de negócios; orçamento de desenvolvimento do projeto; custo-métra; preço de venda; plano de gerenciamento da qualidade e das comunicações	Solicitação de investimento do produto aprovada

continua

Tabela A.4 Desdobramento do projeto detalhado do produto (*continuação*)

Fase do projeto detalhado							
Índice de atividade	Entradas	Atividades	Tarefas	Domínios	Mecanismos	Controles	Saídas
21	Plano de projeto	Monitorar progresso do projeto	Monitorar as atividades, utilização de recursos, variação de custo e de cronograma e riscos do projeto; avaliar resultados da equipe de desenvolvimento; emitir e distribuir relatório de progresso do projeto	GP	Análise de variação de custo e de cronograma; classificação de riscos; análise de especialista; sistema de documentação do projeto; correio eletrônico	Cronograma de desenvolvimento; orçamento de desenvolvimento; declaração de riscos do projeto; plano de gerenciamento de qualidade e das comunicações	Relatório de progresso do projeto
22	Plano de projeto	Atualizar plano de projeto	Verificar se todas atividades foram concluídas; atualizar lista de atividade, cronograma de desenvolvimento; aprovar orçamento de desenvolvimento; identificar os recursos físicos necessários para a fase preparação da produção; emitir plano de projeto atualizado	GP	Lista de atividades de projeto; análise de especialista; cronograma de desenvolvimento; orçamento de desenvolvimento; plano de projeto	Estrutura de decomposição do projeto; recursos físicos disponíveis; plano estratégico de negócios; plano de gerenciamento das comunicações	Plano de projeto atualizado
23	Solicitação de investimento; plano de projeto; ficha de aprovação de passagem de fase	Aprovar plano de projeto	Avaliar plano de projeto; preencher ficha de aprovação de passagem de fase; aprovar passagem de fase de projeto; liberar documentação do produto para a preparação da produção	GP; PP	Ficha de aprovação de passagem de fase; sistema de documentação do projeto	Plano de projeto atualizado; plano de gerenciamento da qualidade e das comunicações	Ficha de aprovação de passagem de fase; plano de projeto documentação do projeto
24	Saídas globais da fase; solicitação de investimento do produto; recursos financeiros; documentação do produto; passagem de fase; sistema de documentação do projeto						

Índice Remissivo

A

Abertura do projeto, 73
ABNT, 101, 438
Alinhamento estratégico, 161
Alocação
 de recursos, 103, 112, 147
 dos custos, 341
Alta tecnologia, 22, 58
Alternativas viáveis, 340
Ambiente
 de engenharia simultânea,
 43, 212, 339
 organizacional, 62
AMESim, 468, 472
Análise
 computacional, 23
 de compatibilidade, 500
 de custo, 337, 354
 de porta-fólio, 189
 de regressão, 344
 de risco, 353
 de sensibilidade, 352, 380,
 477, 498, 535
 dimensional, 446, 452
 do ponto de equilíbrio, 349
 do valor, 271
Analogia
 direta, 257
 pessoal, 259
 simbólica, 259
Apoio logístico, 561
Aprovação do protótipo, 81
Aspectos

 éticos, 387

 legais, 387

Atividade de projeto, 8, 339

Atributos

 básicos, 4, 216

 típicos, 216

B

Banco de patentes, 389

Barreiras

 da criatividade, 251

 da implantação da ES, 61

Benchmarking, 19, 212

Brainstorming, 252

Busca

 de anterioridades, 392

 de informações, 388

 internacional, 406

C

Capacidade tecnológica, 14, 210

Características de engenharia,
 219

Carta patente, 396

Casa da qualidade, 213

Ciclo de vida do produto, 207

Código de Defesa do Consumi-
 dor, 411

Competitividade do produto, 16

Comportamento ético, 387

Composição de custos, 272

Comprometimento de custos, 334

Concessão

 da patente, 396

- do registro, 410
- Configuração, 37, 533
- Conformidade, 35, 369, 387
- Conjunto de soluções viáveis, 41, 525
- Controle
 - de processo, 507
 - de qualidade, 489
- Cooperação funcional, 57
- Criatividade, 248, 264, 297
- Crítérios
 - de seleção, 322, 366, 376
 - econômicos, 514
 - específicos, 370, 373
 - generalizados, 369
 - qualitativos, 377
 - quantitativos, 377
- Cronograma
 - de desenvolvimento, 68
 - do projeto, 134, 142
- Curva
 - de aprendizagem, 469
 - S, 185
- Custo
 - de aquisição, 336
 - de pós-venda, 336
 - do ciclo de vida, 336, 338, 343, 353
 - meta, 337
- D**
- Decomposição
 - do projeto, 74
 - funcional, 315
- Defesa do consumidor, 411
- Definição do escopo, 119, 126
- Delineamento do experimento, 507, 515
- Dependabilidade, 23, 71
- Desdobramento
 - da função global, 302
 - da função qualidade, 212
 - do custo do produto, 341
 - do produto, 128
- Desenho industrial, 395
- Desenvolvimento
 - do produto, 5, 31, 69
 - integrado do produto, 3, 45
- Design*, 5
- Designers*, 5
- Detentor da patente, 389
- Dimensionamento da solução, 522
- Documentação
 - de montagem, 83
 - do projeto, 421
- E**
- EDT, 74, 127, 129, 133
- Elicitação das necessidades, 209
- Engenharia
 - de requisitos, 201
 - legal, 416
 - reversa, 207, 324
 - seqüencial, 48
 - simultânea, 47, 52, 61
- Engenheiro perito, 416, 420
- Equipe
 - de projeto, 6, 114
 - multidisciplinar, 31, 63, 65
- Escopo
 - de atividades, 124
 - do produto, 123

- do projeto, 119, 125
- funcional, 123
- Espaço de projeto, 478
- Especificações de projeto, 201, 231
- Estabilidade, 498, 501
- Estado da técnica, 389, 393, 415
- Estimativa de custos, 139, 147, 344
- Estrutura
 - de funções, 40, 302, 319
 - do processo de projeto, 36
 - funcional, 303, 313
- Ética profissional, 422
- F**
- Fase do projeto
 - conceitual, 514
 - detalhado, 334
 - informacional, 513
 - preliminar, 41, 504
- Fases de projeto, 73, 207, 333
- FAST, 302
- Fatores de importância, 215, 531
- Fixação funcional, 249
- Fluxo
 - de caixa, 350
 - de energia, 302
 - de informações, 50, 180
- Formação de equipes, 53, 65
- Formulação da otimização, 522
- Função
 - critério global, 366
 - elementar, 315
 - global, 314
 - parcial, 303
 - perda, 491, 493
 - utilidade, 274, 374, 375, 378
- G**
- Geração de concepções, 252, 264
- Gerenciamento de projeto, 71, 97, 100
- Gerente de projeto, 109, 118
- Gestão
 - da inovação, 177
 - da tecnologia, 183
 - empresarial, 71
 - participativa, 66
- Gráfico de Gantt, 143
- H**
- Hábitos, 249
- Homologação, 83
- I**
- Iceberg*, 335
- Impacto da tecnologia, 194
- Industrial design*, 5
- Inovação
 - do produto, 247
 - tecnológica, 177
- Inteligência competitiva, 176
- Invenção, 6, 206, 394
- J**
- Júri, 419
- L**
- Lançamento do produto, 85
- Leiaute, 79
- Lista de requisitos, 37
- Litígios, 416
- Lote piloto, 69, 83

M

Macrofases, 68

Mantenabilidade, 71, 560

Manutenção

corretiva, 560

preventiva, 560

Mapeamento tecnológico, 163,
187

Marca

coletiva, 409

de certificação, 409

de produto, 409

Marketing, 71

Matriz

balanceada, 115

de contradições, 291

de projeto, 115

de responsabilidades, 117

dimensional, 448

experimental, 510

gráfica, 269

morfológica, 264

Método

da análise do valor, 271

da função utilidade, 368

da instigação de questões,
262

da listagem de atributos, 262

da síntese funcional, 297

de Akao, 215

de Delphi, 255

de Pugh, 368, 373

de Taguchi, 504

de triagem, 371

dos princípios inventivos,
289

QFD, 212

sinético, 259

Metodologia de projeto, 7

Mock-up, 79

Modelagem

da concepção, 521

de sistemas, 461

dinâmica, 442

Modelo

analógico, 446

computacional, 469

de referência, 68, 71

diacrônico, 439, 462

em escala, 447

icônico, 458

integrado, 52

PRODIP, 68

sincrônico, 462

Modularidade, 538

Módulo

adaptativo, 538

auxiliar, 538

básico, 538

especial, 540

Montabilidade, 216

Multifuncionais, 48

N

Necessidades dos usuários, 203

Nicho de mercado, 4

Nulidade de patente, 388

O

OMPI, 391, 405

Orçamento

de custos, 149

do projeto, 119

Ordenação das concepções, 378,
380

- Organização
 - do trabalho, 73
 - funcional, 108
 - linear, 108
 - matricial, 111
- Otimização
 - das especificações, 81
 - integrada do produto, 531
 - matemática, 524
 - multidisciplinar, 522
- P**
- Paralisia cultural, 58
- Parâmetros
 - conflitantes, 283
 - de engenharia, 283
 - de projeto, 487, 500
- Patente
 - de invenção, 396
 - de modelo de utilidade, 396
- Patenteabilidade, 392
- Pedido
 - de patente, 389
 - de patente internacional, 405
 - de registro, 403
- Perfil de uso, 539
- Perfis
 - de custo, 348
 - de soluções, 381
- Perito judicial, 416
- Pesos dos critérios, 375
- Planejamento
 - da manufatura, 34
 - de produtos, 159
 - de recursos, 146
 - do escopo, 125
 - do experimento, 506
 - estratégico, 117
- Preço de venda, 337
- Precisão de avaliação, 341
- Preparação da produção, 83
- Previsão
 - de custo, 345
 - tecnológica, 210
- Princípios inventivos, 285
- Procedimentos prescritivos, 32
- Processo
 - de inovação, 247
 - de modelagem, 441
 - de projeto, 51
 - de simulação, 462
- Produto, 4
 - robusto, 507
- Projeto, 5
 - conceitual, 77
 - de evolução, 206
 - de experimento, 496
 - de inovação, 206
 - de parâmetros, 495
 - de tolerâncias, 497
 - de variação, 206
 - detalhado, 81
 - informacional, 75
 - preliminar, 79
 - reverso, 206
 - robusto, 504
- Projeto para
 - apoio logístico, 561
 - competitividade, 12
 - confiabilidade, 555
 - configuração, 533
 - custo, 334
 - embalagem, 550
 - estética, 536

- inspeção, 557
- manutenibilidade, 559
- manufatura, 546
- meio ambiente, 562
- modularidade, 538
- montagem, 548
- precisão, 534
- qualidade, 12
- segurança, 541
- teste, 544
- uso amigável, 553
- Propriedade
 - industrial, 399
 - intelectual, 405
- Protótipo, 446
- Prototipagem rápida, 466
- Q**
- QFD, 212
- Qualidade
 - do produto, 7, 214
 - total, 523
- Questão Evocativa – QE, 261
- R**
- Rastreabilidade, 235
- Realidade virtual, 212
- Redundâncias, 556
- Registro
 - de desenho industrial, 403
 - de marcas, 407, 410
- Reivindicações, 400
- Relatório descritivo, 399
- Requisitos
 - de forma, 79
 - de projeto, 204
 - dos usuários, 204
- Responsabilidade civil, 411
- Retorno de investimento, 351
- Riscos
 - de desenvolvimento, 374
 - do projeto, 119
- Robustez, 509
- Ruído, 489
- S**
- Seleção da concepção, 365
- Simulação de soluções, 435
- Simuladores
 - integrados, 457
 - veiculares, 443
- Síntese funcional, 297
- Sistema de documentação, 421
- Sistemas
 - especialistas, 457
 - técnicos, 215, 297
- Sistematização
 - do conhecimento, 24
 - do processo, 32
- Solução
 - de compromisso, 283
 - de referência, 371
- Soluções
 - úteis, 369
 - alternativas, 262, 342, 461
- SWOT, 176
- T**
- Taxa
 - de falhas, 370
 - de melhoramento, 215
 - de utilização, 351, 556
- Telhado da *casa da qualidade*, 228
- Testes acelerados, 440

Triagem de soluções, 371

TRIZ, 264

U

Uso de glossário, 222

Usuário, 203

Usuários

 diretos, 209

 externos, 209

 indiretos, 209

 intermediários, 209

 internos, 209

V

Validação

 do produto, 87

 do projeto, 87, 106

Valor

 agregado, 22, 357

 futuro, 350

 presente, 348

Valoração

 das concepções, 374

 dos critérios, 377

 dos requisitos, 219

Vantagens competitivas, 14, 175

Variantes de produtos, 4

Verificação do escopo, 126

Viabilidade

 econômica, 333

 física, 367

 técnica, 79, 168

Vigilância tecnológica, 183

W

WBS, 127

X

x-bilidade, 523

PROJETO INTEGRADO DE PRODUTOS

PLANEJAMENTO, CONCEPÇÃO E MODELAGEM

Este livro apresenta, de forma estruturada, os processos e métodos adotados no projeto de produtos industriais. Oferece ao leitor uma metodologia que orienta o planejamento, a especificação de problemas de projeto e a concepção de produtos. Seu conteúdo é baseado na experiência de pesquisa e ensino, desde a década de 1970, no Núcleo de Desenvolvimento Integrado de Produtos (NeDIP), do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). De autoria do Prof. Nelson Back, essa experiência gerou a primeira obra no Brasil sobre esse tema, publicada em 1983, sob o título *Metodologia de Projeto de Produtos Industriais*, que repercutiu muito bem, tanto no meio acadêmico quanto no industrial.

Por meio de conceitos modernos e linguagem apropriada, esta obra apresenta os aspectos relevantes do desenvolvimento de produtos, desde a identificação de necessidades de consumidores até o descarte. O processo de projeto é descrito em detalhes, considerando as fases informacional, conceitual, preliminar e detalhada. Exemplos de projetos realizados no NeDIP ilustram os conteúdos apresentados.

O livro é destinado aos estudantes de graduação que buscam aprender sobre o desenvolvimento de produtos e métodos para o processo de projeto, assim como aos estudantes de pós-graduação com interesse em aprofundar seus conhecimentos nos fundamentos de métodos aplicados no processo e aos profissionais de engenharia com interesse em processos sistematizados para orientar suas atividades de desenvolvimento de produtos.

Como livro-texto, é recomendado para cursos de graduação e pós-graduação em engenharia, em suas várias especialidades, oferecendo conteúdos básicos para as disciplinas de Metodologia de projeto e Projeto conceitual de produtos, bem como conteúdos complementares para as disciplinas de Gerenciamento de projetos, Confiabilidade e Modelagem de sistemas.

Projeto Integrado de Produtos: planejamento, concepção e modelagem mostra que a organização do processo de desenvolvimento de produtos traz melhores resultados para as empresas, que o desenvolvimento do projeto por equipes multidisciplinares apresenta maior potencial na solução de problemas e que o pensamento integrado durante o projeto reduz o retrabalho e o tempo total de desenvolvimento de produtos.



ISBN 978-85-204-2208-3



9 788520 422083