

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA

**SISTEMATIZAÇÃO DA CONCEPÇÃO DE PRODUTOS
AUXILIADA POR COMPUTADOR COM APLICAÇÕES NO DOMÍNIO
DE COMPONENTES DE PLÁSTICO INJETADOS**

TESE SUBMETIDA À UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
PARA OBTENÇÃO DO GRAU DE
DOUTOR EM ENGENHARIA MECÂNICA

ANDRÉ OGLIARI

FLORIANÓPOLIS, JULHO DE 1999

SISTEMATIZAÇÃO DA CONCEPÇÃO DE PRODUTOS AUXILIADA POR
COMPUTADOR COM APLICAÇÕES NO DOMÍNIO DE COMPONENTES
DE PLÁSTICO INJETADO

ANDRÉ OGLIARI

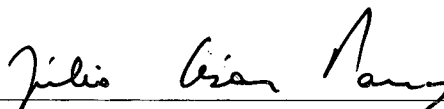
ESTA TESE FOI JULGADA PARA OBTENÇÃO DO TÍTULO DE

DOUTOR EM ENGENHARIA

ESPECIALIDADE ENGENHARIA MECÂNICA E APROVADA EM SUA
FORMA FINAL PELO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
ENGENHARIA MECÂNICA

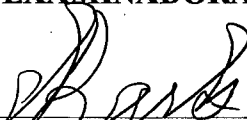


NELSON BACK, Ph.D. - ORIENTADOR



JÚLIO CESAR PASSOS, Dr. Eng. - COORDENADOR DO CURSO

BANCA EXAMINADORA



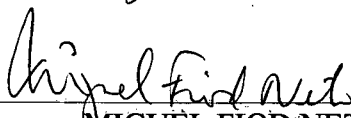
NELSON BACK, Ph.D. - PRESIDENTE



RONALDO SOARES DE ANDRADE, Ph.D.



GILBERTO DIAS DA CUNHA, Dr.Eng.



MIGUEL FIOD NETO, Dr.Eng.



CARLOS HENRIQUE AHRENS, Dr.Eng.

BIOGRAFIA DO AUTOR

André Ogliari, 36, é engenheiro mecânico formado em 1985 pela Universidade de Caxias do Sul - UCS, onde foi professor do Departamento de Engenharia Mecânica no período de 1989 a 1995. Em 1990 defendeu sua dissertação de Mestrado em Engenharia Mecânica na Universidade Federal de Santa Catarina, onde desde setembro de 1995 é professor do Departamento de Engenharia Mecânica.

DEDICATÓRIA

A Edilse,
pela compreensão e pelo carinho dedicados durante
a realização deste trabalho.

AGRADECIMENTOS

Ao professor Nelson Back, pela minha formação e pela confiança depositada durante a realização deste trabalho.

Aos professores Ronaldo S. de Andrade, Gilberto da Cunha, Miguel Fiod Neto e Carlos H. Ahrens, pelo incentivo e pelas sugestões para futuras pesquisas.

Aos bolsistas Iván J.E. Prado, Vanderlei C. da Silva, Allan Keller, Wilson C. Branco Neto e, em especial, a Leonardo S. Paulino, pelo apoio na implementação computacional.

Aos bolsistas Adriano E. Tubiana e Christian J. L. Hermes, pela colaboração em pesquisas e na formulação de idéias para este trabalho.

Aos colegas Carlos Cziulik, Patricia Faria e Claudiano Araujo, pela ajuda e prontidão no envio de material bibliográfico.

Ao amigo Tancredo Westphal Jr., pelo apoio durante as dificuldades enfrentadas no início deste trabalho.

À minha família, pela compreensão, carinho, apoio e acolhida durante os momentos críticos deste trabalho.

À Universidade de Caxias do Sul pela oportunidade de iniciar este trabalho.

Ao Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Santa Catarina, pelo apoio à continuidade e conclusão deste trabalho.

À CAPES, pelo apoio financeiro no início deste trabalho.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	X
LISTA DE TABELAS.....	xvi
LISTA DE SIGLAS.....	xvii
RESUMO	xviii
ABSTRACT	xix
CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO	1
1.1 - Generalidades e contextualização da tese.....	1
1.2 - Objetivos da tese.....	4
1.2.1 - Desenvolvimento de estrutura para o projeto conceitual de produtos viável à implementação de auxílios computacionais	5
1.2.2 - Desenvolvimento de estrutura de informações do projeto conceitual de produtos	6
1.2.3 - Operacionalização da concepção de produtos através de ferramentas da informática	7
1.2.4 - Desenvolvimento de aplicações para o domínio de componentes de plástico injetados.....	8
1.3 - Justificativas gerais da tese.....	9
1.3.1 - Metodologia de projeto	9
1.3.2 - Ferramentas computacionais.....	12
1.3.3 - Prática do projeto conceitual de produtos	15
1.4 - Conteúdo da tese	17
CAPÍTULO 2 - REVISÃO CRÍTICA DE METODOLOGIAS DE PROJETO E ANÁLISE DE VIABILIDADE COMPUTACIONAL.....	19
2.1 - Introdução.....	19
2.2 - Metodologias de projeto: visão geral	21
2.3 - Análise comparativa entre metodologias de projeto	24
2.4 - Viabilidade computacional de metodologias de projeto	28
2.4.1 - Viabilidade computacional das fases iniciais do projeto	31
2.5 - Considerações finais.....	35
CAPÍTULO 3 - CARACTERIZAÇÃO DE METODOLOGIA DE PROJETO E DIRETRIZES À IMPLEMENTAÇÃO DE AUXÍLIOS COMPUTACIONAIS AO PROJETO CONCEITUAL.....	37
3.1 - Introdução.....	37
3.2 - Metodologia de projeto e seus principais elementos.....	37
3.2.1 - Sistema metodologia de projeto.....	39
3.2.2 - Recipientes da metodologia de projeto	41
3.2.3 - Aplicação de metodologia de projeto.....	44
3.2.4 - Relações entre metodologia e processo de projeto	48
3.3 - Diretrizes para a implementação de auxílios computacionais ao projeto	51

3.3.1 - Principais diretrizes à implementação de auxílios computacionais ao projeto conceitual	55
3.4 - Considerações finais	60

CAPÍTULO 4 - PROJETO DE PRODUTOS DE PLÁSTICO INJETADOS:

ESTADO DA ARTE	61
4.1 - Introdução	61
4.2 - Generalidades	61
4.3 - Desenvolvimento de produtos de plástico injetados: estado da arte	65
4.3.1 - Desenvolvimento de produtos de plástico sob o enfoque da engenharia simultânea	66
4.3.2 - Desenvolvimento de produtos de plástico sob o enfoque de sistemas especialistas	74
4.3.3 - Desenvolvimento de produtos de plástico sob o enfoque funcional	81
4.4 - Síntese sobre o desenvolvimento de produtos de plástico injetados	88

CAPÍTULO 5 - SISTEMATIZAÇÃO DO PROJETO CONCEITUAL DE COMPONENTES DE PLÁSTICO INJETADOS VISANDO À IMPLEMENTAÇÃO COMPUTACIONAL.....

93	93
5.1 - Introdução	93
5.2 - Gabinetes moldados por injeção de plástico	96
5.2.1 - Natureza do projeto de gabinetes moldados por injeção	97
5.2.2 - Requisitos para o projeto de gabinetes	100
5.2.3 - Funções de gabinetes injetados	101
5.2.4 - Recomendações para o projeto de produtos de plástico injetados	102
5.2.5 - Ciclo de vida de produtos de plástico injetados	106
5.2.6 - Clientes do projeto de produtos de plástico injetados	110
5.3 - Metodologia para a concepção de produtos de plástico injetados	117
5.3.1 - Questionário estruturado	118
5.3.2 - "Casa da qualidade"	122
5.3.3 - Síntese de funções do produto	125
5.3.4 - Matriz morfológica	130
5.3.5 - Valoração das concepções alternativas do produto	141
5.3.6 - Síntese dos métodos de projeto	150

CAPÍTULO 6 - IMPLEMENTAÇÃO DE FERRAMENTAS COMPUTACIONAIS DE APOIO AO PROJETO CONCEITUAL DE COMPONENTES DE PLÁSTICO INJETADOS

154	154
6.1 - Introdução	154
6.2 - Proposições para a implementação computacional do SACPRO	155
6.3 - Apresentação das ferramentas computacionais implementadas	158
6.3.1 - DEFNEC	158
6.3.2 - QFD	168
6.3.3 - PRODEF	177
6.3.4 - MMORF	188
6.3.5 - MAVAL	199

6.4 - Natureza dos resultados obtidos com a utilização do SACPRO.....	202
6.5 - Considerações finais.....	202

CAPÍTULO 7 - PROJETO CONCEITUAL DE UM GABINETE:

ESTUDO DE CASO	204
7.1 - Introdução.....	204
7.2 - Problema de projeto	204
7.3 - Concepção do gabinete.....	206
7.3.1 - Estabelecimento das necessidades de projeto.....	206
7.3.1.1 - Síntese do processo de estabelecimento das necessidades de projeto do gabinete	212
7.3.2 - Estabelecimento dos requisitos de projeto	213
7.3.2.1 - Síntese do processo de estabelecimento dos requisitos de projeto do gabinete.....	219
7.3.3 - Estabelecimento das funções do gabinete	221
7.3.3.1 - Síntese do processo de estabelecimento das funções do gabinete	227
7.3.4 - Estabelecimento de concepções alternativas para o gabinete.....	229
7.3.4.1 - Síntese do processo de estabelecimento das concepções do gabinete.....	234
7.3.5 - Avaliação das concepções geradas.....	236
7.3.5.1 - Síntese do processo de avaliação das concepções alternativas do gabinete.....	239
7.4 - Considerações finais.....	240

CAPÍTULO 8 - CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES..... 243

8.1 - Introdução.....	243
8.2 - Conclusões.....	243
8.3 - Recomendações.....	245

APÊNDICE A - Análise crítica sobre a síntese de funções do produto..... 248

A.1 - Introdução.....	248
A.2 - Síntese de funções segundo a escola alemã de projeto	248
A.3 - Demais proposições para a síntese de funções do produto.....	258
A.4 - Considerações gerais sobre as abordagens funcionais	264
A.5 - Ícones de projeto	264

APÊNDICE B - Formulação de questões e preparação de questionário estruturado para auxiliar no levantamento de necessidades de projeto 268

B.1 - Introdução	268
B.2 - Formulação de questões de projeto	268
B.3 - Caracterização de questões de projeto e preparação dos questionários estruturados.....	278

APÊNDICE C - Análise crítica da utilização da "casa da qualidade" no projeto conceitual de produtos 279

C.1 - Introdução	279
C.2 - Utilização da "casa da qualidade" no projeto conceitual de produtos.....	281
C.3 - Processo de construção da "casa da qualidade"	282

C.3.1 - Levantamento e sistematização das necessidades de projeto	283
C.3.2 - Valoração das necessidades de projeto	285
C.3.3 - Tradução de necessidades em requisitos de projeto	286
C.3.4 - Relacionamento entre necessidades e requisitos de projeto	290
C.3.5 - Compromissos entre os requisitos de projeto	294
C.4 - Considerações Finais	298
APÊNDICE D - Ícones de projeto dedicados ao domínio de gabinetes moldados por injeção.....	299
APÊNDICE E - Princípios de solução para gabinetes moldados por injeção.....	301
APÊNDICE F - Uma proposta para a implementação de sistema especialista de apoio à concepção de gabinetes injetados.....	317
F.1 - Introdução.....	317
F.2 - Formulação do problema.....	317
F.3 - Protótipo de demonstração	319
F.4 - Considerações finais.....	326
APÊNDICE G - Informações e resultados referentes ao projeto conceitual do gabinete	327
G.1 - Coletor de dados DA-400 DATALAN [96]	328
G.2 - Questões de projeto obtidas com o auxílio do DEFNEC, sob a opção “seleção automática”	329
G.3 - Questões selecionadas no DEFNEC correspondentes à fase de projeto do gabinete.....	331
G.4 - Questões selecionadas no DEFNEC correspondentes à fase de fabricação do gabinete.....	333
G.5 - Exemplo de relatório após a aplicação dos questionários de projeto	335
G.6 - Declarações de necessidades para o projeto do gabinete geradas com auxílio do DEFNEC	337
G.7 - Exemplo de relatório dos relacionamentos efetuados entre necessidades e requisitos de projeto	339
G.8 - Exemplo de relatório dos relacionamentos efetuados entre os requisitos de projeto.....	341
Referências Bibliograficas	343

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1	- Estrutura geral dos elementos metodológicos para o projeto sistemático de produtos.	2
Figura 2.1	- Síntese comparativa entre metodologias de projeto.	27
Figura 2.2	- Modelo de consenso para o projeto sistemático de produtos.	27
Figura 2.3	- Metodologia de projeto segundo PAHL & BEITZ [12].	29
Figura 2.4	- Modelo TOTE, que representa a organização do processo de pensamento durante a solução de problemas [12].	30
Figura 2.5	- Modelo de transformação de informações [12].	30
Figura 2.6	- Matriz de produtos vs. mercados, recomendada para a análise da situação de mercado, segundo PAHL & BEITZ [12].	32
Figura 2.7	- Principais características do método morfológico.	34
Figura 3.1	- Determinação dos procedimentos de projeto e sua lógica (adaptado de ROOZENBURG & EEKELS [1]).	40
Figura 3.2	- Representação conceitual e abstrata do sistema metodologia de projeto.	40
Figura 3.3	- Estrutura de uma rede semântica configurada para representar parcelas de conhecimento na mente humana (adaptado de SOWA [37]).	42
Figura 3.4	- Contextualização da metodologia de projeto em relação às demais estruturas de conhecimento do homem.	43
Figura 3.5	- Síntese do contexto da metodologia de projeto de produtos.	44
Figura 3.6	- Situação hipotética de projeto num dado ambiente.	45
Figura 3.7	- Representação parcial de procedimentos de um dado método.	46
Figura 3.8	- Estados de informação e processo de projeto.	47
Figura 3.9	- Relações entre metodologia e processo de projeto.	49
Figura 3.10	- Modelo inicial abstrato para relacionar metodologia e processo de projeto.	50
Figura 3.11	- Evolução do modelo abstrato para relacionar metodologia e processo de projeto.	50
Figura 3.12	- Elementos metodológicos e sua estrutura.	51
Figura 3.13	- Modelo físico/funcional de processamento de informações (adaptado de ULLMAN [29]).	52
Figura 3.14	- Diferentes formas de armazenamento e recuperação de classes similares de conhecimento (adaptado de ULLMAN [29]).	54
Figura 3.15	- Modelo genérico de sistema de projeto auxiliado por computador.	56
Figura 4.1	- Processos de produção relacionados aos materiais plásticos (Adaptado de [43]).	62
Figura 4.2	- Abordagem de engenharia simultânea para o processo de desenvolvimento de componentes de plástico injetados [53].	67
Figura 4.3	- Típicas atividades, e suas sobreposições, no desenvolvimento de produtos de plástico [54].	68
Figura 4.4	- Ambiente computacional para o projeto conceitual do produto sob o enfoque da engenharia simultânea [55].	70
Figura 4.5	- Fluxo de informação e ciclo de vida do produto [55].	70
Figura 4.6	- Modelo para o CDFIM (<i>Compatibility-based design for injection molding</i>) [56].	71

Figura 4.7 - Exemplo de uma regra de projeto para análise da compatibilidade [56].	72
Figura 4.8 - Modelos de informação e aplicativos de suporte à decisão no projeto para moldagem por injeção [57].	73
Figura 4.9 - Exemplo de uma <i>feature</i> híbrida: <i>feature</i> ressaltado [59].	76
Figura 4.10 - Estrutura para o desenvolvimento de sistemas computacionais de apoio ao projeto de componentes moldados por injeção [60].	78
Figura 4.11 - Arquitetura do sistema IMDA [61].	79
Figura 4.12 - Modelo do processo de projeto de termoplásticos [61].	79
Figura 4.13 - Processos de DFX na fase de transição do projeto [61].	80
Figura 4.14 - Processo de projeto de componentes moldados por injeção [62].	81
Figura 4.15 - Árvore de funções do processo de moldagem por injeção [62].	82
Figura 4.16 - Exemplo de correção de geometria do componente [62].	83
Figura 4.17 - Combinações entre forma/função para um gabinete de plástico injetado [63].	84
Figura 4.18 - Descrição das operações do sistema de projeto ([64]).	86
Figura 4.19 - Exemplo de <i>features</i> e suas funcionalidades [65].	87
Figura 5.1 - Classificação geral de produtos de plástico injetados.	96
Figura 5.2 - Principais configurações de gabinetes. (a) tipo <i>frame</i> ; (b) bipartido (c) tipo gaveta. (adaptado de TRYLINSKI [68]).	97
Figura 5.3 - Principais enfoques no projeto de gabinetes moldados por injeção.	98
Figura 5.4 - Exemplos de gabinetes para aplicações gerais [66].	99
Figura 5.5 - Modelo genérico das relações de um gabinete em seu contexto.	101
Figura 5.6 - Recomendações típicas aplicáveis ao projeto conceitual de gabinetes moldados por injeção (adaptado de MALLOY [53]).	104
Figura 5.7 - Ciclo de vida para produtos de plástico injetados.	107
Figura 5.8 - Profissionais de projeto e seus envolvimento no projeto de produtos de plástico injetados (adaptado de HANADA & LEIFER [62]).	111
Figura 5.9 - Processo de estabelecimento das necessidades de projeto sob o método de questionário estruturado.	120
Figura 5.10 - Processo de estabelecimento dos requisitos de projeto sob o método da "casa da qualidade".	122
Figura 5.11 - Processo de estabelecimento das funções do produto e sua estrutura sob o método de síntese de funções.	126
Figura 5.12 - Exemplo de estrutura de funções de gabinetes.	127
Figura 5.13 - Exemplo de aplicação de regras gerais para o arranjo de funções.	128
Figura 5.14 - Processo de estabelecimento das concepções do produto sob o método morfológico.	131
Figura 5.15 - Exemplo parcial de organização das funções do produto na matriz morfológica.	132
Figura 5.16 - Características gerais de um princípio de solução sob as abordagens clássicas de projeto de engenharia (adaptado de PAHL & BEITZ [12]).	133
Figura 5.17 - Dificuldades na configuração clássica de um princípio de solução para o elemento nervura de um componente de plástico injetado.	133
Figura 5.18 - Exemplo de <i>feature</i> , conforme a definição de Grayer (1970) apud HOUNSELL [78].	134
Figura 5.19 - Entendimento genérico dos diferentes tipos de <i>features</i> .	135
Figura 5.20 - Modelo de informações para definir e caracterizar princípios de solução de produtos de plástico injetados.	136

Figura 5.21 - Representação gráfica do enfoque para a determinação das qualidades desejadas numa concepção do produto.	140
Figura 5.22 - Exemplo parcial dos resultados obtidos na matriz morfológica.	141
Figura 5.23 - Exemplo parcial de uma matriz de decisão (adaptado de ULLMAN [29]).	143
Figura 5.24 - Exemplo de uma matriz de avaliação (adaptado de BACK [3]).	144
Figura 5.25 - Exemplo parcial da caracterização qualitativa das concepções do produto.	145
Figura 5.26 - Exemplo parcial de valoração das qualidades desejadas para o produto.	147
Figura 5.27 - Processo de avaliação das concepções do produto.	149
Figura 5.28 - Morfologia do processo de projeto conceitual de produtos de plástico injetados.	151
Figura 6.1 - Interface de entrada no programa DEFNEC.	159
Figura 6.2 - Recursos para o cadastro de informações gerais sobre o projeto sendo realizado.	159
Figura 6.3 - Recursos para cadastrar questões de projeto na base de dados.	160
Figura 6.4 - Recursos para a preparação e aplicação dos questionários de projeto.	161
Figura 6.5 - Recursos para a definição de critérios para a busca automática de questões de projeto.	162
Figura 6.6 - Recursos para submeter questões via <i>e-mail</i>	162
Figura 6.7 - Recursos para gerar relatório das questões selecionadas.	163
Figura 6.8 - Recursos para a impressão de questionário.	163
Figura 6.9 - Recursos para a aplicação "on-line" de questionário.	164
Figura 6.10 - Recursos para auxiliar no estabelecimento das necessidades (ou requisitos) de projeto.	165
Figura 6.11 - Recursos dedicados para auxiliar no estabelecimento de necessidades de projeto (típicas necessidades de projeto).	166
Figura 6.12 - Estrutura para configurar uma busca especializada de questionários estruturados.	168
Figura 6.13 - Interface de entrada no programa QFD.	169
Figura 6.14 - Interface de operação do QFD.	169
Figura 6.15 - Entrada de dados no QFD.	170
Figura 6.16 - Recursos para a edição de necessidades de projeto.	171
Figura 6.17 - Recursos para a edição dos requisitos de projeto.	172
Figura 6.18 - Interface de apresentação gráfica dos resultados da "casa da qualidade".	172
Figura 6.19 - Recursos para a edição dos relacionamentos entre necessidades e requisitos de projeto.	173
Figura 6.20 - Recursos para a atribuição dos relacionamentos entre os requisitos de projeto.	174
Figura 6.21 - Apresentação dos resultados na matriz após a atribuição dos relacionamentos e cálculo da importância dos requisitos de projeto.	175
Figura 6.22 - Idéia para um mecanismo de auxílio à tradução de necessidades em requisitos de projeto.	176
Figura 6.23 - Interface de entrada no programa PRODEF.	178
Figura 6.24 - Opções da base de dados do PRODEF.	179
Figura 6.25 - Recursos para o cadastro de funções na base de dados.	179
Figura 6.26 - Visualização das funções cadastradas na base de dados do PRODEF.	180
Figura 6.27 - Visualização dos símbolos de funções cadastrados no PRODEF.	181
Figura 6.28 - Recursos para inserir novos símbolos na base de dados do PRODEF.	181
Figura 6.29 - Recursos para a inclusão de "ícones de projeto".	182
Figura 6.30 - Recomendações para auxiliar na estruturação das funções do produto.	183

Figura 6.31 - Recursos para visualização das necessidades e requisitos de projeto e seleção de "ícones de projeto"	183
Figura 6.32 - Apresentação das funções selecionadas na base de dados a partir dos "ícones de projeto" selecionados pelo projetista.....	184
Figura 6.33 - Funções selecionadas, representadas graficamente no PRODEF.....	184
Figura 6.34 - Edição gráfica das estruturas de funções no PRODEF.....	185
Figura 6.35 - Visualização de atributos/valores das funções cadastradas.....	186
Figura 6.36 - Recursos para a avaliação da estrutura de funções do produto.	187
Figura 6.37 - Exemplo hipotético de avaliação automatizada da estrutura de funções do produto.....	188
Figura 6.38 - Interface de entrada no programa MMORF.	189
Figura 6.39 - Estrutura inicial da matriz morfológica.....	189
Figura 6.40 - Estrutura de atributos para cadastrar princípios de solução de componentes injetados.	190
Figura 6.41 - Apresentação das funções do produto na matriz após a operação de "Importar Funções"	191
Figura 6.42 - Recursos para a inserção manual de funções na matriz morfológica.	192
Figura 6.43 - Resultado da lista de funções após a inserção manual de funções e opção para a remoção de funções.	192
Figura 6.44 - Opções para a inserção automática de princípios de solução na matriz.....	193
Figura 6.45 - Princípios de solução inseridos na matriz morfológica.....	194
Figura 6.46 - Recursos para a inserção manual de princípios de solução na matriz.....	194
Figura 6.47 - Recursos para a remoção de princípios da matriz.....	195
Figura 6.48 - Recursos para a definição de estratégias de eliminação de princípios.....	196
Figura 6.49 - Princípio indicado para a eliminação após definidas as estratégias de eliminação.	197
Figura 6.50 - Princípios selecionados para configurar uma dada concepção do produto.....	197
Figura 6.51 - Apresentação da concepção gerada para o produto.	198
Figura 6.52 - Visualização das características de um princípio de solução.....	198
Figura 6.53 - Interface de entrada no MAVAL.....	199
Figura 6.54 - Requisitos de projeto <i>versus</i> qualidades das concepções geradas.....	200
Figura 6.55 - Recursos para a atribuição de relacionamentos entre requisitos e qualidades das concepções.	201
Figura 6.56 - Classificação das concepções segundo seus valores.....	201
Figura 6.57 - O SACPRO como um elemento do sistema de projeto auxiliado por computador.....	203
Figura 7.1 - Principais elementos do coletor de dados (APÊNDICE G, item G.1).....	205
Figura 7.2 - Detalhes construtivos e funcionais do gabinete.....	206
Figura 7.3 - Exemplo de recursos utilizados para auxiliar na geração das declarações de necessidades para o projeto do gabinete.....	210
Figura 7.4 - Exemplo de visualização parcial das necessidades de projeto geradas e registradas com auxílio do programa DEFNEC.....	211
Figura 7.5 - Síntese dos procedimentos, recursos e resultados, sob o processo de estabelecimento das necessidades de projeto, com auxílio do programa DEFNEC.....	212
Figura 7.6 - Arquivo correspondente às necessidades de projeto, sendo recuperado no programa QFD.	214
Figura 7.7 - Declarações de necessidades para o gabinete, após a revisão e valoração.	214

Figura 7.8 - Exemplo de procedimento adotado na “tradução” de necessidades em requisitos de projeto, sob auxílio dos recursos promovidos pelo programa QFD.....	215
Figura 7.9 - Exibição da “casa da qualidade” após a “tradução” das necessidades em requisitos de projeto do gabinete.....	216
Figura 7.10 - “Casa da qualidade” para o projeto conceitual do gabinete.....	218
Figura 7.11 - Síntese dos procedimentos, recursos e resultados no processo de estabelecimento dos requisitos de projeto, com auxílio do programa QFD.....	220
Figura 7.12 - Recursos utilizados para a seleção de “ícones de projeto” na identificação de funções para o gabinete.....	222
Figura 7.13 - “Ícones de projeto” selecionados para o projeto do gabinete.....	222
Figura 7.14 - Funções identificadas para o gabinete, através dos “ícones de projeto”.....	224
Figura 7.15 - Exibição gráfica das funções identificadas para o gabinete a partir dos “ícones de projeto”.....	225
Figura 7.16 - Cadastro de uma nova função na base de dados.....	226
Figura 7.17 - Estrutura de funções para o gabinete.....	227
Figura 7.18 - Síntese dos procedimentos, recursos e resultados obtidos no processo de estabelecimento das funções do gabinete, com auxílio do programa PRODEF.....	228
Figura 7.19 - Funções do produto apresentadas ao projetista após a operação de “Importar Funções”.....	229
Figura 7.20 - Matriz morfológica após a busca, na base de dados, de princípios de solução para as funções do gabinete.....	230
Figura 7.21 - Critérios estabelecidos para eliminação de princípios de solução e suas respectivas associações.....	231
Figura 7.22 - Matriz morfológica resultante após a eliminação de princípios.....	231
Figura 7.23 - Matriz morfológica após o desenvolvimento e inserção de novos princípios.....	232
Figura 7.24 - Exemplo de concepção sendo gerada na matriz morfológica.....	233
Figura 7.25 - Exemplos de concepções geradas para o gabinete.....	233
Figura 7.26 - Síntese dos procedimentos, recursos e resultados obtidos no processo de estabelecimento das concepções alternativas para o gabinete.....	235
Figura 7.27 - Matriz de relacionamento de requisitos e qualidades que caracterizam as concepções do gabinete.....	237
Figura 7.28 - Matriz de relacionamento de requisitos e qualidades, após a atribuição dos relacionamentos.....	238
Figura 7.29 - Concepções valoradas para o gabinete.....	239
Figura 7.30 - Síntese dos procedimentos, recursos e resultados obtidos no processo de avaliação das concepções alternativas para o gabinete.....	240
Figura 7.31 - Exemplo de procedimento em direção à configuração geométrica do gabinete orientado pela concepção gerada.....	242
Figura A.1 - Etapas do projeto segundo Rodenacker (1970), apud PAHL & BEITZ [83].....	249
Figura A.2 - Estratégias para o desenvolvimento de princípios de solução, de acordo com o campo de aplicação (ROTH [84]).....	252
Figura A.3 - Exemplo de função total do produto que descreve um sistema de bombeamento (adaptado de BACK [3]).....	253
Figura A.4 - Estrutura de funções parciais/elementares de sistema técnico (adaptado de BACK [3]).....	253

Figura A.5 - Estrutura de operações básicas e sua variante (adaptado de BACK [3]).	253
Figura A.6 - Função global de um sistema técnico para testar corpos de prova [12].	255
Figura A.7 - Exemplo de uma estrutura de subfunções de um sistema técnico para testar corpos de prova [12].	255
Figura A.8 - Síntese do processo de solução de funções genéricas do produto, conforme PAHL & BEITZ [12].	256
Figura A.9 - Síntese das abordagens de projeto conceitual do produto, segundo a escola alemã de projeto de engenharia.	257
Figura A.10 - Exemplo de funções técnicas associadas aos elementos de forma do produto [87].	259
Figura A.11 - Exemplo parcial de uma "árvore de funções/meios" de um sistema telefônico [88].	260
Figura A.12 - Exemplo da representação de entidades e seus relacionamentos através de grafos conceituais [89].	261
Figura A.13 - Diagrama FAST para análise de um lápis [90].	263
Figura A.14 - Elementos de apoio à identificação e arranjo das funções de produtos.	264
Figura A.15 - Exemplo de modelo para a percepção de uma declaração de necessidade de projeto.	265
Figura B. 1 - Diretriz para a formulação de questões de projeto.	269
Figura C.1 - "Casa da qualidade" e seus principais elementos.	282
Figura C.2 - Exemplos de típicos requisitos de projeto.	287
Figura C.3 - Exemplo de auxílio à tradução de necessidades em requisitos de projeto.	289
Figura C.4 - Orientação geral para a configuração de uma estrutura de atributos do domínio de aplicação.	289
Figura C.5 - Exemplo de relacionamento atribuído pela comparação entre os tipos de atributos das declarações de necessidades e de requisitos.	292
Figura C.6 - Exemplo de relacionamento atribuído considerando a verificabilidade dos atributos da declaração de necessidade.	292
Figura C.7 - Exemplo de construção de uma base de conhecimento para auxiliar na atribuição de relacionamentos entre necessidades e requisitos de projeto.	293
Figura C.8 - Exemplo de configuração de uma rede de implicações para estabelecer os tipos de relacionamentos entre os requisitos de projeto.	295
Figura C.9 - Exemplo de reclassificação dos requisitos de projeto, considerando os graus de relacionamento do telhado da casa da qualidade (HERMES et al. [76]).	297
Figura F.1 - Sistematização das funções de gabinetes injetados.	318
Figura F.2 - Princípios para o estabelecimento de regras de identificação de funções de gabinetes injetados.	319
Figura F.3 - Exemplo parcial de configuração da base de conhecimento para auxiliar na identificação das funções de gabinetes.	320
Figura F.4 - Interface principal do protótipo de apoio à identificação de funções do gabinete.	323
Figura F.5 - Solicitação inicial do programa ao projetista.	323
Figura F.6 - Solicitação do programa ao projetista.	324
Figura F.7 - Resultado da busca promovida pelo programa.	324
Figura F.8 - Encadeamento de regras durante a pesquisa de funções.	325
Figura F.9 - Regras consideradas e testadas durante a pesquisa de funções.	325

LISTA DE TABELAS

Tabela 4.1 - Lista de funções normalmente atribuídas na prática de projeto de produtos de plástico injetados [65].....	88
Tabela 4.2 - Relações entre <i>features</i> e funções (principais) encontradas na prática de projeto de produtos de plástico injetados [65].....	88
Tabela 4.3 - Síntese das principais abordagens sobre o desenvolvimento de produtos de plástico injetados.....	90
Tabela 5.1 - Típicas funções de gabinetes de plástico injetados.....	103
Tabela 5.2 - Regras de projeto de produtos moldados por injeção de plástico.....	105
Tabela 5.3 - Definição de clientes do projeto de produtos de plástico injetados e suas principais características.....	113
Tabela 5.4 - Equipe de desenvolvimento de produtos de plástico injetados.....	116
Tabela 5.5 - Situações dos respondentes e meios para a aplicação de questionários recomendados.....	120
Tabela 5.6 - Estrutura de atributos do domínio de produtos de plástico injetados.....	123
Tabela 5.7 - Exemplos de "princípios de solução" para os elementos da manufatura do produto.....	138
Tabela 5.8 - Sistematização do projeto conceitual de produtos de plástico injetados, visando á implementação de auxílios computacionais.....	152
Tabela 6.1 - Estrutura para a implementação do SACPRO.....	156
Tabela 7.1 - Síntese das informações obtidas junto ao fabricante sobre o coletor de dados e seu gabinete.....	207
Tabela 7.2 - Lista dos "ícones de projeto" selecionados para o projeto do gabinete e as correspondentes associações.....	223
Tabela A.1 - Elementos das fases iniciais do projeto (adaptado de ROTH [24]).....	250
Tabela A.2 - Funções genéricas para o desenvolvimento da estrutura de funções de sistemas técnicos (Krumhauer (1974), apud PAHL & BEITZ [12]).....	256
Tabela A.3 - Funções primitivas que relacionam entidades de projeto, segundo HASHIM et al. [89].....	262
Tabela A.4 - Exemplo parcial de uma base de ícones de projeto relacionados a gabinetes de produtos em geral.....	267
Tabela B.1 - Estrutura de temas relacionados às fases do ciclo de vida de produtos de plástico injetados e questões de projeto associadas.....	270
Tabela D.1 - Base inicial de ícones de projeto relacionados a gabinetes de plástico injetado.....	299
Tabela E.1 - Princípios de solução para gabinetes de plástico.....	301

LISTA DE SIGLAS

CAD	Computer Aided Design
CAE	Computer Aided Engineering
CAM	Computer Aided Manufacturing
IA	Inteligência Artificial
KBS	Knowledge-Based System
SADEPRO	Sistema Auxiliado por Computador para Desenvolvimento de Produtos Industriais
WINSAPPI	Sistema de Apoio ao Projeto de Produtos Industriais
MODESSA	Morphological Design Support Aid
SACPRO	Sistema de Apoio à Concepção de Produtos
DEFNEC	Programa de auxílio à definição de necessidades de projeto
QFD	Programa de auxílio ao estabelecimento de requisitos de projeto
PRODEF	Programa de auxílio ao estabelecimento das funções do produto
MMORF	Programa de auxílio ao estabelecimento das concepções do produto
MAVAL	Programa de auxílio à avaliação das concepções alternativas do produto
CDFIM	Compatibility-based Design for Injection Molding
DFF	Design for Function
DFIM	Design for Injection Molding
ESMALT	Expert Plastic Material Selection
ESMOLD	Expert Mold Design Module
IMDA	Injection Moulding Design Assistant
DFx	“Design for X”
FAST	Functional Analysis System Technique
CV	Ciclo-de-Vida
NEDIP	Núcleo de Desenvolvimento Integrado de Produtos

RESUMO

Embora existam várias abordagens de metodologias para o projeto conceitual de produtos e algumas propostas de sistemas computacionais de apoio à concepção, verifica-se que, devido à natureza complexa desta atividade e visando à sua operacionalização computacional, há necessidade de se sistematizar o processo de concepção de produtos orientado aos métodos, ou aos meios de projeto, onde as “fronteiras de realização” sejam mais bem definidas. Em outras palavras, há necessidade de se sistematizar o processo de concepção de produtos, por meio de métodos dedicados aos principais problemas que se caracterizam nas fases iniciais do desenvolvimento de produtos.

Nesse sentido, a tese que se apresenta constitui-se em contribuição à evolução de metodologia para o projeto conceitual de produtos para a implementação de ferramentas dedicadas à concepção de componentes de plástico injetados, cujas funcionalidades auxiliam o projetista, desde o estabelecimento de necessidades de projeto até a avaliação de concepções alternativas para o componente.

Nesse contexto, as ferramentas implementadas, sob o sistema denominado SACPRO (Sistema de Auxílio à Concepção de PROdutos), foram: DEFNEC - programa de auxílio ao estabelecimento de necessidades de projeto do componente, sob o método de questionário estruturado; QFD - programa de auxílio ao estabelecimento dos requisitos de projeto do componente, sob o método da “casa da qualidade”; PRODEF - programa de auxílio ao estabelecimento das funções do componente, sob o método de síntese de funções; MMORF - programa de auxílio ao estabelecimento de concepções alternativas para o componente, sob o método da matriz morfológica; e MAVAL - programa de auxílio à avaliação de concepções alternativas para o componente injetado, sob o método de valoração de concepções.

Pretende-se, sob tais ferramentas, que o projetista conduza suas atividades de maneira efetiva e eficiente, possibilitando obter melhores resultados para problemas que se apresentam na concepção de componentes injetados. Condiciona-se a evolução da metodologia proposta e das ferramentas implementadas à sistematização dos conhecimentos e de processos cognitivos que se fazem necessários durante a concepção de produtos injetados.

ABSTRACT

Although exist several approaches to methodologies for the conceptual design of products and some proposals for computational systems to support the conceptual design, it is verified that, due to the complex nature of this activity and seeking its computational operationalization, there is a need to systematize the process of product conception guided to the design methods, or design means, where the "accomplishment frontiers" are better defined. In other words, there is need to systematize the process of product conception, through methods dedicated to the main problems that are characterized in the initial phases of the product development.

In this sense, the present thesis constitutes a contribution to the product conceptual design methodology and on the implementation of dedicated tools to the conception of injection molded plastic components, whose functionalities aid, from the establishment of design needs to the evaluation of conceptual alternatives for the component.

In this context, the implemented tools, under the denomination SACPRO system (Sistema de Auxílio a Concepção de PRODutos), are: DEFNEC - program to aid in the establishment of component design needs, under the structured questionnaire method; QFD - program to aid the establishment of the component design requirements, under the "house of quality " method; PRODEF - program to aid the establishment of the component functions, under the functions synthesis method; MMORF - program to establish the component conceptions alternatives, under the morphological method; and MAVAL - program to evaluate the component conceptions alternatives, under the conception valoration method.

It is intended, under such tools, that the designer develops its activities in an effective and efficient way, allowing to obtain better results for the problems presented in the conception of injection molded plastic components. The evolution of the proposed methodology and implemented tools is conditioned to the systematization of the knowledge and of cognitive processes that are necessary during the conception of injection molded plastic components.

CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO

1.1 - Generalidades e contextualização da tese

O homem interage com o seu ambiente, segundo ROOZEMBURG & EEKELS [1], por dois caminhos principais: da mente para o meio e do meio para a mente. As interações do meio para a mente caracterizam-se pela percepção e aquisição de conhecimento, cujo raciocínio pode ser estabelecido pela metodologia da ciência. Por outro lado, as interações da mente para o meio caracterizam-se pelas ações e, no campo tecnológico, pelas ações técnicas e de realização, cujo raciocínio pode ser estabelecido pela metodologia de projeto. Então, numa primeira abordagem, **a metodologia de projeto é estabelecida como uma forma de raciocinar sobre o meio e seus problemas, visando à realização de sistemas que venham a resolvê-los.**

Este trabalho apresenta-se como uma contribuição para a interação do homem e seu ambiente, auxiliando no caminho que vai da mente para o meio. Mais especificamente, trata-se de uma **sistematização do projeto conceitual de produtos auxiliada por computador.** Dessa forma, pretende-se que as ações técnicas e as realizações no campo conceitual de produtos possam ser conduzidas de forma eficiente, eficaz, efetiva e econômica, conforme teoria dos quatro “Es” apresentada por CHINELATO [2].

Eficiente, na medida em que as ações de projeto sejam desempenhadas sistemática, progressiva e harmonicamente, evoluindo das necessidades ao melhor conceito para o produto. **Eficaz**, quando o conceito estabelecido atende às necessidades dos clientes do projeto, ou seja, quando se obtém um conceito adequado para o produto, dentre as alternativas desenvolvidas. **Efetivo**, na medida em que o projeto seja iniciado e conduzido da melhor forma possível, até atingir seus objetivos, mantendo regularidade e continuidade no seu desenvolvimento. E **econômico**, quando os resultados são obtidos usando racionalmente os recursos disponíveis, sejam eles materiais, físicos ou mentais.

Para atingir estes propósitos é necessário, em primeiro lugar, estudar alguns elementos essenciais do projeto sistemático e estruturá-los para a concepção de produtos, objeto da presente tese. Esses elementos, denominados aqui de **elementos metodológicos**, são os **processos**, as **informações** e os **meios** de projeto.

Com base no princípio de que o projeto de produtos é um processo de transformação de informações, conforme BACK [3], os elementos metodológicos podem ser estruturados, numa

primeira abordagem, conforme a FIGURA 1.1. Ou seja, as informações de entrada (problemas a serem resolvidos ou situações de projeto) são suportadas por algum meio de projeto (base de dados, métodos de pesquisa e análise, entre outros) e são processadas de acordo com as ações ou atividades prescritas pela metodologia de projeto (estabelecer os princípios de solução para o produto, por exemplo). Essa transformação também é apoiada por determinados meios de projeto como o método morfológico. Após o processamento, ou seja, as ações de transformação, as informações resultantes representam os resultados do projeto (as soluções para os problemas de projeto), os quais devem ser comunicados para processos posteriores. Esses resultados são representados, por exemplo, através de esquemas gráficos ou desenhos das soluções obtidas, entre outros.

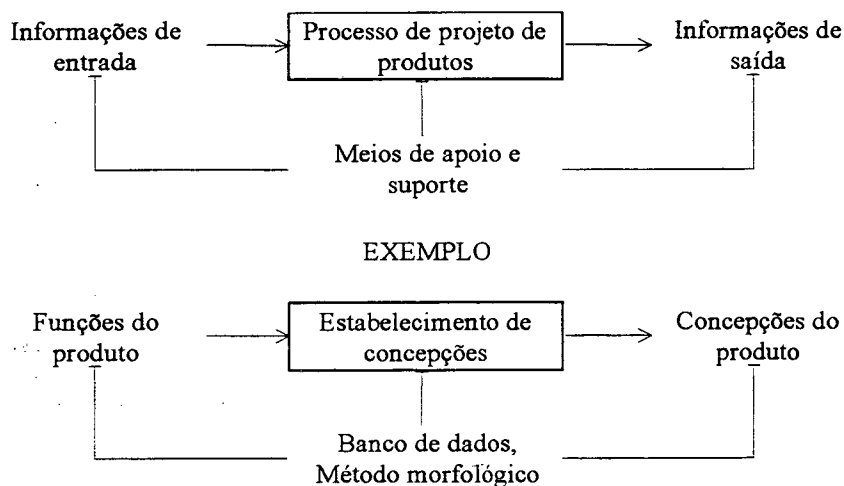


Figura 1.1 - Estrutura geral dos elementos metodológicos para o projeto sistemático de produtos.

A operacionalização da estrutura mostrada na FIGURA 1.1, através de ferramentas da informática, implica o levantamento das fontes de problemas e de soluções, do mercado e de sistemas técnicos existentes de um dado domínio, estabelecendo-os na forma de **informações** claras, objetivas e bem estruturadas. Numa ferramenta computacional isso depende da linguagem utilizada para a configuração de arquivos e de base de dados. Depende, também, da implementação da metodologia de projeto, incluindo seus métodos, através de ferramentas da informática (linguagens, “shells”, etc.), resultando em programas cujas funcionalidades implementam as características e os procedimentos de cada método. Os **processos** de projeto, por sua vez, precisam ser estabelecidos e delimitados para planejar a estrutura sob a qual se estabelece a lógica do projeto e sobre a qual serão desenvolvidas as ferramentas computacionais. Definem-se daí, por exemplo, os principais módulos de um sistema computacional e as relações entre eles.

Muitas abordagens de metodologias descritas na literatura tratam, de maneira mais ou menos detalhada e similar, daqueles elementos metodológicos e sua estrutura. Normalmente isso é feito na forma de fluxogramas das atividades do processo de projeto, estabelecendo a morfologia do processo de projeto [3]. Recentemente, esses modelos vêm sendo estudados e desenvolvidos sob o enfoque da operacionalização computacional de processos de transformação de informações voltados, principalmente, para a concepção de produtos. Isso pode ser comprovado pela análise de alguns autores sobre as linhas de pesquisa em países como Japão (TOMIYAMA [4]), Estados Unidos (ULLMAN [5]), Alemanha (HUNDAL [6]), Reino Unido (EDER [7]), entre outros.

No Brasil, não há uma avaliação detalhada sobre a situação de pesquisas e desenvolvimentos que vêm sendo conduzidos sobre teorias, metodologias de projeto e sua implementação computacional. Entretanto, a partir da literatura, verifica-se que existem esforços emergentes nessa direção. KOBAYASHI et al. [8], por exemplo, vêm trabalhando para integrar os sistemas CAD (Computer Aided Design) com ferramentas da IA (Inteligência Artificial). A idéia dos autores é o desenvolvimento de um “protocolo de conversação”, ou uma espécie de interpretador, entre os sistemas CAD, comercialmente disponíveis, e os sistemas baseados no conhecimento (KBS – Knowledge-Based System). Mais recentemente, foram apresentados programas em computador que implementam alguns métodos de projeto, tais como o QFD (Quality Function Deployment) e a matriz de avaliação de *Pugh* (MACHADO e DEDINI [9]).

FIOD [10], por sua vez, desenvolveu um sistema computacional denominado SADEPRO (Sistema Auxiliado por Computador para Desenvolvimento de Produtos Industriais), com que se comprovou a viabilidade de auxílios computacionais para as fases iniciais do processo de projeto de produtos. O SADEPRO, inicialmente implementado em ambiente operacional DOS, evoluiu, mais tarde para uma versão em ambiente Windows, desenvolvida por SILVA [11] e denominada WINSAPPI (Sistema de Apoio ao Projeto de Produtos Industriais).

As pesquisas e os sistemas citados estão entre os primeiros passos para a informatização das fases iniciais do processo de projeto, e as sugestões dos autores têm propiciado a condução de novas pesquisas nessa área, dentre as quais se insere o tema desta tese.

Com referência à FIGURA 1.1, o desenvolvimento de ferramentas computacionais de apoio ao projeto de produtos constitui, essencialmente, um problema de sistematização de processos e de informações de projeto, codificando-os através de alguma ferramenta da informática, como meio de operacionalização e suporte. Entretanto, o problema é mais complexo do que se apresenta. Sabe-se, por exemplo, que os domínios tratados na engenharia são bastante

amplos e possuem muitos relacionamentos entre si e com domínios de outras áreas do conhecimento. Hoje, em geral, os sistemas são configurados cada vez mais pela integração de diferentes tecnologias. Isso implica maior quantidade e diversidade de conhecimentos e informações de projeto e de problemas técnicos a serem resolvidos. Adicionalmente, não se encontram reunidas, num só local ou “volume”, as informações necessárias a um dado projeto, e muitas delas são de *propriedade* do próprio projetista: fazem parte da sua experiência. Portanto, desenvolver um sistema computacional com o propósito de auxiliar no projeto de qualquer tipo de produto da engenharia, mesmo que na sua fase conceitual, é um empreendimento para vários anos de pesquisa e desenvolvimento. Tal abrangência fundamenta-se, principalmente, na base de dados e de conhecimento necessária para constituí-lo.

Sob esse escopo, esta tese constitui contribuição para a informatização do projeto conceitual de produtos, considerando um domínio particular da engenharia. A metodologia e as ferramentas desenvolvidas foram orientadas ao auxílio no projeto conceitual de componentes de plástico injetados, ou seja, os procedimentos e a base de dados de projeto são dedicados a informações manipuladas no projeto conceitual de produtos daquele domínio. Além disso, com o propósito de empregar técnicas de sistemas especialistas, visando melhorar o desempenho das ferramentas computacionais, é necessário que o desenvolvimento seja iniciado em domínios e atividades mais restritas, tornando-o gerenciável. Após testes e refinamentos das ferramentas, a ampliação deve ser gradual, conduzindo os resultados para ferramentas profissionais.

Em síntese, a tese que se apresenta constitui contribuição ao estudo, desenvolvimento e evolução de ferramentas computacionais de apoio ao projeto conceitual de produtos, sendo dedicada ao domínio de componentes de plástico injetados, cujos objetivos estão fundamentados em diretrizes bem definidas, oriundas de trabalhos anteriores nesta linha de pesquisa.

1.2 - Objetivos da tese

Os objetivos desta tese estão fundamentados em diretrizes provenientes da experiência de trabalhos anteriores na implementação de auxílios computacionais para o projeto conceitual de produtos e da pesquisa na literatura sobre desenvolvimentos realizados nesta área. As principais diretrizes são:

- estudar o processo de projeto conceitual de produtos, visando contribuir para a sua evolução;
- desenvolver estruturas de informações de projeto, visando à implementação de base de dados de projeto;
- operacionalizar a concepção de produtos através de ferramentas computacionais, visando à

- eficiência e efetividade na aplicação de métodos de projeto; e
- dedicar ferramentas computacionais para domínios específicos da engenharia, tornando-as práticas e viabilizando a utilização de técnicas de sistemas especialistas.

Essas diretrizes também podem ser formuladas, no contexto desta tese, sob a seguinte orientação geral: “sistematização do conhecimento de projeto conceitual de produtos e a sua operacionalização através de ferramentas da informática, com aplicações no domínio de componentes de plástico injetados”. O detalhamento dessa orientação é feito, a seguir, na forma dos objetivos desta tese, com uma breve argumentação para justificá-los.

1.2.1 - Desenvolvimento de estrutura para o projeto conceitual de produtos viável à implementação de auxílios computacionais

O projeto sistemático de produtos constitui-se de certos elementos nos quais os projetistas se apóiam, conceitualmente, durante a execução de suas atividades. Esses elementos foram destacados no item 1.1 e denominados de **elementos metodológicos**. São eles, o processo, as informações e os meios de projeto.

Os **processos** de projeto, no contexto da concepção, constituem o conjunto daquelas atividades, procedimentos e regras que devem ser desempenhadas e aplicadas sistematicamente, desde a atribuição do problema de projeto até a sua solução conceitual. Eles expressam, em essência, “o que” o projetista deve fazer para conceber produtos em seus vários níveis de desenvolvimento. Os processos de projeto podem ser divididos em vários níveis de complexidade, desde orientações gerais até regras específicas. Por exemplo, uma orientação geral para a concepção de produtos poderia ser formulada como sendo “estabelecer a estrutura funcional do produto”, e uma regra, neste contexto, poderia ser: “se existe uma função ampliar força para o produto, então a grandeza de saída tem magnitude maior do que a grandeza de entrada”.

As **informações** são a “matéria-prima” sobre a qual o projetista trabalha e, também, “os resultados” a que ele chega. É com, e sobre, as informações que os processos e os meios de projeto são aplicados e, através de sua estrutura e formas de representação, que as soluções de projeto são formalizadas. As informações podem ser, por exemplo, um catálogo de princípios de solução, um conjunto de respostas sobre necessidades de projeto, uma lista de funções do produto, uma estrutura padrão de dados para descrever concepções de produtos, etc.

Os **meios** são o ferramental teórico e prático à disposição dos projetistas para que o processo de concepção possa ser conduzido e operacionalizado, viabilizando e efetivando a

obtenção de soluções de projeto. São, portanto, “*como*” o projetista deve fazer para conceber o produto. Os meios podem ser, por exemplo, papel e lápis para representar uma idéia, um programa de computador para realizar cálculos e armazenar os dados de projeto, planilhas da “casa da qualidade” para elaborar as especificações de projeto, método morfológico para a busca sistemática de concepções, linguagens para a representação do conhecimento, etc.

A estrutura para o projeto conceitual de produtos será estabelecida na medida em que houver a identificação e o arranjo adequado dos elementos metodológicos. Quanto mais bem sistematizada e clara ela for, tanto melhor será a viabilidade da implementação de auxílios computacionais, pois estes estão diretamente relacionados aos meios e às informações dessa estrutura.

O projeto conceitual de produtos visa obter uma ou mais concepções de produto para as manifestações oriundas das fontes de problemas ou para as necessidades de projeto, ou seja, para satisfazer os clientes do projeto, que são ponto de partida dessa estrutura. Desde as manifestações dos clientes do projeto até a obtenção das concepções do produto, uma série de ações é desempenhada pela equipe de desenvolvimento do produto. Logo, a eficiência da metodologia de concepção pode ser relacionada a quão bem formulado está o processo de projeto. Como formulação do processo de projeto entende-se o estabelecimento das ações necessárias, a seqüência na qual elas devem ser realizadas, a clareza na definição de seus objetivos, ou delimitação de suas fronteiras, e o estabelecimento das informações e de meios necessários para sua execução. Também, é através do estabelecimento adequado do processo de projeto, sua estrutura e detalhamento, que se chegará aos caminhos e/ou algoritmos necessários à implementação de auxílios computacionais à concepção de produtos.

Nesse sentido, o estabelecimento de uma estrutura para o projeto conceitual de produtos viável à implementação computacional constitui um dos objetivos desta tese e é desenvolvido considerando as propostas e os modelos encontrados na literatura e as tentativas de sistematização experimentadas.

1.2.2 - Desenvolvimento de estrutura de informações do projeto conceitual de produtos

Conforme descrito anteriormente, a informação, no contexto desta tese, é a “*matéria-prima*” com a qual o projetista trabalha e “*os resultados*” a que ele chega em cada uma das etapas do processo de projeto conceitual. São, por exemplo, as entradas e saídas de determinadas atividades de projeto. As informações são representadas através de linguagens, tais como a

escrita, a simbólica, de programação, entre outras. Um conjunto de informações, associado a uma dada linguagem de representação, pode constituir-se num modelo tratado no projeto conceitual. Através destes modelos representam-se, por exemplo, funções, princípios de solução, concepções, entre outros conceitos.

Considerando o processo de projeto como um processo de transformação de informações, torna-se necessário desenvolver uma estrutura de informações sobre a qual ele possa ser operacionalizado. Isso implica a sistematização de informações tratadas no projeto conceitual de produtos. Para tal, o levantamento, estabelecimento de bases de categorização, estabelecimento de padrões de representação e a construção de estruturas de base de dados de informações de projeto são objetos de grande importância na concretização dos resultados da presente tese e da base teórica para futuros desenvolvimentos.

É necessário, em primeiro lugar, identificar e caracterizar o tipo de informação que é tratada durante a concepção de produtos. Como há, sem dúvida, uma grande variedade de diferentes tipos, critérios adequados para a sua categorização são imprescindíveis. As informações são adquiridas, processadas e transmitidas através de algum tipo de linguagem ou modelo. Logo, a eficiência na utilização das informações passa pela padronização empregada em sua codificação. Também, a dispersão de informações de projeto é algo que dificulta o trabalho do projetista, pois o tempo requerido para a sua aquisição pode tornar ineficiente o processo de projeto e pode conduzir à subestimação de determinada informação em alguma atividade. Colocando-as na forma de base de dados, têm-se como aliadas as potencialidades que esta base pode oferecer, como fixação de grande número de informações, fácil e rápida recuperação, padronização, reutilização, etc.

1.2.3 - Operacionalização da concepção de produtos através de ferramentas da informática

Atualmente, as ferramentas e produtos da informática são cada vez mais amplos e variados. Desde no lazer até nas atividades técnicas ou científicas, a informática está presente como meio de operacionalização. No projeto de engenharia a aplicação da informática se dá, principalmente, no armazenamento, na computação, na representação e na exibição de dados. As pretensões futuras, pelas pesquisas em andamento, são de desenvolver programas e máquinas inteligentes.

No projeto de produtos são desempenhadas várias ações com diversos meios para suportá-las. Por exemplo, nas ações de estabelecimento dos requisitos de projeto de um produto,

utiliza-se a primeira matriz da “casa da qualidade” (método QFD – Quality Function Deployment), a qual é colocada em prática através de recursos como papel, lápis, régua, borracha, calculadora e algoritmos de processamento dos dados.

Em cada método de projeto, o projetista estabelece as informações, codifica-as, processa-as e decide sobre os resultados do processamento. Essa operacionalização é chamada, aqui, de manual ou mental/motora.

A operacionalização do processo de projeto através de recursos da informática pressupõe a utilização de hardware e software e de suas potencialidades para agilizar o estabelecimento, codificação, processamento e a futura tomada de decisão diante dos resultados do processamento. Essa agilidade é pretendida pelas capacidades dos recursos da informática, tais como memória, velocidade, reutilização, entre outros.

A utilização de um dado método de projeto pressupõe, também, um certo conhecimento sobre seus princípios e procedimentos que, se não forem adequadamente entendidos e valorizados pelo projetista, poderão levar à desmotivação e ao abandono do trabalho sistemático. Para a implementação em computador, os princípios e procedimentos de um dado método devem ser claramente estabelecidos. Devem ter características de auto-explicação. Isso, após implementado, faz com que a utilização do método de projeto seja efetivo, pois não poderão ser “deixadas de lado” partes dos procedimentos, caso contrário, o software não opera.

Sendo assim, estudar e identificar recursos da informática possíveis de serem utilizados e desenvolvidos para o projeto conceitual de produtos é também objetivo desta tese e, através dele, apresentam-se as ferramentas de apoio ao projeto conceitual de produtos como parte dos resultados obtidos.

1.2.4 - Desenvolvimento de aplicações para o domínio de componentes de plástico injetados

Os objetivos descritos anteriormente foram pretendidos para a formulação de um “*corpo de conhecimento*” sistematizado do projeto conceitual de produtos e a sua implementação na forma de ferramentas computacionais. Tais propósitos tiveram um caráter geral e amplo e são aplicáveis a qualquer domínio da engenharia. Entretanto, para tornar os desenvolvimentos pretendidos práticos, gerenciáveis e aplicáveis é necessário dedicá-los, num primeiro momento, a um dado domínio da engenharia. Adicionalmente, o emprego de técnicas de sistema especialista prevê domínios restritos nas fases iniciais do desenvolvimento.

O projeto conceitual de componentes de plástico injetados é um campo de conhecimento

emergente, pois, normalmente, se fala em projeto preliminar e detalhado destes componentes. Além de sua importância para o contexto atual, o projeto de componentes de plástico injetados traz vários desafios sob o aspecto metodológico. Em geral, as metodologias têm sido propostas para desenvolver produtos sob a filosofia de sistemas, ou seja, que processam grandezas de entrada em grandezas de saída, do tipo energia, material e sinal, conforme PAHL & BEITZ [12]. Entretanto, um componente de plástico é constituído, normalmente, de uma única parte ou peça, e o fluxo das grandezas sobre ele não fica muito claro. Apesar disso, um componente de plástico pode apresentar diversas funções, para as quais podem ser pesquisados, elaborados e avaliados princípios de solução alternativos.

Diante desses aspectos, a presente tese tem por objetivo dedicar conceitos, princípios e ferramentas desenvolvidas para o domínio de componentes de plástico injetados. Isso implica, em síntese, a sistematização de informações deste domínio e sua configuração através de base de dados. Também é necessário que estudos de caso de projeto conceitual sejam conduzidos neste domínio para analisar a aplicabilidade das ferramentas desenvolvidas.

Os objetivos declarados na presente tese sintetizam o escopo da pesquisa desenvolvida e apresentam uma idéia dos resultados pretendidos. Da maneira como se apresentam, têm um caráter geral e estão fundamentados em diretrizes consistentes. Em cada etapa da apresentação desta tese, esses objetivos tornar-se-ão claros e concretos, pois formam a base do desenvolvimento e da apresentação dos resultados obtidos.

1.3 - Justificativas gerais da tese

Em linhas gerais, na breve argumentação sobre cada objetivo descrito anteriormente, foram delineadas as primeiras justificativas para o desenvolvimento da presente tese. Cabe aqui avaliar esse assunto sob uma visão mais abrangente, procurando estabelecer as principais razões teóricas, os motivos práticos e as contribuições pretendidas do tema desenvolvido. Para tal, dividem-se as justificativas nos seguintes tópicos principais: da metodologia, das ferramentas computacionais e da prática de projeto conceitual.

1.3.1 - Metodologia de projeto

Na metodologia de projeto, os elementos metodológicos são estabelecidos e estruturados de forma a suportar o raciocínio do projetista quando este necessita entender e resolver um dado

problema de projeto. Por exemplo, se o problema de projeto é estabelecer a estrutura funcional de um produto, a metodologia deverá suportar o raciocínio, desde o entendimento do próprio problema até a representação das soluções obtidas na forma de uma linguagem adequada (fácil de utilizar e fácil para outros entenderem). Nesse caso, o projetista deve raciocinar sobre as funções de um produto e o que elas representam; estar ciente dos motivos de se estabelecerem as funções e onde elas serão utilizadas no desenvolvimento; deve saber o que precisa ser utilizado para estabelecer uma estrutura de funções do produto e como esta estrutura pode ser comunicada para os demais, entre outros. São vários os aspectos relativos a este problema sobre os quais o projetista deve raciocinar. Portanto, se isso não for adequadamente estruturado, as dificuldades, possibilidade de erros e esquecimentos serão ainda maiores.

Para analisar melhor essa questão, considere-se, como exemplo, a simulação de duas formas de raciocinar sobre o problema de estabelecimento da estrutura de funções do produto, conforme o que se segue.

- Raciocínio sem método:

(...) O que é uma estrutura de funções?, para que serve? (...) acho que é o que o produto deve fazer. (...) mas será que é isso mesmo? (...) supondo que seja isso, então, eu acho que esse produto deve fazer (...), (função x). (...) mas como é que eu vou fazer isso? (...) pode ser essa solução (solução y), ou talvez essa (solução w). Não, acho que esta solução é melhor (...).

- Raciocínio com método:

(...) funções do produto são o que o produto deverá desempenhar durante a sua utilização e constituem-se na base para a determinação de princípios de solução para o produto. É necessário verificar os requisitos funcionais estabelecidos anteriormente para que se possa iniciar esta tarefa. (...) são disponíveis os seguintes requisitos funcionais: RF1, RF2, ... A questão a ser resolvida é: primeiro, determinar a função técnica total do produto com suas entradas e saídas; segundo, identificar o fluxo principal de grandezas; terceiro, estabelecer funções nas fronteiras do sistema técnico; quarto, (...).

Nos casos anteriores, apesar de serem simulações simples do pensamento sobre o problema de síntese de funções de um produto, é possível inferir algumas observações. Nota-se, por exemplo, no primeiro caso, que o pensamento do projetista é desordenado, inicia com um questionamento sobre o assunto e passa de um problema sobre funções para um sobre soluções. Não há uma lógica muito bem definida naquele raciocínio.

No segundo caso, por outro lado, o raciocínio é estruturado de maneira lógica, existe uma seqüência de idéias sendo estabelecidas a partir de um conceito entendido, e há uma evolução do raciocínio, desde uma proposição inicial até as conclusões finais. Trata-se de forma sistemática

de raciocinar sobre dado problema, o qual constitui um dos fundamentos de uma metodologia e de seus métodos.

Diante desses aspectos, estabelecem-se as seguintes questões: “o que faz com que o projetista tenha um raciocínio sistemático sobre dado assunto?”; “é vantajoso utilizar um raciocínio sistemático no entendimento e na solução de dado problema?”; “quais são as maneiras de proporcionar ao projetista um raciocínio sistemático?”.

A resposta à primeira questão é direta: um raciocínio sistemático é desenvolvido pelo entendimento dos elementos metodológicos e de sua estrutura, a qual deve ser lógica em sua proposição. Sobre a vantagem, ou não, de se utilizar uma metodologia de projeto, vários argumentos podem ser estabelecidos. Primeiro, raciocinando sistematicamente, tem-se oportunidade de avaliar um maior número de possibilidades, tanto para o problema, quanto para a solução. Isso conduz a maiores chances de entender e de resolver o problema. Segundo, o trabalho torna-se organizado, e a necessidade de se retornar a um passo anterior, ou de explicar o que foi feito, torna-se mais fácil, pois as informações são sistematicamente estabelecidas, entendidas e processadas. Terceiro, implica a utilização das informações de passos anteriores e, com isso, propicia-se a evolução das mesmas, inicialmente qualitativas, até informações detalhadas, concretas e verificadas da solução do problema. Procura-se evitar, por exemplo, que, em dado momento, o raciocínio seja sobre funções do produto e, ao mesmo tempo, sobre sua geometria. Cada coisa deve ser desenvolvida no momento adequado.

Sobre a terceira questão, a metodologia de projeto propicia o raciocínio sistemático do projetista. Isso é obtido através dos elementos metodológicos (processos, meios, informações) e sua estrutura (arranjo, fluxo de informações, etc.), que constituem um sistema conceitual idealizado de acordo com o conhecimento e a experiência do proponente. Esse sistema apresenta uma determinada lógica em sua configuração e essa lógica vai conduzir à resolução dos problemas de maneira sistemática.

Considerando a discussão anterior, o trabalho de desenvolvimento de uma metodologia de projeto passa, então, pela adoção ou desenvolvimento de métodos mais apropriados para a resolução de problemas de projeto. O termo “apropriado”, aqui, pode ser entendido de várias maneiras: facilitar o entendimento do problema; facilitar a resolução do problema; ser utilizado individualmente; ser utilizado coletivamente; ser claro nos procedimentos e regras; ser passível de implementação computacional, entre outras.

Entende-se que a maioria dos fatores que fazem um método ser apropriado para a resolução dos problemas de projeto são contemplados nas proposições existentes. Porém, a

adequação à implementação computacional de tais métodos ainda é pouco estudada. Essa adequação passa pela definição clara das informações e da maneira de sua representação em computador, e pela definição clara e detalhada dos procedimentos e regras de cada método. Isso é essencial ao desenvolvimento de ferramentas computacionais para o projeto conceitual de produtos.

Sendo assim, justificam-se o estudo e as pesquisas para o estabelecimento de uma metodologia de projeto de produtos que propiciem raciocínio sistemático e que viabilizem, ao mesmo tempo, os requisitos para a sua implementação computacional, tais como: elementos metodológicos claramente definidos, sem conflitos, informações claramente estruturadas, métodos adequadamente detalhados, entre outros.

1.3.2 - Ferramentas computacionais

Atualmente existem “pacotes de software” para as mais variadas atividades, os quais, em geral, têm sido empregados para melhorar o desempenho dos profissionais. Estes softwares estendem as capacidades humanas, principalmente quando se trata do manuseio e processamento de grandes volumes de informações. Nas atividades de engenharia isso também ocorre, e existem vários desenvolvimentos que buscam estabelecer ferramentas computacionais para as mais variadas necessidades. Já existem, neste campo, por exemplo, sistemas comerciais consagrados, conhecidos como sistemas de CAD (*Computer Aided Design*) para desenho e sistemas de CAE (Computer Aided Engineering) para análise de engenharia, em operação nas empresas e instituições de ensino e pesquisa.

No contexto do processo de projeto, porém, aqueles softwares suportam melhor as atividades do projeto preliminar e detalhado do produto, deixando a desejar quanto às atividades do projeto conceitual. Entretanto, já começaram a surgir alguns programas comerciais que auxiliam, em parte, as atividades iniciais do projeto de produtos. RANGASWAMY [13], por exemplo, apresenta um estudo em que identificou e classificou as principais categorias de softwares comercialmente disponíveis para suportar o processo de desenvolvimento de novos produtos. São destacados programas para auxiliar na geração de idéias, tais como o *Mindlink*, *IdeaFisher*, *Inspiration* e *NamePro*, cujas versões para avaliação podem ser obtidas na Internet.

Outros programas e sistemas que vêm sendo desenvolvidos para este fim também são descritos na literatura, mas geralmente se encontram em fase de desenvolvimento ou na forma de protótipos e não estão disponíveis comercialmente, pelo que se sabe até o momento. Cita-se,

neste caso, o “MODESSA – Morphological Design Support Aid”, conforme KERSTEN [14], que implementa uma forma de método morfológico em computador. No caso de sistemas, o SCHEMEBUILDER, conforme BRACEWELL et al. [15], é um dos conhecidos mais recentemente e trata-se de um ambiente de desenvolvimento para suportar o rápido desenvolvimento de tecnologia e a comparação entre alternativas, baseado num conjunto de ferramentas, desde aquelas comerciais até módulos especializados para determinadas atividades.

Nota-se, portanto, que vêm surgindo ferramentas de apoio ao projeto conceitual de produtos. Entretanto, a difusão e aplicação delas ainda é incipiente. Isso se deve, em parte, ao próprio entendimento e valorização de atividades sistemáticas e apoiadas para o projeto conceitual de produtos e, até mesmo, ao próprio desconhecimento de conceitos do projeto conceitual de produtos.

Sobre esse assunto, algumas questões iniciais podem ser formuladas e discutidas como forma de avaliar o problema, tais como: *“o que é uma ferramenta computacional de apoio ao projeto conceitual de produtos?”* e *“quais são os benefícios de uma ferramenta computacional de apoio ao projeto conceitual de produtos?”*.

Uma ferramenta computacional de apoio ao projeto conceitual é um programa de computador que auxilia o projetista em suas atividades de concepção. Esse programa deverá conter funcionalidades para conduzir o raciocínio do projetista e facilidades para manusear dados de projeto. Por exemplo, o programa deverá auxiliar no estabelecimento das necessidades de projeto, dos requisitos de projeto, da estrutura de funções do produto, etc., os quais são alguns dos processos de concepção. Além disso, sob cada um desses processos podem estar associados um ou mais métodos de resolução de problemas; logo, a ferramenta computacional é uma forma de implementar tais métodos e, com isto, suportar o trabalho do projetista. Por exemplo, o método da matriz morfológica é usado para resolver problemas de estabelecimento de uma estrutura de princípios de solução para o produto, ou seja, uma concepção; logo, a ferramenta computacional deverá, através das potencialidades da informática, promover recursos para a implementação desse método, tais como uma interface com uma matriz, base de dados de princípios de solução, caixas de diálogo para visualização e edição de princípios, entre outros.

Também se questiona sobre os benefícios da utilização de programas computacionais para as atividades de projeto conceitual. Por exemplo, será que o método da matriz morfológica não poderia continuar sendo realizado de forma manual? Por que desenvolver um programa para implementar este método, assim como outros? De fato, o método da matriz morfológica pode continuar a ser utilizado como se apresenta atualmente. Porém, com a introdução das

potencialidades da informática, o desempenho na resolução dos problemas será maior. Considere-se, por exemplo, a utilização manual de uma matriz morfológica pelo projetista. Primeiro, o projetista deverá coletar as informações sobre as funções do produto e dos princípios de solução existentes para cada função; segundo, o projetista deverá desenhar uma matriz colocando em uma coluna todas as funções do produto e nas demais colunas todos os princípios de solução encontrados; terceiro, o projetista deverá tomar uma primeira função e selecionar um princípio de solução possível para aquela função, considerando os requisitos de projeto. Ele deve seguir esse procedimento até percorrer todas as funções e todos os princípios disponíveis.

Isso, à primeira vista, não parece ser uma atividade difícil, pois se trata de um processo de seleção, comparação e decisão sobre as alternativas existentes. Porém, se nessa matriz houver 20 funções, por exemplo, e 10 princípios de solução para cada função, então as possibilidades de combinação de princípios de solução são de $20^{10} = 1,024 \times 10^{13}$ alternativas. Obviamente, estas alternativas reduzem-se muito, pois muitas delas serão descartadas já no início da resolução, quer seja pela incompatibilidade física entre os princípios, quer seja pela inviabilidade econômica ou técnica de realização dos princípios, ou mesmo pelo conflito claro com os requisitos do projeto. Esse descarte é feito baseado na capacidade do projetista em sintetizar o problema e analisá-lo de forma ampla, tomando decisões de eliminação de alternativas quase que “*automaticamente*”. Ainda assim, poderão restar muitas outras possibilidades de soluções do problema e, por se tratar de uma atividade sistemática, que demanda um certo esforço, muitas alternativas poderão ser descartadas sem uma avaliação mais criteriosa e só serão estabelecidas, provavelmente, aquelas de preferência pessoal do projetista.

Uma ferramenta computacional para essa situação auxiliará o projetista não só no processo de elaboração da matriz morfológica, através dos recursos computacionais, como ambientes gráficos, base de dados, etc., mas também na ampliação das capacidades de busca e avaliação das alternativas de soluções de forma técnica e “incansável”.

No exemplo anterior, não se trata apenas da combinação de elementos de uma matriz sob uma base de critérios de compatibilidade física ou requisitos de projeto, por exemplo. As capacidades do software poderão ser ampliadas, utilizando-se, por exemplo, técnicas de sistemas especialistas para selecionar as estruturas de princípios de solução mais promissoras. Com essas técnicas, procura-se capturar, através de regras, a experiência ou o raciocínio utilizado pelo projetista quando este realiza aquela atividade de forma manual. Essas regras, adequadamente implementadas, poderão reduzir o campo de busca de soluções e melhorar o processo de decisão sobre as alternativas restantes para o problema. — — — —

Numa situação ideal, onde o modelo de raciocínio do projetista e sua experiência pudessem ser capturados e implementados integralmente através de regras, o software poderia, aí sim, decidir pela estrutura de princípios de solução mais apropriada, apenas recebendo as entradas de funções e dos requisitos de projeto. Como essa situação depende, ainda, de desenvolvimentos em áreas como inteligência artificial, ciências cognitivas e mesmo do próprio processo de projeto, o projetista é o elemento essencial no processo de solução dos problemas de projeto, e ferramentas computacionais devem ser desenvolvidas para apoiá-lo.

Outros benefícios ainda podem ser citados em relação à utilização de ferramentas computacionais. Dentre eles, o software é uma maneira de pôr em prática procedimentos sistemáticos que, no caso manual, dependem do treinamento do projetista em metodologia de projeto. Com o software, a metodologia e seus métodos tornam-se implícitos nas suas funcionalidades, “obrigando” o projetista a segui-los. Além disso, uma ferramenta dessa natureza presta-se muito bem para atividades de ensino e treinamento em metodologia de projeto, melhorando o aprendizado dos engenheiros e futuros engenheiros projetistas e estimulando o desenvolvimento sistematizado de produtos.

1.3.3 - Prática do projeto conceitual de produtos

A prática do projeto conceitual de produtos não ocorre na indústria com a mesma intensidade que é recomendada na literatura e ensinada nos meios acadêmicos. Vários motivos podem ser apontados para isto, tais como: os conceitos e princípios do projeto conceitual não são adequadamente entendidos e valorizados no meio industrial; existem poucas ferramentas práticas para aplicação dos princípios e dos procedimentos do projeto conceitual de produtos e a prática de projeto na indústria é voltada, em geral, para adaptações e reprojeção de produtos e não para novos desenvolvimentos.

Esses motivos devem-se, em parte, ao próprio ensino de metodologia de projeto. São poucas as instituições que têm programas destinados a esse fim. Além disso, pesquisas em metodologias de projeto e de ferramentas de apoio também são recentes. Muitos trabalhos são realizados sob o ponto de vista da análise de produtos ou análise de engenharia, porém o investimento em síntese de produtos para novos desenvolvimentos é incipiente.

Acredita-se, entretanto, que devido à competitividade acirrada dos tempos modernos, seja pela abertura de mercados, globalização da economia, seja por maiores exigências dos consumidores, haverá crescente preocupação quanto ao lançamento e inovação de produtos e,

conseqüentemente, de métodos e ferramentas que possam ser empregados para esse fim. Alguns indícios disso podem ser observados pela adoção, por parte de várias empresas, de programas voltados para a qualidade total; porém, ainda, sob a filosofia de redução de custos e aumento da produtividade. A qualidade sob o enfoque do projeto ainda não é muito praticada.

A natureza do projeto conceitual de produtos é bastante flexível em suas informações e geralmente qualitativa em seus resultados. Muitas alternativas podem ser geradas, e os critérios para avaliá-las não são sempre evidentes. Não se trata, por exemplo, de especificar um dado mancal de rolamento, sujeito a um carregamento radial de $x N$, mas de definir, em primeiro lugar, se a melhor solução, considerando necessidades e requisitos de projeto, será aquela do mancal de rolamento. Além disso, esta decisão é baseada, em geral, em dados qualitativos e, muitas vezes, insuficientes.

De certa forma, esses fatores contribuem para que a prática do projeto conceitual de produtos não seja efetivamente realizada ou seja apenas parcialmente realizada. Observa-se que há tendência, por exemplo, de as necessidades e os requisitos de projeto serem adequadamente estudados e estabelecidos, porém os estágios posteriores, de funções e de princípios de solução, são relegados, partindo-se logo para soluções concretas. Ou seja, em geral, o projeto é visto como atividades de dimensionamento e análise de produtos ou componentes, considerando dados quantitativos e entidades físicas concretas. Isso pôde ser comprovado em cursos de metodologia de projeto onde, durante o estudo de conceitos, princípios e processos do projeto conceitual de produtos, as proposições quase sempre apontavam para soluções concretas para o produto ou suas partes, mesmo antes do entendimento e estabelecimento de funções do produto, por exemplo.

As justificativas para “evitar” o projeto conceitual de produtos também são várias e muitas delas fundamentam-se no desconhecimento do que é o projeto conceitual e quais são seus propósitos. Outras se devem à falta de ferramentas práticas em que os princípios e métodos possam ser aplicados efetivamente e os benefícios comprovados através dos resultados obtidos. Entretanto, o desenvolvimento dessas ferramentas não é uma tarefa simples, e muitas pesquisas já vêm sendo realizadas nessa área há algum tempo.

Portanto, considerando a importância das atividades do projeto conceitual de produtos, desde o entendimento adequado do problema até a avaliação de concepções alternativas, a falta de um entendimento mais claro dos propósitos e benefícios que os resultados dessa fase do projeto podem propiciar e a falta de ferramentas concretas de apoio e aplicação prática, justifica-se o propósito da presente tese no desenvolvimento de métodos e ferramentas para a prática

efetiva de sistemática para entendimento e resolução de problemas de projeto antes mesmo de se pensar em soluções físicas concretas.

1.4 - Conteúdo da tese

O conteúdo da presente tese é apresentado em oito capítulos, conforme a descrição a seguir.

No CAPÍTULO 1, este que se apresenta, é delineado o escopo desta pesquisa. Inicialmente, apresentou-se uma breve contextualização da tese, indicando que se trata da evolução de métodos e sistemas computacionais iniciados por pesquisadores dessa área do conhecimento. Na seqüência, foram destacados os objetivos da tese embasados em diretrizes bem definidas. Finalmente, as justificativas gerais foram apresentadas sob o aspecto da metodologia, de ferramentas computacionais e da prática do projeto conceitual de produtos.

No CAPÍTULO 2, apresenta-se uma revisão crítica de metodologias gerais de projeto, principalmente com relação à sua implementação em computador. Conduz-se, inicialmente, a uma análise e comparação de modelos clássicos de metodologias de projeto. Conclui-se, daí, que as metodologias de projeto, sob o enfoque procedural, são similares e que a análise da viabilidade computacional das metodologias pode ser conduzida sob uma abordagem representativa. Segue-se, assim, com a análise da viabilidade computacional das fases iniciais do projeto propostas na metodologia de projeto de PAHL & BEITZ [12]. Dessa análise conclui-se que as metodologias clássicas de projeto não estão preparadas para a implementação de ferramentas computacionais e, sob tal conclusão, estabelecem-se, ao final, os principais requisitos e diretrizes para esse fim.

No CAPÍTULO 3, diante da inadequação das metodologias à implementação de ferramentas computacionais, desenvolve-se uma sistematização dos principais elementos metodológicos para tornar viável e prática a informatização do processo de projeto. Propõe-se, inicialmente, um conceito de metodologia de projeto, na forma de um sistema de métodos. Sob tal conceito, são caracterizados e sistematizados os principais elementos metodológicos, ou seja, as informações de projeto, o processo de projeto e os meios de projeto. Sob tal sistemática, estabelecem-se as principais diretrizes para o processo de implementação de auxílios computacionais ao projeto. Tais diretrizes consistem, em essência, na "tradução" dos meios de projeto, incluindo os métodos de projeto, o conhecimento do domínio de aplicação e o conhecimento do projetista, na forma de funcionalidades em ferramentas computacionais. Numa

primeira abordagem, propõe-se o desenvolvimento de ambientes computacionais e de base de dados de projeto, que simulam determinados procedimentos dos métodos de projeto e que suportam as principais informações manipuladas nas fases iniciais do projeto, respectivamente. Dessa maneira, configuram-se as ferramentas computacionais denominadas de facilitadoras do processo de projeto.

No CAPÍTULO 4, é apresentada uma revisão da literatura sobre o domínio de componentes de plástico injetados, o qual forma a base conceitual para as aplicações da sistemática desenvolvida no CAPÍTULO 3. Inicia-se pela avaliação do estado da arte no desenvolvimento de produtos de plástico injetados, apresentando as principais proposições encontradas e seus enfoques. Resulta deste estudo que o projeto conceitual de produtos de plástico injetados não é freqüentemente realizado, tornando-se um adequado domínio de aplicação para as proposições da presente tese.

Segue-se, então, no CAPÍTULO 5, proposta de sistematização do projeto conceitual de produtos de plástico injetados, baseada na proposição de métodos de projeto para o estabelecimento das necessidades, requisitos, funções e concepções de produtos de plástico injetados. Sob tal sistemática e seus elementos, concebem-se, na seqüência, as principais ferramentas de apoio á concepção de componentes de plástico injetados. Tais ferramentas constituem os programas denominados de DEFNEC, QDF, PRODEF, MMORF e MAVAL.

No CAPÍTULO 6, apresentam-se os resultados das ferramentas implementadas. Cada uma delas é descrita sob suas principais funcionalidades e auxílios promovidos à equipe de projeto para o desenvolvimento de produtos de plástico injetados em suas fases iniciais.

No CAPÍTULO 7, as ferramentas implementadas são empregadas em estudo de caso de projeto conceitual de produtos de plástico, o qual se trata do projeto (reprojeto) do gabinete de um coletor de dados. Constitui-se na aplicação prática dos resultados da presente tese, com o propósito de avaliar as potencialidades das ferramentas propostas e implementadas.

Finalmente, no CAPÍTULO 8, são apresentadas as conclusões finais desta tese como uma forma de síntese dos resultados, contribuições alcançadas e proposições para futuros estudos. Além de uma análise crítica dos resultados obtidos, desde os aspectos conceituais até aqueles práticos, discute-se sobre as reais contribuições, os avanços, as dificuldades encontradas na presente tese e as perspectivas futuras sobre este tema de estudo.

A bibliografia consultada e referenciada e os estudos específicos que foram conduzidos para apresentar os conceitos e princípios da presente tese são descritos na forma de REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS e APÊNDICES, respectivamente.

CAPÍTULO 2 - REVISÃO CRÍTICA DE METODOLOGIAS DE PROJETO E ANÁLISE DE VIABILIDADE COMPUTACIONAL

2.1 - Introdução

Entre as primeiras citações sobre projeto sistemático de produtos encontram-se, conforme PAHL & BEITZ [12] e HUBKA & EDER [16], os trabalhos de *Redtenbacher* (1852) e *Releaux* (1854). Esses autores propuseram, entre outras coisas, alguns princípios básicos para projeto, tais como: projetar sistemas com suficiente resistência e rigidez, baixo desgaste e atrito, mínimo uso de materiais, baixo peso, fácil de montar e máxima racionalização de recursos. Tais princípios configuram-se numa "forma" de metodologia de projeto, ou seja, na forma de orientações sobre como o projetista deve proceder diante de problemas que envolvam as variáveis citadas.

Sobre o processo de projeto, PAHL & BEITZ [12] mencionam, por exemplo, o trabalho de *Erkens* (1928) como um dos pioneiros. Sua abordagem destacava que o desenvolvimento do projeto deveria ser realizado etapa por etapa, com constantes testes, avaliações e balanceamentos entre as demandas conflitantes, até a emergência de uma solução final para o problema. A proposição etapa por etapa tem sido a base da maioria das abordagens atuais sobre metodologia de projeto e consiste em orientações gerais sobre como proceder durante o projeto.

Certamente, os trabalhos mencionados anteriormente também tiveram seus antecedentes, e muitos outros se desenvolveram, desde aquela época, procurando, em geral, investigar, desenvolver e formalizar a atividade de projeto e suas relações com as demais áreas do conhecimento. Os temas de estudo têm sido diversos, variando desde o desenvolvimento de estruturas lógicas para as atividades de projeto até métodos e ferramentas práticas de apoio à criatividade do projetista. Destacam-se, neste escopo, mais recentemente, as proposições de *Asimow* (1962), considerado por YOSHIKAWA [17] o pioneiro da chamada escola sintática do projeto, aquela em que as proposições tratam, principalmente, sobre a morfologia do processo de projeto, ou seja, sobre aspectos de seus procedimentos. Também é atribuído a *Rodenacker* (1970) o desenvolvimento da chamada escola semântica de projeto ([17], [18]), cujos princípios básicos para a solução dos problemas de projeto e suporte à criatividade do projetista fundamentam-se no desenvolvimento da funcionalidade do produto, ou na sua estrutura de funções.

Atualmente, os desenvolvimentos sobre metodologia de projeto têm diversas orientações, muitas das quais dirigidas ao desenvolvimento de ferramentas computacionais às fases iniciais

do processo de projeto, visando melhor suportar as atividades dos projetistas. Levantamentos como os de TOMIYAMA [4], ULLMAN [5], HUNDAL [6] e EDER [7], entre outros, deixam clara essa direção. Ainda, considerando o avanço do conhecimento, da tecnologia e a variedade de disciplinas e problemas nos domínios da engenharia, os estudos sobre projeto sistemático de produtos têm se ramificado na forma de especialidades de projeto de engenharia. Assim, por exemplo, o projeto para a manufatura, o projeto para a montagem, o projeto para custo, o projeto para meio ambiente, o projeto para a qualidade, entre outros, são exemplos de conteúdos crescentes nos meios acadêmicos e no setor industrial.

Demais citações sobre a evolução histórica do conhecimento em projeto sistemático de produtos e de filosofias de desenvolvimento poderiam, ainda, ser abordadas. Entretanto, isso foge aos principais propósitos da presente tese. Alguns autores, além dos já citados, como CROSS [19], DE VRIES et al. [20], FINKELSTEIN & FINKELSTEIN [21], DIXON [22], têm se preocupado com esses aspectos e apresentam estudos que descrevem, de maneira mais ou menos detalhada, a evolução do conhecimento em projeto sistemático de produtos e sua importância nos tempos atuais.

Está-se interessado, por outro lado, particularmente neste capítulo, em discutir sobre a viabilidade computacional das proposições de metodologia de projeto; sobretudo, com relação ao projeto conceitual de produtos. Em outras palavras, está-se interessado em responder à seguinte questão: **as metodologias de projeto estão preparadas, ou são adequadas, à implementação de auxílios computacionais ao projeto conceitual de produtos?**

Sob essa indagação, o texto que segue apresenta, em primeiro lugar, uma visão geral das metodologias de projeto, destacando os principais enfoques de cada proponente. Prossegue com uma análise comparativa entre as metodologias de projeto, verificando que elas se apresentam similares em suas proposições. Por último, concentra-se na análise da viabilidade computacional da metodologia de projeto conceitual de produtos proposta por PAHL & BEITZ [12], considerada, aqui, como representativa das abordagens clássicas de metodologias de projeto. Deste estudo, conclui-se que as abordagens de metodologias, na forma como se apresentam, em geral, não estão devidamente preparadas para a implementação de auxílios computacionais às fases iniciais do projeto. Diante dessa constatação, são propostas, ao final do capítulo, as principais diretrizes para prosseguir com o estudo no sentido de desenvolver uma abordagem metodológica que oriente sobre os melhores caminhos para a informatização da concepção de produtos.

2.2 - Metodologias de projeto: visão geral

Na literatura de projeto de engenharia são encontrados diversos modelos para a condução sistemática do projeto de produtos. Em geral, são do tipo procedurais, ou seja, orientam os projetistas, passo a passo, sobre a maneira de proceder e sobre os recursos que devem ser utilizados na resolução de determinados tipos de problemas de projeto. Esses modelos apresentam-se, normalmente, na forma de fluxogramas das atividades de projeto, expressando “o que” os projetistas devem fazer, desde a identificação do problema até a documentação final do produto. Alguns estudos de revisão da literatura mostram, de maneira mais ou menos detalhada, essas abordagens procedurais, além de outras, analisando-as sob vários enfoques.

FINKELSTEIN & FINKELSTEIN [21], por exemplo, além de uma categorização de metodologias de projeto, discutem sobre seus propósitos, bem como objeções à sua utilização. Com relação aos propósitos, os autores destacam que as metodologias de projeto têm sido desenvolvidas para satisfazer as seguintes necessidades: o ensino de projeto, a organização do projeto, a provisão de auxílios ao trabalho dos projetistas e a automação das informações de projeto; ou seja, em síntese, para sistematizar e aplicar o conhecimento sobre projeto de produtos. Quanto às objeções, incluem-se: que o projeto é um processo criativo, puramente intuitivo, para o qual nenhum padrão pode ou deve ser determinado, sob pena de “abafar ou sufocar” a criatividade; que a metodologia de projeto restringe o projetista e lhe causa insatisfação; que todas as metodologias de projeto contêm um sistema de valores inerente e isto é indesejável; e que não existem evidências de sucesso na aplicação de metodologias de projeto.

Em resposta a essas críticas, os autores [21] destacam que o projeto de produtos não é um processo puramente intuitivo; envolve, por exemplo, a obtenção, a organização e a avaliação de informações de projeto: processos que podem ser sistematizados. Ainda, que o conjunto de procedimentos da metodologia, na forma de uma seqüência particular de ações, não afeta a satisfação do projetista, mas, ao contrário, insere suas atividades num dado contexto, o que tende a motivá-lo. O sistema de valores inerente na metodologia não implica, necessariamente, um problema. É necessário ter consciência desse fato, seja no desenvolvimento ou adoção de determinadas metodologias de projeto, criticando e aprimorando-as, quando necessário. Por último, embora os relatos de sucessos não sejam muitos, o potencial das técnicas sugeridas é amplamente apresentado e discutido na literatura. Existe, entretanto, a necessidade de estudos continuados para a evolução e implementação prática desse potencial, dependendo, em parte, de que os educadores, pesquisadores e praticantes do projeto adotem efetivamente as abordagens

metodológicas sugeridas.

Num estudo semelhante ao anterior, YOSHIKAWA [17] investiga o estado-da-arte em filosofias de projeto. Seus resultados estabelecem que as abordagens para o projeto sistemático de produtos podem ser categorizadas nas seguintes escolas de filosofias de projeto: semântica, sintática, historicista, psicológica e filosófica. Na escola semântica encontram-se aquelas proposições cujos fundamentos admitem que qualquer máquina ou sistema técnico, como objeto de projeto, é um sistema que transforma grandezas de entrada em grandezas de saída, do tipo material, energia e informação. Nesse sentido, as diferenças entre as entradas e as saídas são chamadas de funcionalidades do produto e definem o caminho inicial para a solução do problema. Em outras palavras, a solução do projeto deve se iniciar pelo estabelecimento da estrutura de funções do produto, a qual deve ser resolvida pela associação de um ou mais fenômenos físicos a cada função, ou subfunção, daquela estrutura. Essa filosofia representa, em grande parte, os fundamentos da chamada escola alemã de projeto de engenharia, em que se incluem pesquisadores como RODENACKER [23], ROTH [24], KOLLER [25], PAHL & BEITZ [12], entre outros. As principais proposições destes autores sobre a síntese funcional de produtos são amplamente discutidas no APÊNDICE A da presente tese.

Na escola sintática, por sua vez, inserem-se aquelas abordagens que tratam mais sobre os aspectos procedurais, ou morfológicos, da atividade de projeto, ou seja, sobre modelos para o processo de projeto. Nesse caso, visando à generalidade na aplicação de metodologias de projeto, os aspectos lógicos ou temporais da metodologia são postos em evidência. Inclui-se, nesse escopo, por exemplo, as proposições de ASIMOW [26], cuja filosofia básica é estabelecida sob três elementos principais: um conjunto de princípios gerais, uma disciplina ou sistemática de projeto e um instrumento de crítica. Sob tais elementos estabelece-se a dinâmica do processo de projeto, ou seja, sua lógica ou a seqüência de suas ações. Estas se iniciam com os conhecimentos oriundos da formação e da experiência do projetista, em conjunto com os dados sobre um projeto particular em questão. Essas informações são tratadas sob dada sistemática, ou seja, de acordo com o plano procedural estabelecido para o projeto. Inclui-se, a seguir, ao final de cada fase do projeto, um instrumento de avaliação na forma de processos que tem o propósito de estabelecer a continuidade, ou não, do projeto, ou a realimentação de informações, até a obtenção dos resultados desejados (um projeto particular).

Ambas as filosofias, semântica e sintática, são complementares. A primeira estabelece considerações sobre o objeto de projeto e a segunda, sobre o processo de projeto. Se aplicadas em conjunto, ter-se-á uma metodologia de projeto que, além da lógica do processo de

desenvolvimento, considera o significado da existência de determinado produto, no caso, sua funcionalidade. Essa complementaridade tem sido representada na metodologia de projeto proposta por PAHL & BEITZ [12], conforme será visto mais adiante.

As demais escolas de filosofias de projeto se originaram, segundo YOSHIKAWA [17], de críticas às metodologias de projeto. Dentre elas, por exemplo, a de que existe uma contradição entre a universalidade de uma metodologia e sua aplicação prática. Nesse caso, conforme a escola historicista, as habilidades de projeto devem ser desenvolvidas a partir da história de casos em projeto, ou seja, de sua prática. As escolas psicológica e filosófica são reportadas como áreas aplicadas da psicologia e da filosofia, com respeito à psicologia da criatividade na engenharia e ao estudo do processo de pensamento humano no projeto, respectivamente.

EVBUOMWAN et al. [18], num recente artigo de revisão, também apresentam uma análise detalhada de filosofias, teorias e metodologias de projeto. De particular importância, nesse estudo, incluem-se as categorias de modelos do processo de projeto relacionadas pelos autores. Tais modelos são classificados em prescritivos, descritivos e computacionais.

Os modelos prescritivos apresentam-se, geralmente, na forma de fluxogramas das atividades de projeto. Representam aquelas filosofias em que o projeto é visto pela sua natureza procedural e iterativa. São, em essência, os planos procedurais, os planos de ações, os algoritmos de projeto, entre outros, como comumente conhecidos na literatura e já mencionados anteriormente. Nessa categoria são citados vários autores, tais como *Asimow (1962)*, *Pahl & Beitz (1971)*, *Hubka (1992)*, *French (1971)*, *Pugh (1990)*, entre outros, além das normas alemã, *VDI 2221 (1987)*, e inglesa, *BS 7000 (1990)*.

Os modelos descritivos, por sua vez, são aqueles que procuram capturar o comportamento do projetista diante de determinadas situações ou problemas práticos de projeto, visando à construção de sistemas inteligentes que os simulem. Nesse sentido, por exemplo, são conduzidos experimentos de projeto em que as diversas ações e manifestações dos projetistas são registradas (em vídeo, fita cassete, entre outros meios) e, posteriormente, analisadas quanto ao seu conteúdo, sintetizando os resultados na forma de modelos descritivos do projeto. Os trabalhos de KHADILKAR & STAUFFER [27], por exemplo, mostram estudos e resultados nessa direção. Nota-se que os modelos descritivos de projeto parecem relacionar-se, em parte, com as doutrinas das escolas historicistas, psicológicas e filosóficas, conforme YOSHIKAWA [17].

Por último, os modelos computacionais do processo de projeto são aqueles nos quais o projeto é considerado como um processo que mapeia um conjunto de requisitos numa descrição

de um produto fisicamente realizável, o qual satisfaz aqueles requisitos. Tratam, em grande parte, de formulações matemáticas para processos de projeto traduzidas na forma de algoritmos computacionais e de sistemas baseados no conhecimento. Aplicam-se, em geral, às fases do projeto preliminar e detalhado do produto, seja na análise, simulação, seja na otimização de soluções de projeto. Uma revisão de tais modelos é apresentada por NEVILL [28].

Nos estudos anteriores, fica claro que não existem abordagens comuns, amplamente aceitas e definitivas de metodologias de projeto. Elas refletem, em parte, além dos valores, as especialidades ou formações de cada um de seus proponentes. Essa diversidade sugere, também, que o projeto de produtos pode ser analisado sob vários enfoques de sistematização e implementação, desde aqueles orientados a filosofias para o desenvolvimento de produtos, em que a implementação se dá, principalmente, pela formação dos profissionais projetistas, até aqueles que procuram estabelecer algoritmos para o processo de projeto, em que a implementação é pretendida através de ferramentas computacionais.

Particularmente, considerando os modelos procedurais de projeto, embora capturem grande conteúdo de conhecimentos e, muitos deles, sejam configurados de maneira algorítmica, não se encontram evidências claras sobre os caminhos ou as diretrizes para o processo de informatização das atividades de projeto, sobretudo em suas fases iniciais. Eles tratam mais sobre “o que” fazer e pouco sobre “como” fazer. Nesse sentido, justificam-se estudos para identificar, em primeiro lugar, quais são os requisitos para a informatização de metodologias de projeto e, em seguida, definir uma estrutura sobre a qual essa informatização possa ser conduzida.

2.3 - Análise comparativa entre metodologias de projeto

Embora existam diversas proposições de metodologias de projeto, conforme destacado nos levantamentos anteriores, tomando-se como exemplo algumas abordagens freqüentemente apresentadas e referenciadas na literatura, pode-se verificar que elas são bastante similares. Para tal, considera-se, a seguir, a análise geral dos modelos de metodologia de projeto propostos pelos seguintes autores: BACK [3], PAHL & BEITZ [12], HUBKA & EDER [16] e ULLMAN [29]. Trata-se de abordagens clássicas para a condução sistemática do projeto, apresentadas na forma de planos procedurais ou modelos prescritivos do projeto.

Segundo BACK [3], por exemplo, a sistemática de projeto é estabelecida pelas seguintes fases principais: **estudo da viabilidade, projeto preliminar, projeto detalhado, revisão e**

testes, planejamento da produção, planejamento do mercado, planejamento para consumo e manutenção, e planejamento da obsolescência do produto. De particular interesse nesta análise, incluem-se as três primeiras fases do projeto.

No **estudo da viabilidade**, o objetivo é a elaboração de um conjunto de soluções úteis para os problemas de projeto, configurando-as na forma conceitual. Desenvolvem-se, nesta fase, processos como: análise de necessidades, síntese de soluções alternativas e análise de viabilidade técnica, econômica e financeira das soluções propostas. O estudo da viabilidade é análogo ao que se entende por projeto conceitual do produto.

O **projeto preliminar**, por sua vez, inicia-se com um conjunto de soluções úteis para o problema e termina com uma solução otimizada e simplificada para o produto. Desenvolvem-se, sob esse escopo, os seguintes processos principais: seleção da melhor solução, formulação de modelos de análise, análise de sensibilidade e compatibilidade das variáveis, otimização dos parâmetros de projeto, testes e previsão do sistema e simplificação do projeto. Trata-se, em síntese, do desenvolvimento inicial dos principais parâmetros de projeto, os quais configuram e caracterizam o produto final.

Por último, o **projeto detalhado** inicia-se com a solução otimizada e simplificada no projeto preliminar e termina com as descrições de engenharia do produto, tornando possível a sua realização física. São desenvolvidos, por exemplo, os seguintes processos principais: especificação de subsistemas e componentes, descrição das partes, desenhos de montagens, desenhos para a fabricação, entre outros.

Nas proposições de PAHL & BEITZ [12], por sua vez, o processo de projeto é considerado sob as seguintes fases principais: **planejamento do produto e esclarecimento da tarefa de projeto; projeto conceitual; projeto preliminar e projeto detalhado** do produto.

No **planejamento do produto e esclarecimento da tarefa de projeto**, o projeto inicia-se com a coleta das informações sobre os requisitos dos consumidores e geração das idéias iniciais para o produto. Essa fase termina com a elaboração detalhada da lista de requisitos de projeto. Trata-se, em essência, da especificação das informações de projeto.

No **projeto conceitual** são conduzidos vários processos, desde a lista de requisitos, para estabelecer os problemas essenciais de projeto, na forma de funções do produto, e encontrar as melhores soluções, resolvendo aquelas funções. Essa fase termina com as soluções conceituais desenvolvidas e avaliadas. Trata-se, em essência, da especificação de princípios de solução para o produto.

No **projeto preliminar**, o projetista inicia com a concepção selecionada e prossegue, sob

vários processos, para transformá-la num leiaute definitivo do produto proposto, o qual deve satisfazer os requisitos técnicos e econômicos do projeto em questão. Esse leiaute representa a estrutura de construção do produto, ou seja, os tipos, as formas, o arranjo, as dimensões preliminares dos elementos construtivos do produto final, entre outros. Em síntese, trata-se da especificação do leiaute do produto.

Finalmente, no **projeto detalhado**, os elementos construtivos e suas características são tornados definitivos. Especificam-se os materiais, os processos produtivos, e elabora-se a documentação final do produto. Trata-se, portanto, da especificação da produção do produto.

De modo similar às proposições anteriores, incluem-se as abordagens de HUBKA & EDER [16] e ULLMAN [29], as quais consideram, respectivamente, as seguintes fases principais:

- elaboração do problema atribuído, projeto conceitual, projeto preliminar e detalhamento do produto; e
- planejamento e desenvolvimento de especificações, projeto conceitual e projeto do produto.

Sob a análise anterior, configurando cada uma das abordagens na forma de fluxogramas, conforme a FIGURA 2.1, verifica-se, através das linhas pontilhadas, que os modelos, apesar de suas especificidades, apresentam elementos similares. As diferenças ocorrem, normalmente, na terminologia empregada pelos autores e no detalhamento dos processos de projeto. Dessa maneira, pode-se estabelecer um modelo de consenso para o projeto sistemático de produtos, conforme a FIGURA 2.2, o qual representa, de maneira abrangente, as proposições de metodologias de projeto procedurais.

Em síntese, de acordo com a FIGURA 2.2, o projeto de produtos inicia-se com as informações do mercado. Incluem-se, nesse escopo, os interesses ou as manifestações dos clientes de projeto, ou seja, daquelas pessoas ou organizações que se relacionam, direta ou indiretamente, com o projeto ou produto em questão. Tais informações, geralmente genéricas e qualitativas, são transformadas em especificações de projeto, ou seja, em requisitos quantificados, que estabelecem os principais problemas técnicos a serem resolvidos e as restrições de solução. Esse processo de transformação é denominado, segundo FONSECA [30], de **projeto informacional** do produto.

Na fase que se segue, desenvolve-se o **projeto conceitual** do produto, ou seja, o estabelecimento da concepção que melhor satisfaz às especificações de projeto. Essa concepção, de natureza qualitativa, representa o produto em suas principais funcionalidades e princípios de solução e caracteriza-se através de esquemas ou esboços da solução desenvolvida.

BACK [3]

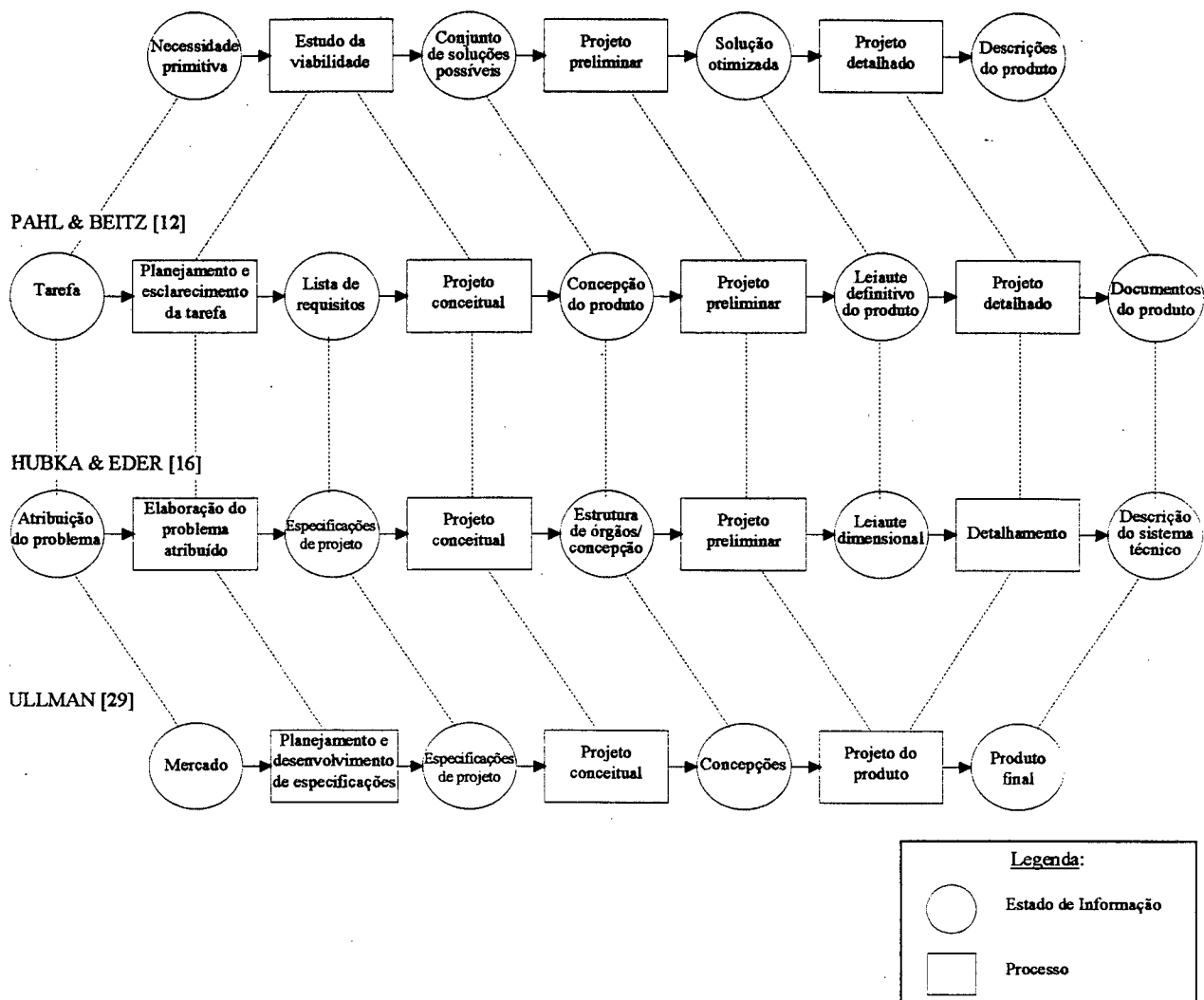


Figura 2.1 - Síntese comparativa entre metodologias de projeto.



Figura 2.2 - Modelo de consenso para o projeto sistemático de produtos.

Sobre a melhor concepção desenvolvem-se processos para configurar o leiaute do produto. Esse leiaute, de natureza quantitativa, consiste no arranjo geral dos elementos que caracterizam o produto em suas principais geometrias e formas. Trata-se do **projeto preliminar do produto**.

Por último, desenvolvem-se processos para transformar o leiaute do produto em documentos que caracterizam detalhadamente as soluções desenvolvidas e que possibilitam a sua realização física. Trata-se da documentação final do produto obtida sob o **projeto detalhado do produto**.

Conforme os estudos anteriores, observa-se que as proposições de metodologias de projeto apresentam morfologias similares. Sob esta premissa, a análise da viabilidade computacional de metodologias de projeto pode ser conduzida sob uma abordagem representativa. Assim, conforme o item que se segue, detalha-se a metodologia de projeto de produtos, conforme PAHL & BEITZ [12], considerada, aqui, como representativa das abordagens clássicas, para verificar a viabilidade computacional de processos conduzidos nas fases iniciais do projeto.

2.4 - Viabilidade computacional de metodologias de projeto

A metodologia de projeto, segundo PAHL & BEITZ [12], mostrada parcialmente na FIGURA 2.3, tem sido amplamente estudada e referenciada na literatura de projeto de engenharia. É alvo, também, sob alguns aspectos, de críticas, conforme ULLMAN [31]. Em essência, essa metodologia representa as principais proposições da escola alemã de projeto de engenharia, na medida em que incorpora a significação dos objetos de projeto, através de suas funcionalidades, representando princípios da escola semântica [17]. Mas também inclui os aspectos morfológicos da escola sintática, através de sua lógica ou estrutura de procedimentos.

Essa metodologia é configurada sob os fundamentos de sistemas técnicos e de abordagens sistemáticas para a solução de problemas. Sob os primeiros, os objetos de projeto, ou artefatos técnicos, em geral, são tratados como sistemas conectados ao ambiente por meio de entradas e saídas, na forma de energia, material e sinal. Sendo assim, a solução de um problema de projeto estabelece-se, em parte, pela definição de um sistema que reproduz os relacionamentos entre as entradas e as saídas, os quais são denominados de funções do sistema técnico. As funções, assim, tornam-se a formulação abstrata do problema, independente de soluções particulares.

Sob os fundamentos de abordagens sistemáticas, estabelece-se a lógica ou a seqüência dos procedimentos na estrutura do processo de projeto. Isso se dá a partir de princípios da psicologia cognitiva e de metodologias gerais para a solução de problemas. Sob os primeiros, configuram-se, em parte, os próprios procedimentos do processo de projeto. Eles devem refletir, de alguma maneira, a estrutura das operações mentais que ocorrem durante a solução de problemas.

Um dos modelos empregados para representar tais operações, chamado de TOTE, é mostrado na FIGURA 2.4. Consiste de dois processos ou operações: de modificação e de teste.

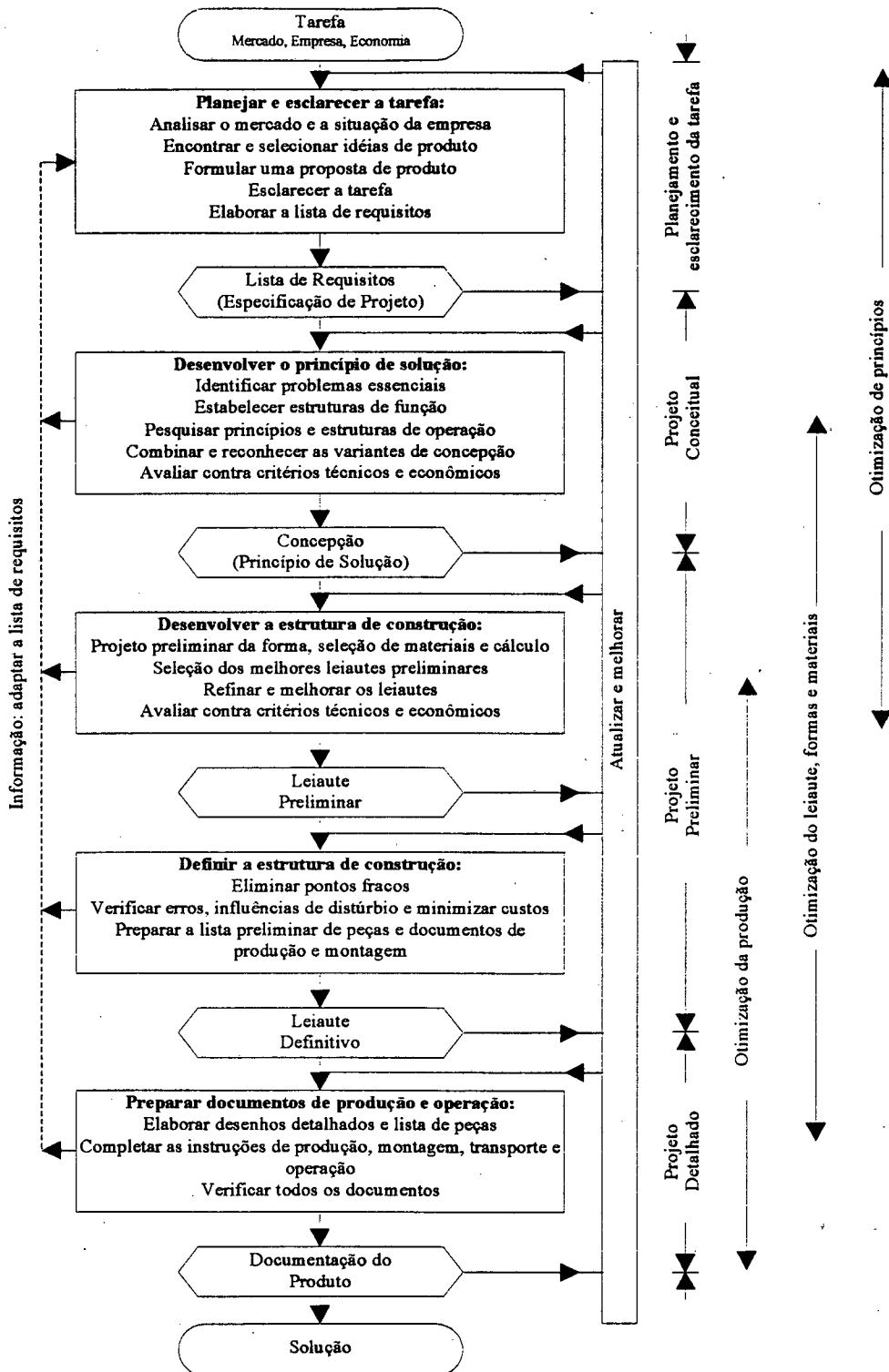


Figura 2.3 - Metodologia de projeto segundo PAHL & BEITZ [12].

Esse modelo mostra que, antes de uma operação de modificação, ocorre uma operação de “Test” para analisar o estado inicial do problema. Somente então, após esta análise, ocorre uma operação de modificação (“Operation?”). Esta última é seguida por outra operação de “Test”, durante a qual o estado resultante da modificação é verificado. Se o resultado é satisfatório, o

processo é concluído (“Exit”); caso contrário, o processo de modificação é adaptado e repetido. Sob tal modelo são estabelecidos, por exemplo, os processos de realimentação de informações, conforme podem ser verificados, em parte, no fluxograma da FIGURA 2.4.

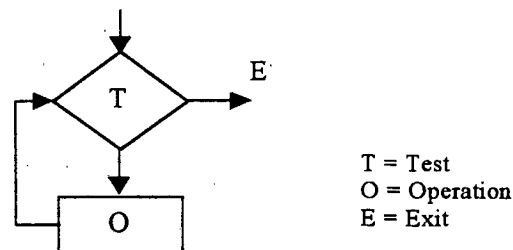


Figura 2.4 - Modelo TOTE, que representa a organização do processo de pensamento durante a solução de problemas [12].

Ainda, considerando os processos cognitivos, a solução de problemas é entendida como um processo de transformação de informações. Nesse caso, a informação é recebida, processada e transmitida, conforme o modelo da FIGURA 2.5. Através desses princípios são estabelecidos elementos, como as fontes de informações (mercado, empresa, etc.), a natureza dos processos (concepção, cálculo, experimentação, desenho, avaliação, etc.) e a natureza dos resultados do projeto (esquemas, desenhos, relatórios, tabelas, etc.). Isso também pode ser observado na estrutura do processo de projeto da FIGURA 2.3.

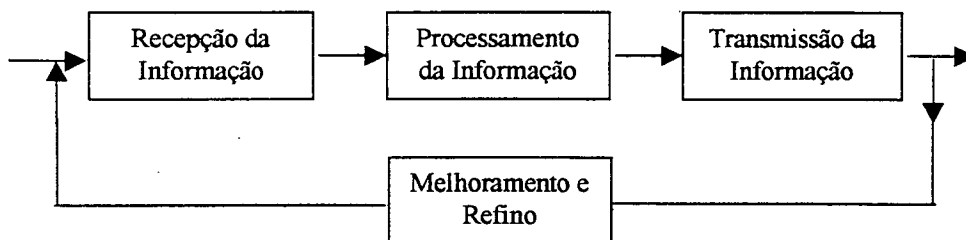


Figura 2.5 - Modelo de transformação de informações [12].

Com relação às metodologias gerais de trabalho, na forma de processos e de métodos, independentes do domínio de aplicação, estabelece-se a base teórica para a formulação de métodos especializados ou dedicados a determinadas fases, ou etapas, do processo de projeto. Como exemplo, o método da fatorização, descrito pelos autores [12], é contemplado na decomposição funcional, conforme pode ser observado pela natureza dos procedimentos estabelecidos na fase de desenvolvimento de princípios de solução, segundo o mostrado na FIGURA 2.3.

De particular interesse na metodologia de PAHL & BEITZ [12], consideram-se as proposições sobre as fases iniciais do processo de projeto, ou seja, sobre o **planejamento e**

esclarecimento da tarefa de projeto e sobre o projeto conceitual do produto, visando verificar se as proposições para aquelas fases são viáveis, ou estão preparadas, para a implementação de ferramentas computacionais de apoio ao projeto.¹ Nesse sentido, são analisados, a seguir, os principais processos conduzidos sob o planejamento e esclarecimento da tarefa de projeto e projeto conceitual do produto, criticando-os sob o enfoque da implementação de auxílios computacionais ao projeto. Ao final, de acordo com os resultados desta análise, estabelecem-se alguns dos requisitos e diretrizes para o processo de implementação de ferramentas computacionais de apoio ao projeto de produtos.

2.4.1 - Viabilidade computacional das fases iniciais do projeto

De acordo com a FIGURA 2.3, o processo de projeto, ou o desenvolvimento do produto, inicia-se com a fase de **planejamento e esclarecimento da tarefa de projeto**. Essa fase é conduzida com base nas informações oriundas da situação do mercado, das necessidades da própria empresa, de tendências da economia, entre outras fontes, e resulta na lista de requisitos de projeto.

No planejamento da tarefa de projeto, seja ela formal, realizada pelo departamento de “marketing”, ou informal, conduzida pelos próprios projetistas, buscam-se as idéias iniciais para produtos e mercados promissores num nível abstrato e preliminar. Já os objetivos do esclarecimento da tarefa de projeto consistem em coletar as informações sobre quais requisitos deverão ser satisfeitos com o produto resultante e, também, sobre as restrições existentes ao desenvolvimento e suas importâncias. Sob esse escopo, questiona-se: esta fase, da maneira como se apresenta, incluindo os detalhes apresentados pelos autores, está preparada ou é adequada à implementação de ferramentas computacionais? A resposta para essa questão é: parcialmente sim.

Na forma de ferramentas “inteligentes”, ou de sistemas especialistas, ainda devem ser conduzidos vários estudos para atingir aquela meta. Entre eles, o detalhamento e a algoritmização dos procedimentos, os quais devem ser conduzidos durante o planejamento e esclarecimento da tarefa de projeto; a associação ou resolução de tais procedimentos, através de regras heurísticas, oriundas da experiência de especialistas planejadores; a caracterização e representação dos dados tratados sob tais procedimentos, entre outros. Em outras palavras, faz-se

¹ A viabilidade computacional de dada metodologia de projeto é entendida, aqui, como a facilidade, ou não, da implementação de ferramentas computacionais de apoio às atividades dos projetistas. Em outras palavras, a facilidade, ou não, da simulação dos procedimentos propostos na metodologia por meio de ferramentas da informática.

necessária a sistematização do conhecimento sobre os processos conduzidos na fase de planejamento e esclarecimento da tarefa de projeto. Essa sistematização, desenvolvida em parte pelos autores [12], é insuficiente para a implementação de sistemas especialistas. Por exemplo, questões como quais são as regras ou as heurísticas empregadas durante o estabelecimento de idéias para produtos e mercados promissores, qual é o raciocínio empregado durante a avaliação de idéias promissoras, como se processa a síntese das informações na forma de uma lista de requisitos de projeto, entre outras, não têm sido devidamente respondidas.

Por outro lado, sob a forma de ferramentas computacionais facilitadoras do processo, são apresentados instrumentos ou meios que podem ser implementados, através de base de dados e/ou de ambientes para a manipulação de informações de projeto. Considere-se, por exemplo, para o subprocesso de **análise da situação do mercado**, a elaboração da matriz de produtos vs. mercados (instrumento), conforme a FIGURA 2.6 [12].

		Mercados existentes				Mercados novos			
Produtos existentes									
		reconhecer e esclarecer a situação dos produtos existentes da empresa e dos competidores em vários mercados				analisar a abertura de novos mercados com os produtos existentes			
Produtos novos									
		analisar a introdução de novos produtos nos mercados existentes				analisar a abertura de novos mercados com novos produtos			

Figura 2.6 - Matriz de produtos vs. mercados, recomendada para a análise da situação de mercado, segundo PAHL & BEITZ [12].

De acordo com a FIGURA 2.6, são listados, nas linhas da matriz, os produtos existentes e novos contra, em suas colunas, os mercados existentes e novos. Sob as interseções de tais categorias de informações efetuam-se as seguintes análises: sobre a situação dos produtos existentes da empresa e dos competidores, em vários mercados existentes (produtos existentes vs. mercados existentes); sobre a abertura de novos mercados, com os produtos existentes (produtos existentes vs. mercados novos); sobre a introdução de novos produtos (produtos novos

vs. mercados existentes); e sobre a abertura de novos mercados com novos produtos (produtos novos vs. mercados novos).

Considerando a matriz da FIGURA 2.6, sob o ponto de vista de ambientes para a preparação da matriz e para a manipulação dos dados (armazenar e recuperar as informações de produtos e de mercados, por exemplo) é viável a implementação de ferramentas computacionais facilitadoras do processo. São necessários, entretanto, estudos para “traduzir” os procedimentos de utilização da matriz, na forma de funcionalidades em programas de computador, e para estruturar e implementar base de dados das informações manipuladas na matriz.

Dessa maneira, a adequacidade computacional da fase de planejamento e esclarecimento da tarefa de projeto está sendo estabelecida, parcialmente, conforme o exemplo anterior, na forma de ferramentas facilitadoras do processo e sob a consideração da existência de instrumentos ou métodos recomendados para a condução prática do processo (ou subprocessos) em questão.

Na fase do **projeto conceitual do produto**, conforme a FIGURA 2.3, desenvolve-se, a partir da lista de requisitos, uma série de processos (ou subprocessos), com o propósito de se obter uma ou mais concepções para o produto. Da mesma maneira que na fase anterior, o projeto conceitual do produto constitui-se num processo de transformação de informações, inicialmente na forma de requisitos de projeto, em conceitos para o produto, geralmente na forma de esquemas gráficos. Sob este escopo, questiona-se, também, se essa fase, da maneira como se apresenta, incluindo os detalhes apresentados pelos autores, está preparada, ou é adequada, à implementação de ferramentas computacionais. Da mesma forma, a resposta é: parcialmente sim.

Considere-se, por exemplo, o subprocesso de **abstrair para identificar os problemas essenciais**. Nesse caso, é possível que, durante a elaboração da lista de requisitos, tenham sido estabelecidas propostas específicas para a solução dos problemas ou que, no inconsciente dos projetistas, já existam soluções predefinidas (fixação). Dessa maneira, a busca de soluções melhoradas ou inovadoras pode ser prejudicada. Para resolver ou minimizar esses problemas, lança-se mão da abstração, que consiste, essencialmente, na generalização de proposições, ignorando-se o que é particular e enfatizando-se o que é geral. Deve resultar desse processo uma função global para o problema e as restrições essenciais, sem qualquer solução particular associada.

Sob tais propósitos, o desenvolvimento de ferramentas computacionais, na forma de sistemas especialistas, por exemplo, demanda estudos adicionais, principalmente no sentido de

capturar o raciocínio empregado durante o processo de abstração. Questões do tipo: “como este processo é conduzido?”, “quais são as considerações durante a abstração?”, “como identificar uma declaração particular?”, “como transformar uma declaração particular numa geral?”, “quais são os elementos que estabelecem a qualidade de uma declaração?”, entre outras, precisam ser adequadamente respondidas. Suas respostas proporcionarão o estabelecimento de modelos para o raciocínio dos projetistas e as regras heurísticas necessárias para a sistematização e representação do conhecimento durante o processo de abstração. Essas respostas também não têm sido contempladas nas propostas dos autores [12].

Sob o enfoque de ferramentas computacionais facilitadoras do processo, assim como para a fase de planejamento e esclarecimento da tarefa de projeto, é viável a implementação de auxílios computacionais. São necessários, neste caso, estudos adicionais para “traduzir” as informações e os procedimentos conduzidos sob cada meio de projeto, na forma de funcionalidades e de estruturas de base de dados de projeto. Em outras palavras, é necessário emular determinado método de projeto na forma de uma ferramenta computacional.

Como exemplo desse processo, considere-se o método morfológico, cujas principais características são estabelecidas na FIGURA 2.7.

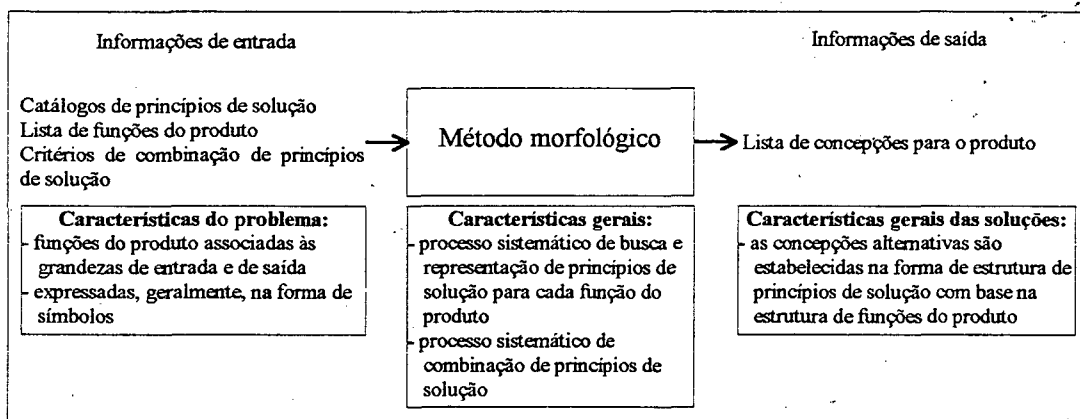


Figura 2.7 - Principais características do método morfológico.

No método morfológico, conforme a FIGURA 2.7, o processo de solução do problema é iniciado pelas funções do produto. Nesse processo, serão estabelecidos os princípios de solução para o produto, na forma de efeitos, leis, objetos, formas, movimentos, posições, entre outros. Do ponto de vista operacional, as funções do produto são listadas numa coluna da matriz. Para cada função são pesquisados e/ou desenvolvidos princípios de solução alternativos, preenchendo-se as demais colunas da matriz. Dessa forma, configura-se um “campo de soluções” para o problema. Na próxima etapa, iniciam-se processos de seleção e de combinação dos princípios de solução.

Para cada função, seleciona-se um princípio adequado e combina-se-o com um princípio da próxima função. Esse processo é conduzido, sucessivamente, até que se obtenha uma concepção para o produto. Dessa maneira, podem ser geradas, de modo sistemático, diversas concepções alternativas para o produto.

Na forma como esse método se apresenta, sua implementação, através de ferramentas computacionais facilitadoras do processo, consistirá dos seguintes passos principais:

- desenvolvimento de um ambiente (uma ou mais interfaces) onde uma matriz possa ser construída e manipulada;
- desenvolvimento de funcionalidades para a manipulação de informações, tais como inserção de funções, de princípios de solução, deleção, entre outras;
- desenvolvimento de algoritmos para a combinação sucessiva de princípios de solução para cada função do produto;
- desenvolvimento de base de dados para armazenar registros de funções, princípios de solução, de critérios de combinação, de concepções geradas, entre outros dados; etc.

Considerando as análises anteriores, a viabilidade de auxílios computacionais ao projeto conceitual de produtos está diretamente associada à facilidade de emulação ou simulação de um ou mais métodos (ou instrumentos) de projeto, os quais têm sido estabelecidos para conduzir determinados processos (ou subprocessos) de projeto. Condiciona-se, entretanto, essa premissa à sistematização das informações sob o escopo dos processos considerados e a caracterização, em detalhes, dos procedimentos de cada método considerado. Em síntese, os requisitos para a informatização das atividades de projeto, em suas fases iniciais, conforme as proposições de dada metodologia, são:

- estabelecer claramente o processo de projeto, o qual deve ser informatizado;
- definir claramente as fronteiras desse processo, na forma de suas entradas e saídas;
- estabelecer um ou mais meios de suporte, ou de realização, do processo, incluindo suas principais características;
- “traduzir” os meios estabelecidos, na forma de ambientes e/ou de base de dados, em computador; e,
- para a evolução das ferramentas, na forma de sistemas especialistas, sistematizar o conhecimento empregado para a realização de determinado processo de projeto.

2.5 - Considerações finais

Demais metodologias de projeto, e seus respectivos processos (ou subprocessos), também poderiam ser analisadas sob os enfoques anteriores. Entretanto, as conclusões obtidas seriam similares, ou seja, as de que as metodologias clássicas de projeto não se encontram devidamente preparadas para a implementação de auxílios computacionais, principalmente na forma de sistemas especialistas. Na forma de ferramentas facilitadoras dos processos, ou seja, de ambientes e de base de dados para a manipulação de informações de projeto, as metodologias de

projeto encontram-se parcialmente adequadas à informatização. Essa adequacidade é considerada sob a existência de um ou mais instrumentos recomendados para dado processo (ou subprocesso) de projeto. Nesse caso, entretanto, são necessários estudos adicionais para sistematizar os elementos da metodologia e "traduzi-los" em funcionalidades de programas de computador. Sob tais premissas, seguem-se, no CAPÍTULO 3, a caracterização e sistematização dos principais elementos da metodologia de projeto e a definição de diretrizes concretas ao processo de informatização das fases iniciais do processo de projeto.

CAPÍTULO 3 - CARACTERIZAÇÃO DE METODOLOGIA DE PROJETO E DIRETRIZES À IMPLEMENTAÇÃO DE AUXÍLIOS COMPUTACIONAIS AO PROJETO CONCEITUAL

3.1 - Introdução

Embora tenham sido definidos no CAPÍTULO 2 alguns dos principais requisitos para o desenvolvimento de ferramentas computacionais de auxílio ao projeto de produtos, em suas fases iniciais, e tenham sido caracterizados alguns dos principais elementos da metodologia de projeto, não se têm, ainda, claramente definidos, quais deverão ser os caminhos para o processo de informatização do projeto conceitual de produtos. Nesse sentido, este capítulo tem o propósito de estabelecer uma sistemática geral para essa informatização, através das relações entre conceitos de metodologia de projeto e de mecanismos de processamento de informações.

Inicia-se com uma discussão sobre conceitos de metodologia de projeto e sua estrutura, visando identificar os elementos que estabeleçam, claramente, a maneira de proceder na informatização de determinados processos (ou subprocessos) de projeto. Inclusas nesses propósitos consideram-se questões como: o que é uma metodologia de projeto, quem é seu recipiente, como ela é incorporada, como é aplicada, entre outras questões que procuram estimular a exploração, o entendimento e a configuração de uma sistemática geral para auxiliar na implementação de auxílios computacionais ao projeto de produtos.

Se se pretende implementar auxílios computacionais ao projeto, então o conceito de metodologia de projeto precisa estar suficientemente entendido e contextualizado para que, quando proposto para a concepção de produtos, parte de seus elementos possa ser mais facilmente caracterizada e parte deles “transferida” para o computador.

Tal discussão pretende ser estabelecida no sentido de auxiliar na definição das principais diretrizes ao processo de informatização das atividades de projeto, dedicáveis à concepção de produtos, as quais são resumidas ao final do texto.

3.2 - Metodologia de projeto e seus principais elementos

Diversos conceitos têm sido propostos para metodologia de projeto, sendo muitos deles derivados dos significados para o termo geral **metodologia**. De acordo com ABBAGNANO [32], o termo metodologia tem quatro significados principais: (1) a lógica, ou parte da lógica, que estuda os métodos; (2) a lógica transcendental aplicada; (3) o conjunto dos procedimentos

metódicos de uma ou mais ciências; e (4) a análise filosófica dos procedimentos.

Na literatura especializada de projeto de engenharia, os conceitos de metodologia de projeto apresentam-se, conforme FINKELSTEIN & FINKELSTEIN [21] e ROOZENBURG & EEKELS [1], sob dois enfoques principais: a **ciência (ou estudo) do método** e um **sistema de métodos (conjunto de procedimentos) aplicado às atividades de projeto**. São similares, portanto, aos significados (1) e (3), de ABBAGNANO [32].

No primeiro caso, metodologia de projeto é um ramo da ciência preocupado em estudar e desenvolver conhecimentos sobre métodos de projeto. O entendimento do processo cognitivo do homem e de seus valores é conteúdo que auxilia na busca e no desenvolvimento de métodos mais adequados a determinados tipos de problemas, sejam eles gerais ou específicos. Como um sistema de métodos, por sua vez, a metodologia de projeto consiste de um corpo de conhecimento sistematizado, configurado de tal maneira que suporta as atividades dos projetistas, orientando-os sob determinados caminhos para a busca de melhores soluções para os problemas de projeto. Trata-se do conjunto de procedimentos reconhecidos e aplicáveis a uma classe particular de tarefas. Em geral, são fixados na forma de fluxograma das atividades de projeto e de ferramentas (ou instrumentos) para conduzir tais atividades. Sob esse enfoque, alguns dos conceitos encontrados na literatura são:

PAHL & BEITZ [12]: “metodologia de projeto é um curso de ação concreto para o projeto de sistemas técnicos que deriva seus conhecimentos da ciência de projeto, psicologia cognitiva e da experiência prática em diversos domínios. Inclui planos de ação, estratégias, regras, princípios e métodos para resolver problemas de projeto.”

HUBKA [33]: “metodologia de projeto é uma teoria geral de procedimentos para resolver problemas de projeto. Está relacionada com a estratégia dos procedimentos, isto é, o caminho geral e as táticas de ação em pequenas parcelas de trabalho.”

EVBUOMWAN et al. [18]: “metodologia de projeto é uma coleção de procedimentos, ferramentas e técnicas para os projetistas usarem, quando projetando”.

Nota-se que, nos conceitos anteriores, os autores procuram “dar forma” para a metodologia de projeto, isto é, estabelecer maneiras pelas quais seus conhecimentos possam ser fixados e aplicados. PAHL & BEITZ [12], por exemplo, quando expressam que a metodologia de projeto inclui “planos de ação”, intencionam, provavelmente, representá-la na forma de fluxogramas do processo de projeto ou de atividades de projeto, como comumente conhecido. O

estabelecimento e caracterização da "forma" da metodologia de projeto constitui-se num dos caminhos principais para a sua implementação.

3.2.1 - Sistema metodologia de projeto

Considerando a metodologia de projeto como um sistema constituído de métodos, conforme as definições anteriores ([1], [21]), pode-se falar de um “**sistema metodologia de projeto**” e investigar seus principais elementos para caracterizá-los. Os elementos de um sistema são, em geral, os **componentes**, as partes operantes do sistema; os **atributos**, as propriedades ou as manifestações discerníveis dos componentes; e os **relacionamentos**, as ligações entre componentes e atributos (BLANCHARD & FABRICKY [34]).

Um dos componentes enunciados do sistema metodologia de projeto é o **método de projeto**. Trata-se, conforme HUBKA [33], do sistema de regras metódicas que determinam classes de possíveis procedimentos e ações, as quais conduzirão, muito provavelmente, a um caminho planejado para a satisfação de uma dada meta. Essas regras podem ser classificadas, por exemplo, pelo tipo de operação mental que propiciam (intuitiva ou discursiva) ou pelo escopo da aplicação (pesquisa, avaliação, cálculo, entre outros).

As características de um método, num sentido geral, são estabelecidas, conforme *Newell*,¹ da seguinte maneira:

- **um método é um modo específico de proceder** - pode-se pensar de numerosas outras maneiras que usam diferentes etapas;
- **um método é um procedimento racional** - seguindo as etapas prescritas pelo método aumentam-se as chances de resolver os problemas, quando comparado com “apenas fazer alguma coisa”;
- **um método é geral** - aplicável para mais que um problema. Ele prescreve a realização de certos objetos, estados, planos, entre outros, como metas intermediárias no caminho para a solução, mas não indica exatamente como ir de uma meta intermediária para outra. O método não é uma “ordem” ou uma “receita” - ele se refere a um conjunto de ações; e
- **o uso de um método é observável** - permite verificar se as ações do agente estão de acordo com as prescrições.

Nota-se nas definições de metodologia de projeto e de método de projeto o conceito de **procedimento**, o qual tem sido destacado diversas vezes. Os procedimentos determinam, em essência, “o que” deve ser feito, num dado contexto, ou sob dada situação, para atingir determinados propósitos. Suas definições e lógica dependem dos estados existentes de cada

¹ ROOZENBURG & EEKELS [1], *Product design: fundamentals and methods*, p. 38.

objeto (como eles se apresentam, suas características) e dos estados-meta desejados (como eles deverão se apresentar, no futuro). Assim, por exemplo, se um dado problema de projeto, como um objeto, encontra-se mal definido em sua proposição inicial (uma característica do objeto), então os procedimentos de dado método e sua lógica deverão propiciar que o problema seja detalhado e entendido antes de qualquer proposta de solução. A FIGURA 3.1, a seguir, adaptada de ROOZENBURG & EEKELS [1], mostra esta idéia.

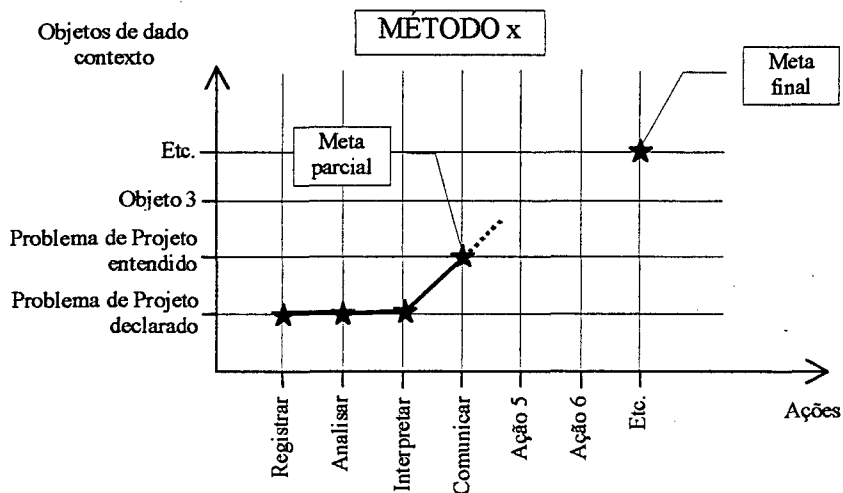


Figura 3.1 - Determinação dos procedimentos de projeto e sua lógica (adaptado de ROOZENBURG & EEKELS [1]).

A partir do conceito de método de projeto, o qual **prescreve caminhos, através de procedimentos pelos quais as transformações num dado contexto ou ambiente de desenvolvimento de produtos ocorrem**, propõe-se uma representação inicial, conceitual e abstrata para o sistema metodologia de projeto. Isto é, uma “forma” genérica que contemple os componentes até agora discutidos. Tal proposição é mostrada na FIGURA 3.2.

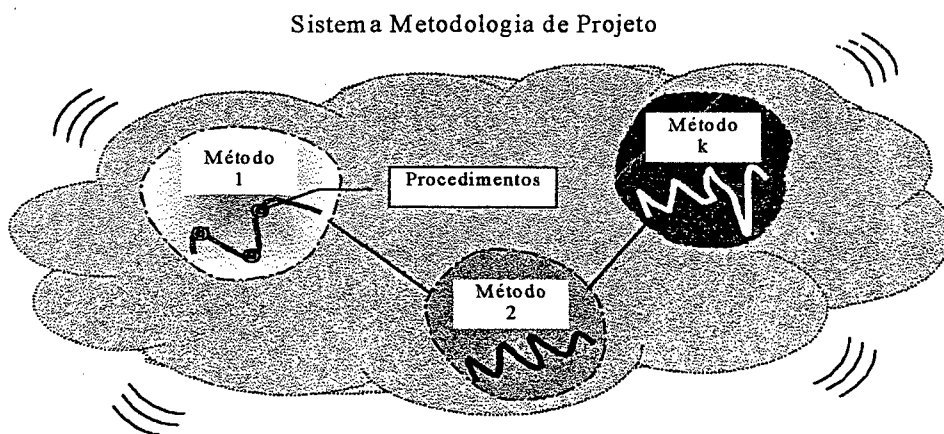


Figura 3.2 - Representação conceitual e abstrata do sistema metodologia de projeto.

A representação da FIGURA 3.2, a qual será estendida em seu conteúdo mais tarde, é proposta sob as seguintes considerações principais:

- um dado sistema conceitual não é estático, isto é, suas fronteiras não são fixas e variam com o tempo. As linhas pontilhadas e de movimento representam o carácter dinâmico desse sistema;
- os métodos que constituem um dado sistema metodologia de projeto não são únicos. Eles se apresentam de acordo com o contexto de desenvolvimento, incluindo aí os tipos de problemas a serem resolvidos, os recursos disponíveis e as características dos agentes de projeto. A designação de diferentes tipos de métodos (1, 2, ...k) representam o carácter diverso daquele sistema; e
- cada método particular caracteriza-se por caminhos particulares para a solução de problemas. Eles são diferentes entre si, mas podem ser complementares. Isso se configura na forma dos diferentes caminhos indicados em cada método representado. As ligações entre os métodos, por sua vez, caracterizam as suas complementaridades.

3.2.2 - Recipientes da metodologia de projeto

Conforme a FIGURA 3.2, a metodologia de projeto é um sistema de métodos, e o método de projeto, o qual prescreve um conjunto de procedimentos, é uma parte operacional daquele sistema. Em outras palavras, a metodologia de projeto constitui-se de um conjunto de conhecimentos sobre objetos e ações de um dado contexto, estabelecidos para auxiliar na solução de problemas de projeto. Então, a metodologia de projeto também pode ser estabelecida como um **“corpo de conhecimento operacional aplicável ao projeto de produtos”**.

Sendo um corpo de conhecimento operacional, a metodologia de projeto depende de um ou mais recipientes para ter efeito, ou ser aplicada. Em outras palavras, trata-se de um sistema que não possui transformações próprias. Assim, discute-se, a seguir, como os conceitos e os relacionamentos de dada metodologia são incorporados e registrados pelos típicos recipientes de conhecimento, incluindo o homem como o principal deles. Também discute-se sobre a relação do conhecimento da metodologia de projeto com as demais estruturas de conhecimento do homem. Estabelece-se, assim, um modelo aproximado de como a metodologia de projeto é incorporada, qual é seu contexto e quais são as principais influências sobre ela.

Conforme declarado anteriormente, a metodologia de projeto, como um corpo de conhecimento, não é uma entidade própria. Ela depende de recipientes e de agentes para sua fixação e aplicação. Isto é, alguém ou alguma coisa deve incorporar e fixar seus elementos. Típicos recipientes de conhecimento são enciclopédias, dicionários, livros, artigos, além do próprio cérebro humano.

No caso de enciclopédias, dicionários, livros, artigos, entre outros, o conhecimento é

estabelecido através de modelos que fazem uso da linguagem escrita. Em geral, nesses casos, o conhecimento da metodologia de projeto é estabelecido através de símbolos e declarações textuais que representam suas prescrições. Entretanto, esses recipientes não são ativos, ou seja, eles dependem de agentes (profissionais projetistas) para serem utilizados.

O cérebro humano, por sua vez, é um recipiente de conhecimento ativo, ou seja, além de incorporar e registrar o conhecimento da metodologia, possui mecanismos que possibilitam aplicar esse conhecimento, seja através do raciocínio, seja no comando de operações mentais/motoras.

Os mecanismos do cérebro empregados para incorporar, fixar e aplicar os conhecimentos não são muito bem conhecidos, e existem várias teorias sobre esse assunto ([29], [35], [36], [37]). De acordo com SOWA [37], por exemplo, os modelos mentais sobre o mundo e suas entidades são configurados através do conceito de “grafos conceituais”. Tais grafos são modelos que se constituem de “nodos conceitos”, os quais representam entidades, atributos, estados e eventos, e de “nodos relações”, que mostram como os conceitos são interconectados, a partir de ícones sensoriais das entidades sendo observadas.

No caso de entidades conceituais e abstratas, tais como metodologia, método, processo, funções, etc., para as quais não se tem, normalmente, um ícone sensorial diretamente associável (por exemplo, “a pessoa não vê o método”, mas o reconhece em dadas circunstâncias); os significados ou as percepções são adquiridos através de uma vasta rede de relacionamentos, denominada de “rede semântica” (ou rede de significados). A FIGURA 3.3 mostra um exemplo de como o conhecimento é percebido na mente humana através das redes semânticas, para uma declaração do tipo: “(...) o computador é um instrumento do método de projeto (...)”.

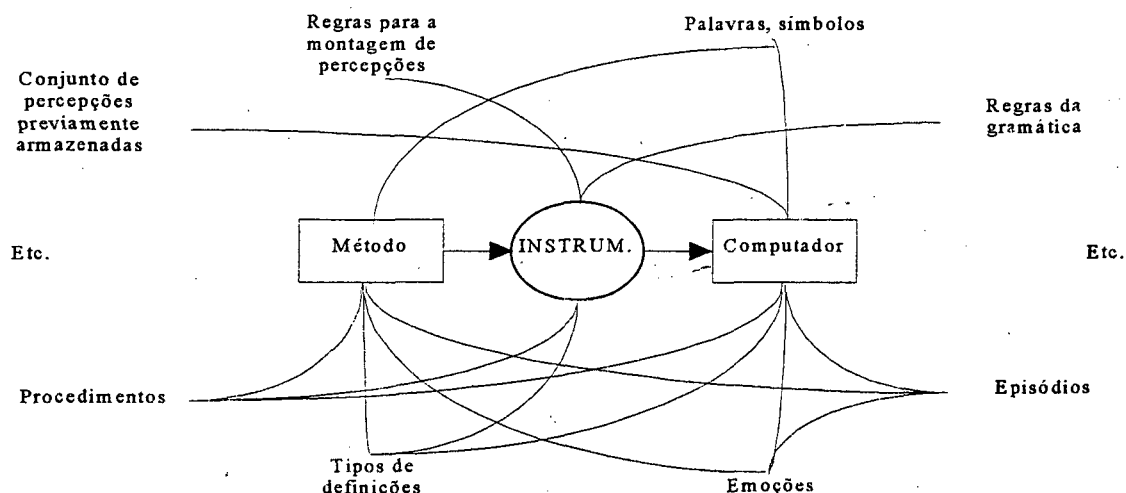


Figura 3.3 - Estrutura de uma rede semântica configurada para representar parcelas de conhecimento na mente humana (adaptado de SOWA [37]).

Considerando os modelos de SOWA [37], nota-se que o corpo de conhecimento de dada metodologia de projeto está relacionado com diversas outras estruturas de conhecimento do homem, formando uma rede complexa de significados para o entendimento das situações de projeto e aplicação de suas prescrições durante a solução de problemas. Estabelece-se, a partir disso, um modelo abstrato de “contextualização” dos conhecimentos operacionais de dada metodologia de projeto, conforme a FIGURA 3.4, a seguir, sendo os profissionais de projeto o seu principal recipiente.

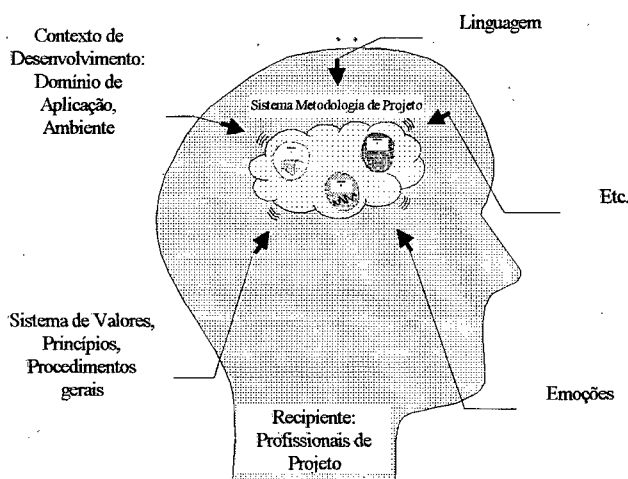


Figura 3.4 - Contextualização da metodologia de projeto em relação às demais estruturas de conhecimento do homem.

De acordo com a FIGURA 3.5, os conhecimentos operacionais de dada metodologia de projeto são incorporados, reconhecidos e fixados na mente humana, sob a consideração e influências dos seguintes elementos:

- **linguagem:** os conceitos e as relações da metodologia estão associados com as palavras, as regras gramaticais e os símbolos de uma dada linguagem, influenciando em seus aspectos de forma. Por exemplo, dependendo da linguagem, pode-se ter diferentes representações para os conhecimentos da metodologia, as quais podem conduzir a diferentes interpretações ou modos de aplicação;
- **contexto de desenvolvimento:** os conceitos e as relações da metodologia serão associados com conhecimentos de algum ambiente, episódio ou conceitos de dado domínio, para o qual eles serão, ou não, relevantes, conferindo-lhes aspectos de utilidade e aplicabilidade. Por exemplo, dependendo do ambiente e/ou domínio, os conhecimentos da metodologia de projeto poderão, ou não, conduzir a resultados concretos;
- **sistema de valores, princípios, procedimentos:** os conceitos e as relações da metodologia de projeto estão associados com outras estruturas operacionais de conhecimento do homem, influenciando em aspectos de sua aceitação. Por exemplo, dependendo das estruturas operacionais, os procedimentos prescritos pela metodologia poderão, ou não, ser conduzidos de forma eficiente, dependendo da existência, ou não, de conflitos; e
- **emoções:** os conceitos e as relações da metodologia de projeto estão associados com as emoções do agente, conferindo-lhes aspectos relacionados, entre outros, à sua efetividade. Por exemplo, dependendo do estado emocional de dado agente, as prescrições da metodologia serão, ou não, levadas adiante; etc.

Assim, o conhecimento operacional de dada metodologia de projeto, além de não ser autônomo, não se constitui de conhecimento isolado, mas inserido num conjunto de estruturas complexas, as quais estabelecem diversas influências, seja na sua incorporação, fixação e aplicação, durante formação dos profissionais projetistas, seja durante a solução de problemas práticos de projeto. Isso implica, em parte, que na configuração de dada metodologia e sua implementação devem ser consideradas as características daqueles que serão os agentes dos conhecimentos estabelecidos. Por exemplo, a utilização de linguagens e vocabulários apropriados à formação dos profissionais, alvos da metodologia, é importante para evitar ambigüidades nos conceitos e, possivelmente, a rejeição de suas prescrições.

3.2.3 - Aplicação de metodologia de projeto

Da discussão promovida até aqui, pode-se sintetizar que: **a metodologia de projeto constitui um sistema de métodos ou um corpo de conhecimento operacional cujos conceitos são incorporados pelos agentes de projeto e propiciam auxílios, na forma de procedimentos, diante de determinadas situações de projeto, em dado ambiente de desenvolvimento de produtos.** Essa síntese é representada conforme a FIGURA 3.5.

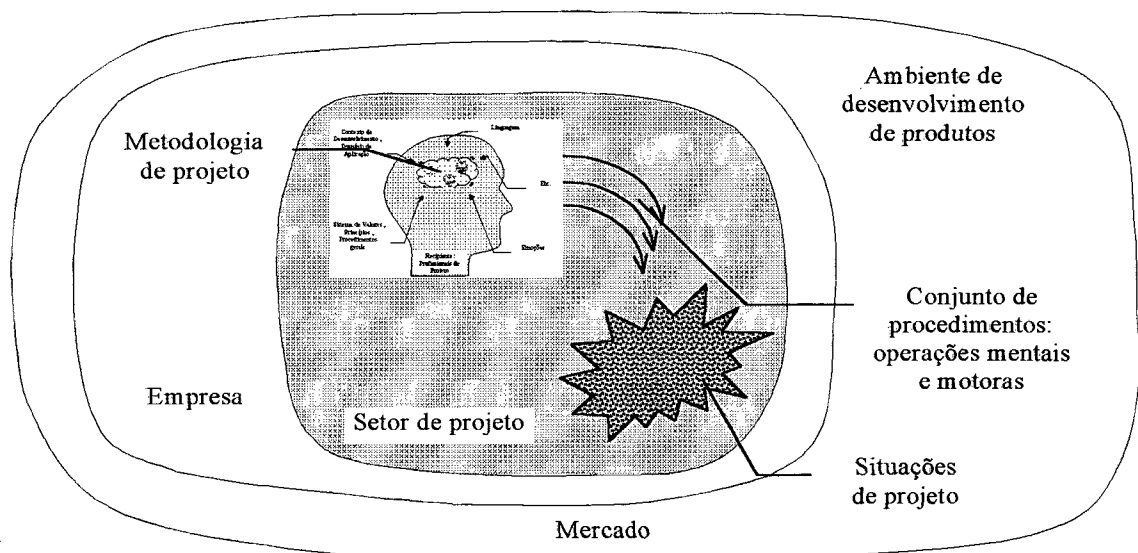


Figura 3.5 - Síntese do contexto da metodologia de projeto de produtos.

Na representação proposta na FIGURA 3.5, aparecem novos elementos que têm relações diretas e indiretas com a metodologia de projeto. Parte destes elementos e relações serão discutidos, aqui, sob o enfoque da aplicação de dada metodologia de projeto. Procurar-se-á responder questões do tipo: como se processa ou o que acontece quando o conhecimento

operacional de dada metodologia está sendo aplicado. A partir disso, estabelecer-se-ão os demais elementos metodológicos, importantes para a definição de diretrizes ao processo de informatização das atividades de projeto de produtos.

Entre os elementos representados na FIGURA 3.5, as **situações de projeto** irão definir os objetos da aplicação de dada metodologia de projeto, ou seja, as entidades, conceituais ou concretas, de dado ambiente, sobre as quais o projetista intervirá (mental ou mental/motoramente) de acordo com as prescrições de determinado método. As situações de projeto propiciam, também, o “disparo” ou início dos eventos de projeto.

As situações de projeto são, por exemplo, ordens de serviço, problemas comunicados ou percebidos, deficiências em sistemas técnicos da empresa, solicitações externas de clientes, idéias pessoais dos projetistas, entre outras. Geralmente se apresentam na forma de manifestações (mentais, verbais ou escritas) de algum agente ou profissional que tem relação com o ambiente de desenvolvimento de produtos e está interessado num resultado concreto (um produto, um serviço; entre outros).

Considere-se, por exemplo, uma situação hipotética de projeto conforme a FIGURA 3.6. Nesta, o problema é estabelecido, simplificada, através de uma ordem de serviço (determinar o volume de um recipiente cilíndrico) e do próprio cilindro. Apesar de simples em sua proposição, questiona-se: qual será o comportamento do projetista diante da situação de projeto proposta?

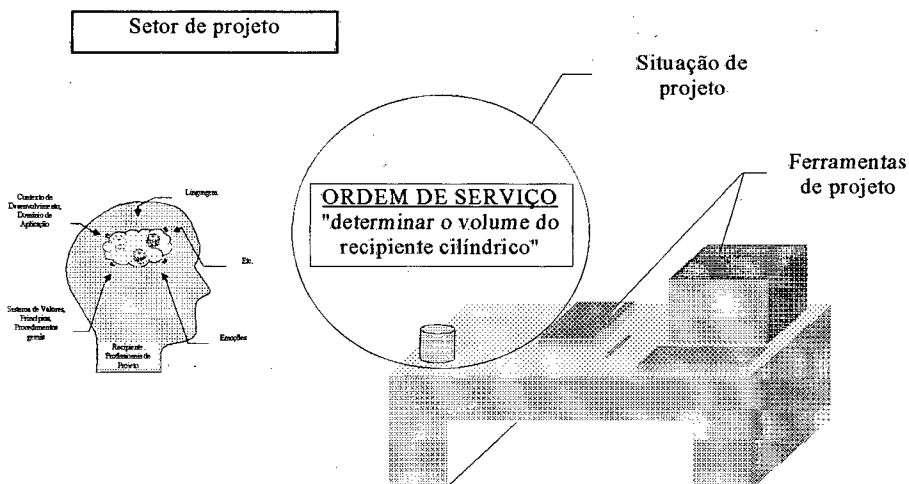


Figura 3.6 - Situação hipotética de projeto num dado ambiente.

Nesse caso, o comportamento do projetista poderá ser diverso. Ele dependerá, além da própria situação de projeto (suas características) e dos ^{PH} conhecimentos operacionais da metodologia, de uma série de fatores do próprio ambiente de desenvolvimento, tais como

condições de trabalho, ferramentas disponíveis, equipe de trabalho, estrutura gerencial, entre outros. Esses fatores serão associados, conforme princípios discutidos no item 3.3.2 (redes semânticas), com as estruturas mentais e de conhecimento do projetista (valores, princípios, emoções, linguagem, procedimentos gerais, etc.), conduzindo a diversas percepções sobre o ambiente e, como consequência, a diversos tipos de ações ou comportamentos. Essas ações poderão ser produtivas se os fatores do ambiente forem positivos, tais como condições de trabalho adequadas, adequado ferramental disponível, equipe de trabalho sintonizada, entre outros. Do contrário, serão improdutivas.

Particularmente, considerando a situação de projeto da FIGURA 3.6, grande parte das ações do projetista dependerá dos conhecimentos operacionais da metodologia de projeto e dos conhecimentos do domínio de aplicação. Esses conhecimentos serão associados aos objetos de projeto (ordem de serviço e cilindro), conduzindo às ações de projeto (cálculo do volume).

Numa situação prática e simples como aquela da FIGURA 3.6, o projetista, muito provavelmente, não distinguirá, em seu raciocínio, os procedimentos prescritos em dado método de projeto para atuar sobre ela. Em outras palavras, seu comportamento ou suas ações se processarão de forma “mecânica”, sem maiores reflexões sobre o assunto, simplesmente aplicando uma fórmula para o cálculo do volume de cilindros obtida, caso não memorizada, em diversos manuais ou livros de engenharia, física, etc. Por outro lado, supondo que aquela mesma situação deva ser resolvida por um computador, então a distinção e o detalhamento das informações, dos procedimentos e das relações entre eles (fluxo de dados, por exemplo) se tornarão importantes para a configuração e implementação de programas que sejam hábeis para atuar sobre a situação proposta.

Generalizando a situação anterior, considere-se como exemplo um procedimento prescrito por dado método, tal como “definir claramente o problema de projeto”. Na forma gráfica, esse procedimento pode ser representado conforme a FIGURA 3.7, a seguir.

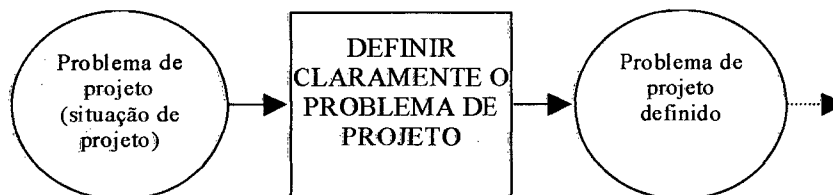


Figura 3.7 - Representação parcial de procedimentos de um dado método.

O procedimento representado na FIGURA 3.7 constitui-se numa parcela do conhecimento operacional de uma dada metodologia ou método desta metodologia. Ele conduz a

um conjunto de ações mentais e motoras que propiciam o “disparo” ou início dos eventos de projeto. Noutra forma, aquele procedimento orienta o raciocínio do projetista para a situação de projeto em questão, propiciando, entre outras coisas, o seu reconhecimento.

Considerando o problema proposto na FIGURA 3.6, esse reconhecimento pode se dar, por exemplo, na forma de modelos mentais sobre um cilindro e suas características (raio, altura, volume), incluindo a relação entre estas através da expressão $V=\pi.r^2.h$. Esse resultado, que também pode se configurar na forma escrita, constitui-se noutra tipo de informação armazenada na memória de trabalho do projetista ou no papel. Dessa maneira, ocorrerá, na aplicação do procedimento de projeto, um processamento ou transformação de informações. Essa transformação tem sido tratada, em geral, como o processo de projeto.

Portanto, quando o projetista aplica os conhecimentos operacionais de dada metodologia de projeto, ou seja, seus métodos, origina-se, pelas orientações de seus procedimentos, um processo de transformação de informações de projeto, o qual caracteriza um dado **processo de projeto**. As situações inicial e final desse processo se constituem nos chamados **estados de informação de projeto**. Essa proposição pode ser representada, de forma gráfica, conforme a FIGURA 3.8, a seguir.

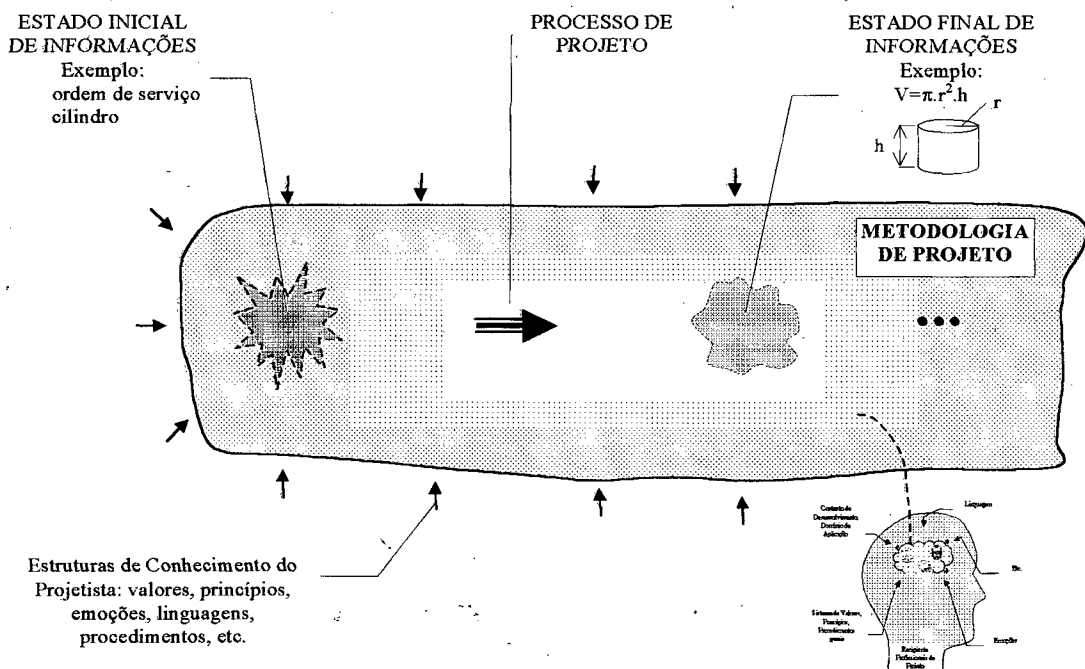


Figura 3.8 - Estados de informação e processo de projeto.

A representação da FIGURA 3.8 foi proposta sob as seguintes considerações:

um estado de informações de projeto dificilmente estará completo em sua proposição ou percepção. As linhas pontilhadas, nas figuras que indicam os estados de informação, representam essa idéia;

- um estado final ou intermediário de informação de projeto será uma evolução daquele inicial, seja em seu conteúdo e/ou forma, após a intervenção do projetista, seja mental e/ou motora. As diferentes formas das figuras que indicam os estados de informação representam essa idéia;
- os estados de informação de projeto estarão, durante o projeto, sob a influência das estruturas de conhecimento do projetista, além daquela propiciada pela metodologia de projeto. Os vetores circundantes orientados às figuras que indicam os estados de informação representam essa idéia;
- entre dois ou mais estados de informação de projeto acontece uma série de ações (intervenções) do projetista orientadas por um ou mais procedimentos de dado método e sintetizadas como um processo de projeto. O vetor entre as figuras dos estados de informação representa essa idéia;
- o processo de projeto, como uma síntese das intervenções do projetista, num dado ambiente de desenvolvimento de produtos, está sujeito à influência das estruturas de conhecimento do projetista, além daquela propiciada pela metodologia de projeto. Os vetores circundantes orientados ao processo representam essa idéia.

3.2.4 - Relações entre metodologia e processo de projeto

Da maneira como foi discutido no item 3.2.3 e conforme a FIGURA 3.8, o processo de projeto é decorrência da aplicação de dada metodologia de projeto sobre uma dada situação de projeto que acontece num dado ambiente de desenvolvimento de produtos. Entretanto, em muitos casos, o processo de projeto também acontece sem a aplicação de metodologia de projeto. Questiona-se, assim, sobre quais são as relações entre metodologia de projeto e processo de projeto. Com tais relações, estabelece-se, ao final, um modelo conceitual para o projeto sistemático de produtos para auxiliar na definição de diretrizes à implementação de auxílios computacionais ao projeto conceitual de produtos.

O conceito de metodologia de projeto foi amplamente discutido nos itens anteriores e constitui, de maneira simples, um sistema de métodos de projeto ou de conhecimentos operacionais aplicáveis ao projeto. Trata-se, em essência, de um sistema conceitual que prescreve uma série de procedimentos de projeto cujo recipiente é o projetista.

Por outro lado, o conceito de processo de projeto foi estabelecido na forma de um processo de transformação de informações. Trata-se, em essência, de um sistema de ações ou intervenções do projetista que faz evoluir as informações na forma de problemas para informações na forma de soluções de projeto. Essas ações acontecem sob um ambiente de desenvolvimento de produtos que inclui, genericamente, o mercado, a empresa, o setor de projeto, entre outros.

Nota-se que tanto a metodologia de projeto quanto o processo de projeto dependem de agentes de projeto para terem efeito ou acontecerem. Assim, um elemento comum entre ambos os conceitos é o agente de projeto. Essa relação, conforme a FIGURA 3.9, pode ser estabelecida como uma relação de causa e efeito cujo portador ou veículo da relação é o agente do projeto.

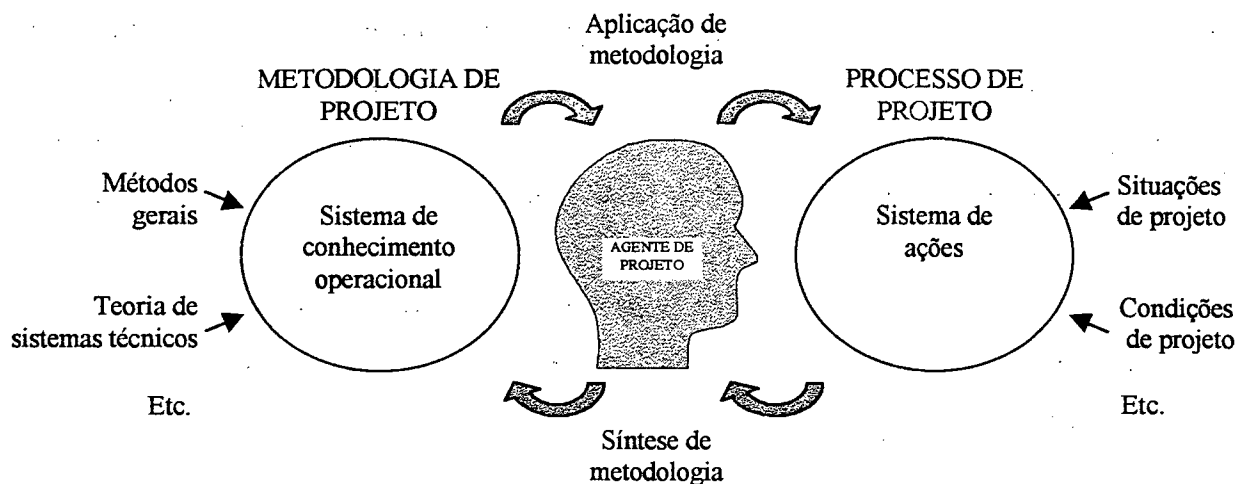


Figura 3.9 - Relações entre metodologia e processo de projeto.

Ela pode ocorrer sob dois sentidos principais: da metodologia para o processo de projeto e do processo para a metodologia de projeto.

No primeiro caso, supondo uma metodologia de projeto estabelecida através de métodos gerais, teoria de sistemas técnicos, entre outros, o processo de projeto é decorrência de sua aplicação através de seus agentes. Em outras palavras, as ações de projeto acontecerão, em grande parte, orientadas e estruturadas conforme as prescrições dos procedimentos de cada método de projeto. A natureza do processo de projeto assume as características da metodologia de projeto, ou seja, sua estrutura, sua lógica, suas metas, a seqüência de seus procedimentos, entre outros. No processo de projeto, essas características podem ser traduzidas, em parte, pela formalização dos eventos e das informações de projeto manipuladas.

No segundo caso, supondo, inicialmente, a inexistência de uma metodologia de projeto, sua configuração pode se dar como decorrência do processo de projeto. Em outras palavras, as ações de projeto, realizadas por diversas vezes, oriundas da experiência dos agentes de projeto poderão, em dado momento, ser sintetizadas (configuradas) numa forma de metodologia de projeto. Nesse caso, a natureza da metodologia assume as características do processo de projeto, em geral para situações particulares ou dedicadas.

De acordo com as proposições anteriores, nota-se que uma metodologia de projeto pode ser configurada de duas formas, chamadas, aqui, de teórica e de prática. Na teórica, a metodologia de projeto é baseada em métodos gerais de solução de problemas, teoria de sistemas técnicos, entre outros conhecimentos, os quais propiciam as diretrizes para a idealização de uma estrutura de procedimentos adequados à solução de problemas de projeto. Na forma prática, por sua vez, a metodologia de projeto é configurada com base nos sucessos (ou insucessos) que decorrem da repetição de ações de projeto, oriundas de diversas situações, condições de projeto,

entre outras. Esses eventos são sintetizados na forma de uma estrutura de procedimentos, dedicados, em geral, a situações particulares de projeto.

Em comum, quando configurada, incorporada e aplicada, **a metodologia de projeto suporta determinadas ações de projeto** ou, como também conhecidas, atividades de projeto. Esse suporte pode se dar, por exemplo, pelas orientações quanto à maneira de raciocinar ou sobre como usar os recursos disponíveis para o projeto. Essa relação de suporte entre metodologia de projeto e processo de projeto pode ser abstraída, numa primeira abordagem, conforme o modelo proposto na FIGURA 3.10, cujo símbolo entre os conceitos dá a idéia de suporte ou apoio.

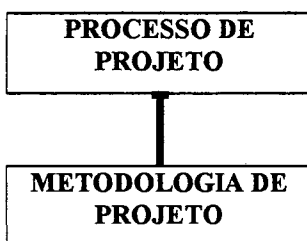


Figura 3.10 - Modelo inicial abstrato para relacionar metodologia e processo de projeto.

Seguindo esse raciocínio e sendo o processo de projeto um processo de transformação de informações num dado ambiente de desenvolvimento de produtos, o modelo proposto anteriormente pode evoluir para aquele representado na FIGURA 3.11, onde se inserem os estados inicial e final (ou intermediários) das informações de projeto.

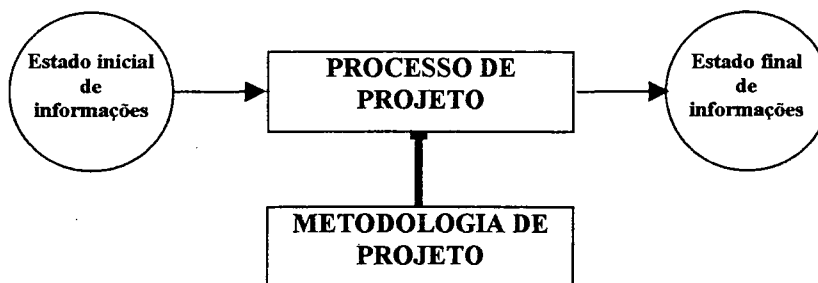


Figura 3.11 - Evolução do modelo abstrato para relacionar metodologia e processo de projeto.

Os estados de informação de projeto são os objetos ou as situações de projeto sobre os quais o projetista intervirá, visando a resultados úteis. Eles são percebidos ou reconhecidos, conforme discutido no item 3.2.2, através de uma vasta rede de relacionamentos, incluindo, em seu escopo, linguagens para representá-los. Adicionalmente, esses estados de informação dependem de um ou mais recipientes para terem efeito ou se constituírem. Na maioria dos processos, o recipiente dos estados de informação é o próprio projetista. Em síntese, os estados de informação dependem de determinados **meios de projeto**.

Dessa maneira, considerando a metodologia de projeto também como um meio de operacionalização ou de suporte ao processo de projeto, o modelo abstrato e conceitual que sintetiza e relaciona os principais elementos metodológicos do projeto sistemático de produtos pode ser estabelecido conforme a representação da FIGURA 3.12.

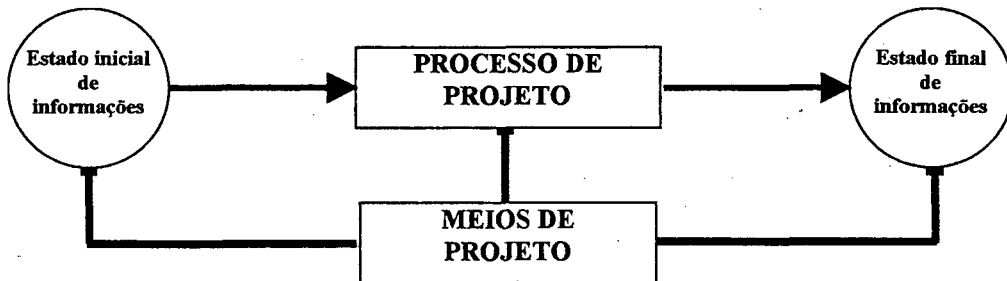


Figura 3.12 - Elementos metodológicos e sua estrutura.

Esse modelo, apesar de simples em sua proposição, procura estabelecer claramente qual é o elemento metodológico, o qual deverá ser considerado na proposição e desenvolvimento de ferramentas computacionais de apoio ao projeto. Tal elemento constitui-se nos meios de projeto, mais especificamente, nos métodos de projeto empregados sob dada abordagem.

Estabelece-se, assim, o principal caminho para o processo de informatização das fases iniciais do processo de projeto, e segue, desta maneira, a determinação das diretrizes para este fim.

3.3 - Diretrizes para a implementação de auxílios computacionais ao projeto

Além do caminho proposto para a informatização do projeto conceitual de produtos, conforme o item anterior, demais diretrizes podem ser derivadas da análise, em maiores detalhes, sobre como se dá o processamento das informações na mente do projetista e quais são os elementos associados. Parte-se da premissa, conforme os estudos anteriores, de que o próprio projetista e seus conhecimentos são meios de projeto. Então, se identificados e caracterizados os elementos sob estes meios, ter-se-ão subsídios adicionais para traçar os caminhos para a implementação de auxílios computacionais ao projeto.

Os modelos propostos para o processamento de informações na mente do projetista não são completos, nem definitivos. Alguns deles foram introduzidos em 2.2.2 e 3.2.2. Em 3.2.2, por exemplo, foi discutido sobre a maneira pela qual os conceitos são reconhecidos pelo homem através das chamadas redes semânticas. De maneira similar àquelas abordagens, porém sob o aspecto físico-funcional, ULLMAN [29] discute sobre um modelo humano de processamento de

informações, ou de solução de problemas de projeto, cuja representação adaptada é mostrada na FIGURA 3.13.

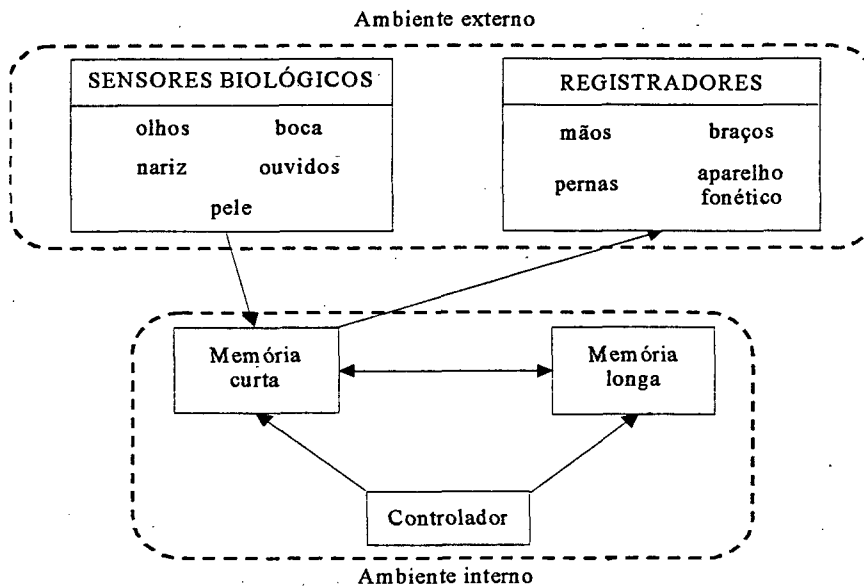


Figura 3.13 - Modelo físico/funcional de processamento de informações (adaptado de ULLMAN [29]).

De acordo com a FIGURA 3.13, o processamento das informações, durante a solução de problemas, acontece através da interação entre os elementos de dois ambientes principais, relativos ao homem: o ambiente interno e o ambiente externo. No ambiente interno, o cérebro humano, incluem-se áreas de memória e de controle. No externo, fora do cérebro humano, incluem-se os sensores, para a captura das informações, e os órgãos motores, para as ações de comunicação das informações processadas.

No ambiente interno são modeladas duas áreas de memória: a memória curta, similar à memória RAM (*Random Access Memory*) de um computador, e a memória longa, similar ao disco de armazenamento (HD). Considerando essas áreas de memória, a informação é introduzida no sistema através de sensores biológicos e é recebida na memória curta. Após seu processamento, incluindo a interação entre as áreas de memória e o controlador, as informações resultantes são comunicadas através dos membros e órgãos motores do homem, os quais funcionam como espécies de registradores de informações.

No processamento da informação a memória curta funciona como uma área de trabalho ou como uma espécie de processador principal do cérebro humano. Ela opera com “peças” ou “blocos” de informações, tais como conceitos, objetos, números, figuras, etc. Nesse processador são executadas operações que incluem, por exemplo, a comparação de um bloco de informação com outro; modificação de um bloco de informação pela decomposição em partes menores;

combinação de dois ou mais blocos de informações em um único; decisões sobre blocos de informações, entre outras.

A capacidade de processamento da memória curta é limitada. Segundo *Miller*,² ela é capaz de operar, simultaneamente, com somente sete blocos de informações. Isso significa, por exemplo, o processamento (operações temporárias na memória curta) de um número de telefone de sete dígitos distintos, de sete palavras não correlacionadas, entre outros. Devido a essa limitação, o cérebro humano faz uso de outros mecanismos para conduzir o processamento das informações, em maior número e complexidade. Incluem-se, aí, a memória longa e o controlador.

A memória longa contém o conhecimento fatorial e heurístico [12] sobre determinadas situações, domínios ou contextos e é entendida como de capacidade ilimitada. Ela funciona como uma espécie de base de conhecimento do ser humano, que é constantemente acessada durante o processamento e a comunicação das informações. Os conhecimentos que são armazenados na memória longa podem ser recuperados sob diferentes níveis de abstração, diferentes linguagens e sob diferentes características, conforme exemplos na FIGURA 3.14. Sua limitação se dá, principalmente, na velocidade de registro ou armazenamento de informações, ou seja, na memorização de determinados conceitos.

Durante a solução de determinado problema, o mecanismo controlador atua sobre ambas as memórias, gerenciando o fluxo de informações entre elas e o ambiente externo. Ele controla a entrada das informações, desde os sensores externos, o acesso às informações da memória longa para a memória curta e a saída das informações da memória curta para os registradores. Adicionalmente, durante o processamento, o controlador auxilia na extensão das capacidades da memória curta, acionando as operações motoras, tais como a representação gráfica ou escrita de determinado bloco de informação. Também, quando determinados resultados foram obtidos, o controlador gerencia, além da comunicação externa, o processo de armazenamento das informações na memória longa.

Além das características físico-funcionais do sistema humano de processamento de informações, conforme modelo da FIGURA 3.13, pode ser-lhe atribuído, de acordo com FISCHLER & FIRSCHEIN [35], um conjunto de atributos de um agente ou de um sistema inteligente. Tais atributos são:

² G.A. Miller. "The Magical Number Seven...", citado em ULLMAN [29], p.40.

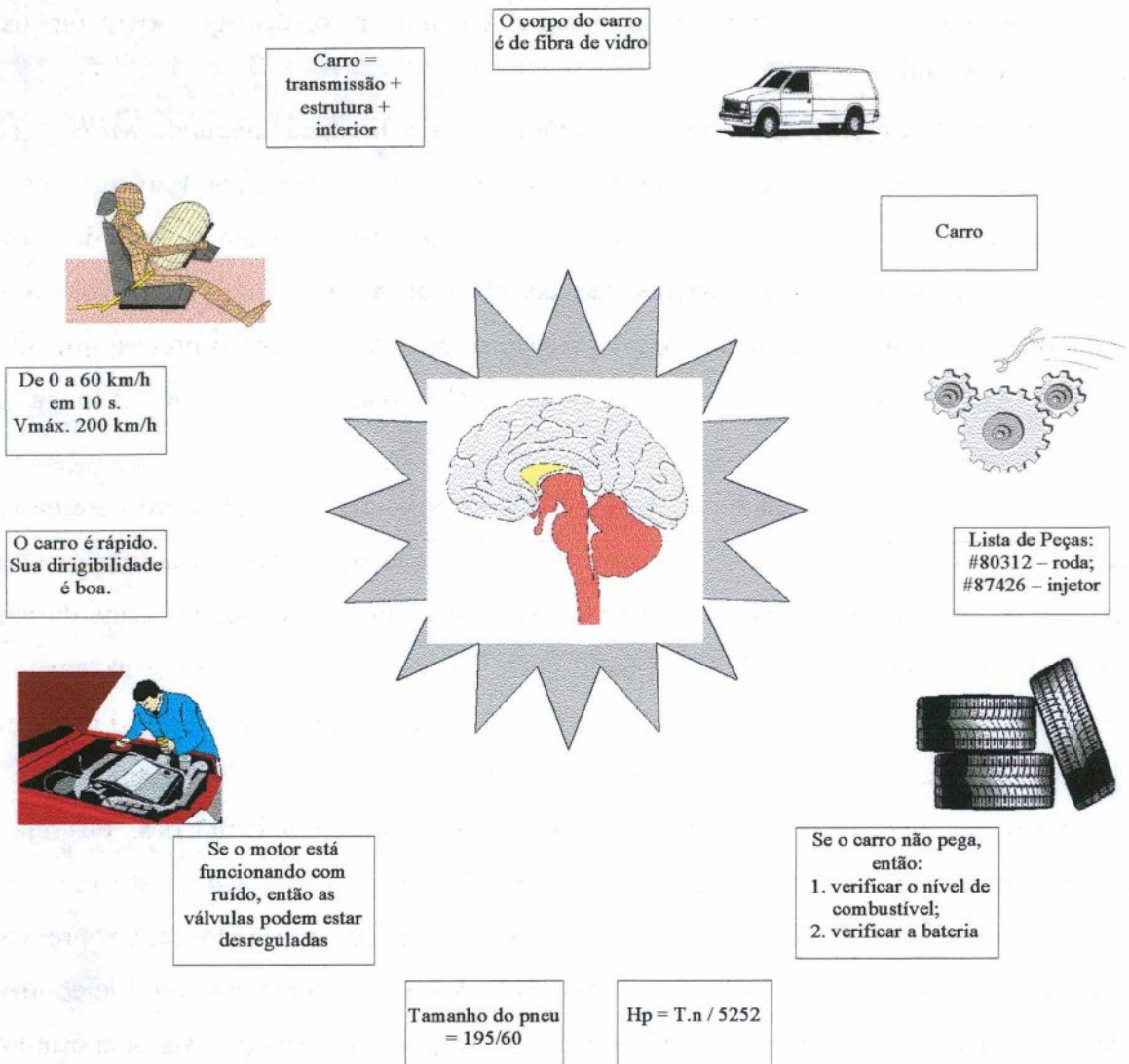


Figura 3.14 - Diferentes formas de armazenamento e recuperação de classes similares de conhecimento (adaptado de ULLMAN [29]).

- ter atitudes mentais do tipo crenças, desejos e intenções;
- aprender: habilidade de adquirir novos conhecimentos;
- resolver problemas, incluindo habilidades de dividir problemas complexos em partes mais simples;
- entender, incluindo habilidades de dar sentido às informações ambíguas ou contraditórias;
- planejar e prever as conseqüências de determinadas ações, incluindo a habilidade de comparar e avaliar alternativas;
- conhecer os limites de seu próprio conhecimento e de sua habilidade;
- traçar distinções entre situações, independentemente de suas similaridades;
- ser original, sintetizar novos conceitos e idéias e adquirir e empregar analogias;
- generalizar, encontrando padrões comuns em situações superficialmente distintas;
- perceber e modelar o mundo externo; e
- entender e usar linguagens e ferramentas simbólicas relacionadas.

Na forma técnica, outro sistema de processamento de informações bastante conhecido é o sistema computacional, incluindo hardware e software. O hardware apresenta-se, geralmente, apesar das variadas arquiteturas, na forma de dispositivos de entrada e saída de dados, unidade central de processamento, controlador, memória, além de dispositivos periféricos, tais como impressoras, *plotters*, scanners, entre outros. O software, por sua vez, constitui-se, essencialmente, num conjunto de instruções codificadas por determinada linguagem, que, além de operar o hardware, na forma de um sistema operacional, constitui-se de aplicativos específicos para o usuário.

Ambos os sistemas, humano e computacional, constituem-se em meios de projeto, cuja associação é mostrada na FIGURA 3.15. Particularmente, para atividades de projeto preliminar e detalhado, tal associação ocorre com frequência. A utilização de hardware e software para desenho e análise de sistemas técnicos são exemplos típicos dessa associação. Nesses casos, o sistema computacional estende as capacidades do projetista para a representação gráfica de problemas e de soluções de projeto e através de suas funcionalidades, velocidade e capacidade do processamento numérico.

Considerando as características dos meios de projeto, na forma de sistemas de processamento de informações, conforme a FIGURA 3.15, as características de programas que vêm sendo desenvolvidos para as fases iniciais do processo de projeto e a análise da viabilidade computacional de metodologias de projeto, conforme o item 2.2.2, questiona-se: **como devem ser configurados os softwares de apoio ao projeto conceitual de produtos e quais os principais caminhos para realizá-los?**

3.3.1 - Principais diretrizes à implementação de auxílios computacionais ao projeto conceitual

Em linhas gerais, no projeto conceitual, os problemas iniciais se configuram na forma de necessidades de projeto e terminam com alternativas de concepções a serem avaliadas. Nesse contexto insere-se uma série de operações (mentais e mentais/motoras) sob as quais o projetista deve adquirir, processar e comunicar um grande número de informações. Essas operações são conduzidas e controladas pelo “software humano”, que é constituído de seu conhecimento. A partir do “software humano”, o projetista percebe e reconhece as situações de projeto, utiliza métodos e princípios de solução e registra os resultados obtidos, através de operações mentais e mentais/motoras. Sob esse escopo, o projetista faz uso, ainda, de vários recursos técnicos para melhorar seu desempenho.

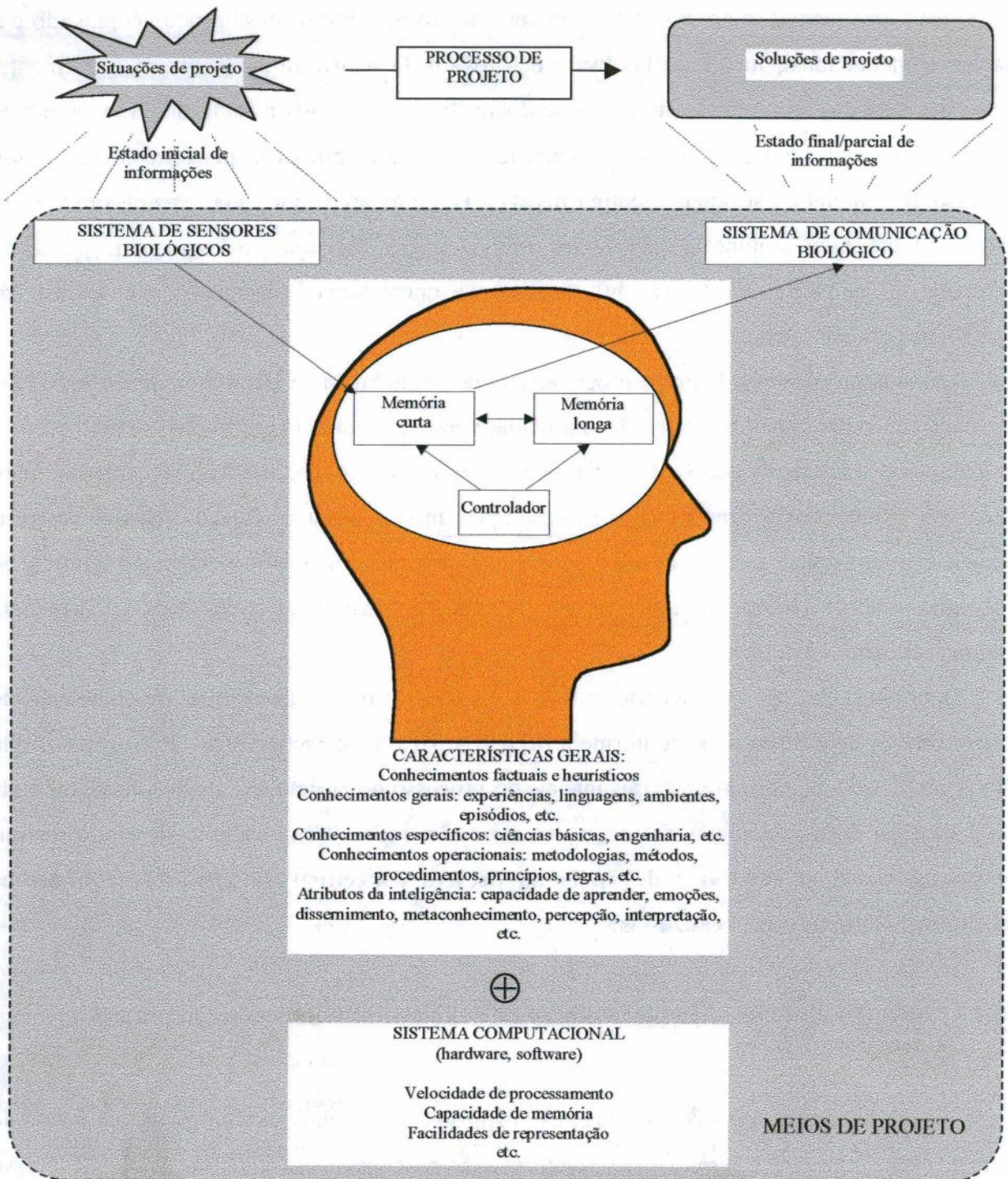


Figura 3.15 - Modelo genérico de sistema de projeto auxiliado por computador.

Dessa maneira, numa primeira abordagem, **o sistema computacional pode ser utilizado para simular os recursos técnicos empregados pelo projetista**, tais como lápis, papel, tabelas, gráficos, manuais, entre outros. Isso pode ser constituído na forma de ambientes ou interfaces de comunicação e de base de dados. A partir de tais ambientes, por exemplo, o projetista poderá

manipular (observar) um maior número de informações, melhorando as limitações de sua memória curta. É o caso, por exemplo, do rápido registro e recuperação de uma lista de necessidades de projeto sem se preocupar em memorizá-las. Noutra forma, a busca de dados de projeto em manuais, livros, catálogos, entre outros, pode ser melhorada através de base de dados daqueles documentos. Isso pode ser comprovado, por exemplo, pela utilização de softwares comerciais, tais como dicionários eletrônicos, entre outros.

Noutra abordagem, durante a solução de problemas de projeto, o projetista faz uso de seus conhecimentos operacionais ou, em outras palavras, de conhecimentos sobre métodos de projeto. Nesse caso, entretanto, não se pode garantir o uso regular e efetivo dos procedimentos de cada método de projeto durante a solução de problemas. Em dadas situações, por exemplo, o projetista poderá relegar determinado passo ou recomendação do método, podendo descartar importantes problemas e/ou soluções. Dessa maneira, **os ambientes ou interfaces de softwares devem simular, também, os procedimentos e os recursos empregados em cada método de projeto.** É o caso, por exemplo, da simulação gráfica de uma matriz e de mecanismos para o seu preenchimento quando se está utilizando o método QFD (*Quality Function Deployment*).

Quando o projetista resolve problemas de projeto, procura dividir os problemas complexos em problemas mais simples para melhor entendê-los e resolvê-los. Essa estratégia é oriunda de seus atributos de inteligência e constitui-se numa espécie de modularização do conhecimento empregado durante seu raciocínio. Por exemplo, quando o projetista está resolvendo o problema funcional de determinado produto, modulariza um “pacote de conhecimentos”, incluindo princípios, métodos, linguagem, fatos, heurísticas, entre outros, relacionados com aquele assunto. Essa modularização pode ser entendida como uma espécie de “indexação mental” dos vários conhecimentos necessários para resolver determinados problemas. Também pode ser associada à concentração do projetista durante seu raciocínio.

Dessa maneira, **os softwares de apoio ao projeto devem ser configurados para facilitar a modularização ou indexação do conhecimento do projetista sobre determinado assunto.** Isso implica, por exemplo, o desenvolvimento de softwares de forma modular, ou seja, cada programa, ou conjunto de funcionalidades do programa, deve tratar com um conjunto de procedimentos ou com métodos específicos de projeto. Essa orientação pode ser observada, também, nas características dos softwares que têm sido desenvolvidos para as fases iniciais do projeto.

As diretrizes discutidas até o presente são, pelo estado da técnica, viáveis para a implementação prática. Trata-se, em síntese, da construção de programas que emulam métodos

de projeto e base de dados sobre determinados domínios de aplicação. As categorias de softwares dessa natureza são denominadas, aqui, de programas de apoio ao projeto ou programas facilitadores do processo de projeto.

Numa perspectiva futura, entretanto, os programas de apoio ao projeto devem ser configurados com mecanismos de processamento de informações de alto desempenho. Isso decorre de que o projeto não se constitui apenas na busca e manipulação de informações, através de ambientes computacionais e de base de dados, mas de uma série de inferências que possibilitam, por exemplo, tomar decisões diante de situações conflitantes. Para tal, o projetista faz uso de diversas categorias de conhecimentos, fatuais e heurísticos, que lhe permitem traçar as melhores estratégias e caminhos para a solução de problemas.

Na forma de programas de computador, tais características são implementáveis, por exemplo, através dos chamados sistemas especialistas (WATTERMAN [38]). Constituem programas que procuram simular o comportamento humano diante de determinadas situações ou problemas. Tais programas já são prática corrente em determinadas áreas do conhecimento.

Os sistemas especialistas caracterizam-se pela configuração de um motor de inferência e de uma base de conhecimento. Através desses elementos, o programa “reconhece” determinadas entradas de dados (comparando atributos dos objetos, por exemplo) e infere sobre as situações existentes (através de um conjunto de regras, por exemplo), propondo, de forma explicada, alternativas de solução.

Para o projeto conceitual de produtos não se tem conhecimento sobre a existência de tais programas. Entre as justificativas, inclui-se a falta de conhecimento detalhado sobre os diversos mecanismos e conhecimentos empregados pelo projetista durante a geração de soluções de projeto. Entretanto, para atividades especializadas de projeto já existem vários sistemas propostos e desenvolvidos na forma de protótipos que auxiliam no projeto de produtos ou sistemas técnicos específicos de determinados domínios. Nesse escopo, cita-se o trabalho de DA SILVA [39], cujos resultados mostram um sistema especialista de apoio ao projeto de sistemas hidráulicos.

Os programas constituídos na forma de sistemas especialistas de apoio ao projeto são entendidos, pelas suas características, como programas de apoio à decisão. Para o projeto conceitual, tais programas deverão ser configurados através da evolução daqueles que implementam ambientes e base de dados de projeto, conforme discutido anteriormente. Isso consiste, por exemplo, na implementação de bases de conhecimento relacionadas às várias categorias de informações de projeto implementadas em base de dados. De particular

importância nesse processo é a implementação de princípios de projeto, na forma de regras. Em síntese, **o desenvolvimento de sistemas especialistas para o projeto conceitual de produtos deve ser uma evolução dos programas, denominados anteriormente de facilitadores do processo de projeto.**

Os tipos de programas discutidos até o presente, como auxílio ao projeto de produtos, não consideram, pelas suas características, atributos de sistemas inteligentes. Os facilitadores do processo, por exemplo, melhoram o desempenho durante a manipulação das informações de projeto, principalmente aquelas de natureza mental/motora. Já os sistemas especialistas facilitam o processo de tomada de decisão, em domínios especializados de projeto, pela inferência sobre alternativas de solução predefinidas. Entretanto, nenhum deles, considerando o estado da técnica e o entendimento sobre a natureza humana, implementam atributos de sistemas inteligentes, tais como capacidade de aprender, discernir situações, entre outros. Para tal, entende-se que é necessário, de maneira geral, encontrar meios para aprender sobre os vários mecanismos humanos de processamento de informações e sobre os seus conhecimentos e meios de implementá-los através de uma, aqui denominada, “base de inteligência”. Dessa maneira, configurar-se-iam softwares de projeto que são uma evolução dos sistemas especialistas, sendo capazes de reconhecer determinadas situações de projeto, conduzindo sua solução, propondo alternativas, escolhendo soluções mais promissoras, sem a intervenção mental humana. Trata-se em essência do desenvolvimento, do que se denomina na área de inteligência artificial de máquinas inteligentes.

Considerando a discussão do presente item e os demais assuntos deste capítulo, sintetizam-se, a seguir, as principais diretrizes para o processo de implementação de auxílios computacionais ao projeto conceitual, as quais formarão uma base conceitual para os demais desenvolvimentos da presente tese. Tais diretrizes são:

- a implementação de auxílios computacionais ao projeto conceitual de produtos deve se iniciar pela caracterização das informações de projeto e dos meios de projeto, sob o escopo de dado domínio de aplicação;
- as informações de projeto são oriundas do ambiente de desenvolvimento do produto e das estruturas de conhecimento do projetista;
- os meios de projeto são oriundos do sistema metodologia de projeto adotado ou desenvolvido;
- os programas de auxílio ao projeto conceitual devem ser constituídos, inicialmente, na forma de ambientes e de base de dados que emulam os meios de projeto;
- a evolução de programas de auxílio ao projeto conceitual de produtos deve-se dar na forma de sistemas especialistas, constituídos através de bases de conhecimento sobre determinado domínio de projeto.

3.4 - Considerações finais

O presente capítulo apresentou, na sua parte inicial, uma discussão sobre os principais conceitos e estrutura de metodologia de projeto, visando ao estabelecimento dos principais elementos metodológicos e de um modelo de apoio ao processo de implementação de auxílios computacionais ao projeto conceitual. Desse modelo, estabeleceu-se que o caminho para a informatização do projeto deve-se dar a partir dos meios de projeto.

Ao final, discutiu-se sobre alguns mecanismos de processamento de informações de projeto como forma de detalhar os chamados meios de projeto. Estabeleceram-se, a partir daí, as principais diretrizes para a implementação de programas de auxílio ao projeto conceitual de produtos.

Pelos estudos do presente capítulo, conclui-se que o principal caminho para a informatização do projeto e, como consequência, a implementação computacional de determinada metodologia deve se dar de forma evolutiva, orientada pelas características dos elementos metodológicos e iniciar-se através de ambientes computacionais e de base de dados de projeto relacionados a determinados métodos de projeto.

A sistemática e as diretrizes do presente capítulo serão aplicadas ao domínio de produtos de plástico injetados, visando ao desenvolvimento e implementação de programas de apoio ao projeto conceitual de produtos naquele domínio. Para tal, no capítulo que se segue, faz-se um breve estudo do estado da arte de projeto de produtos de plástico injetados para colher subsídios conceituais á implementação desses programas.

CAPÍTULO 4 - PROJETO DE PRODUTOS DE PLÁSTICO INJETADOS: ESTADO DA ARTE

4.1 - Introdução

Resumindo, aqui, alguns resultados dos estudos anteriores, verificou-se, inicialmente, no CAPÍTULO 2, que as metodologias clássicas de projeto não estão devidamente preparadas para a implementação de ferramentas computacionais de apoio às fases iniciais do projeto. Sob tal constatação propôs-se, no CAPÍTULO 3, uma sistemática para informatizar o projeto conceitual de produtos e as principais diretrizes para esse fim. Nessa sistemática foram estabelecidos e relacionados genericamente três elementos principais: as informações, os processos e os meios de projeto. Sob tais elementos estabeleceu-se que o processo de informatização do projeto conceitual de produtos deve-se dar através dos meios de projeto, incluindo-se aí os métodos de projeto adotados ou desenvolvidos para cada atividade de projeto. Deve iniciar, dessa maneira, na forma de ambientes computacionais que emulem os procedimentos de cada método e na forma de base de dados para suportar as informações tratadas sob o método considerado. Na seqüência, a informatização deve ser conduzida na forma de sistemas especialistas.

Sob esse escopo, o presente capítulo constitui-se numa avaliação geral do domínio de produtos de plástico injetados, visando obter subsídios conceituais para a sistematização do projeto conceitual de produtos neste domínio. Inicia-se com uma análise das principais abordagens que vêm sendo desenvolvidas para o projeto de produtos de plástico injetados, incluindo aquelas voltadas à engenharia simultânea, de sistemas especialistas e funcionais. Numa síntese de tais abordagens, entre outras coisas, verificar-se-á que o projeto conceitual de produtos de plástico injetados não é praticado com freqüência e que os elementos metodológicos para essa fase do projeto não se encontram devidamente sistematizados. Grande parte das abordagens são voltadas, em geral, para a avaliação (ou reprojeção) da geometria do componente de plástico, sob as restrições da manufatura. Poucas delas tratam, por exemplo, sobre as funções e princípios de solução de produtos de plástico injetados, o que facilitaria a busca de soluções alternativas para o problema de projeto.

4.2 - Generalidades

As atividades econômicas em torno dos materiais plásticos são amplas e variadas. Elas respondem pela produção e comercialização de uma vasta quantidade de produtos, desde

matérias-primas, semi-acabados, componentes, até artefatos em geral. Esses produtos atendem diretamente a diversas necessidades humanas e, indiretamente, a outros setores do mercado, geralmente na forma de componentes ou partes de produtos finais.

As "dimensões" do setor de plástico podem ser comprovadas, qualitativamente, com uma breve análise das empresas, associações e instituições que se constituem em torno do mercado de plásticos. Várias listas de tais organizações podem ser facilmente acessadas em páginas da Internet ([40], [41], [42], [43]), onde são apresentados os produtos, serviços, tecnologias, entre outros assuntos relacionados aos plásticos.

Nesse contexto, estão inseridas as tecnologias para a produção dos materiais plásticos e para a transformação destes em produtos acabados. A FIGURA 4.1 mostra, conceitualmente, os principais processos conduzidos, desde a matéria-prima até o uso dos produtos finais.

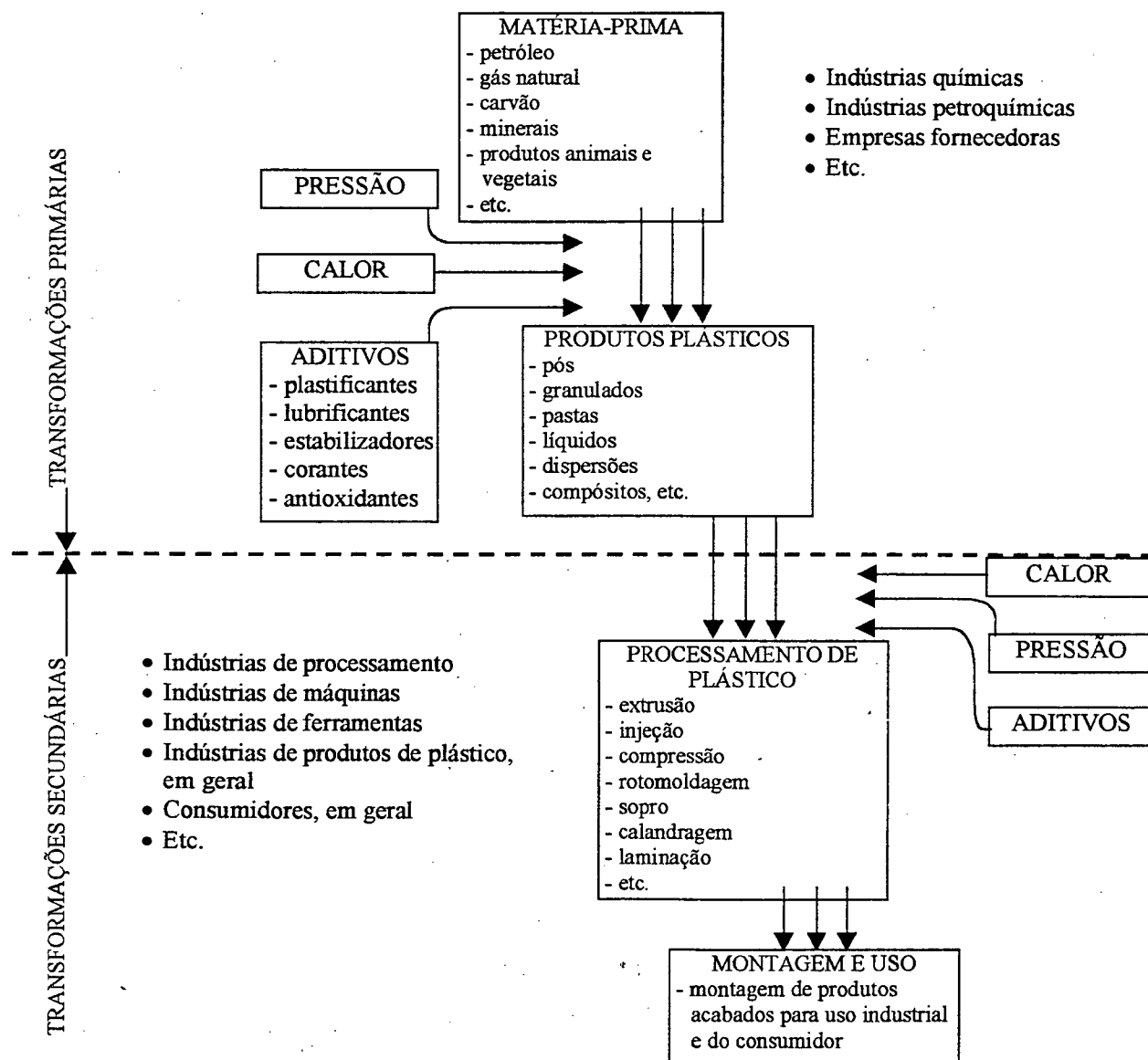


Figura 4.1 - Processos de produção relacionados aos materiais plásticos (Adaptado de [43]).

De acordo com a FIGURA 4.1, nota-se que se constituem duas categorias principais de transformações: primárias e secundárias. Nas transformações primárias insere-se o complexo de indústrias químicas, petroquímicas e fornecedores de material, entre outras. Os produtos principais, nesse caso, são as matérias-primas, tais como resinas, lâminas, perfis, etc. Já nas transformações secundárias, as quais se destinam à produção de produtos finais (ou intermediários), encontra-se a grande maioria do mercado e das atividades do setor de plásticos. Incluem-se, aí, por exemplo, as indústrias de processamento, de máquinas e ferramentas, em geral. Os consumidores dos componentes e de artefatos resultantes, nesse caso, são as indústrias de produtos e o público em geral.

O desenvolvimento desse setor, particularmente da indústria de moldagem por injeção, não é recente. Ele vem desde o final de 1800, quando surgiram as primeiras descobertas sobre materiais plásticos. O primeiro material plástico, por exemplo, foi exibido ao mundo em 1862 pelo Britânico *Alexander Parker* [43]. Denominado de PARKESINE, esse material teve aplicações na fabricação de ornamentos, cabos de facas, colares, entre outros objetos. Seu sucesso comercial deu-se na fabricação de bolas de bilhar, substituindo o marfim, proposta em 1869 pelo americano *John Wesley Hyatt* [44]. Surgiram nessa época, também, as primeiras máquinas de injeção.

A primeira máquina de injeção, de *Hyatt*, patenteada em novembro de 1872, consistia de um cilindro aquecido a vapor, um pistão operado hidráulicamente e um bico de descarga (injeção). O molde era mantido fechado durante a injeção por uma prensa hidráulica vertical, posicionada próximo ao cilindro de injeção [44].

Desde então, vários outros acontecimentos marcaram época na evolução da indústria de moldagem por injeção e dos materiais plásticos ([43], [44]). Atualmente, esse setor é responsável por grande parte dos produtos utilizados ou consumidos. Desde brinquedos, até aparelhos eletrodomésticos, equipamentos médicos, embalagens de remédios e alimentos, vestuários, entre tantos outros, os produtos derivados dos plásticos têm relevante importância na maneira como as atividades da vida humana são conduzidas. Essa importância reside num conjunto de características peculiares aos materiais plásticos. Entre elas cita-se: a versatilidade, a leveza, a segurança e a durabilidade [44].

Os plásticos podem ser conformados numa grande variedade de formas complexas, promovendo soluções de projeto para milhares de aplicações. Eles podem ser rígidos, flexíveis, sólidos, fibrosos, etc. Adicionalmente, os plásticos são leves, proporcionam menor consumo de matéria-prima, menor energia na produção, facilidade de manipulação, entre outros. Os plásticos

são, em geral, higiênicos, seguros e duráveis, promovendo importantes aplicações para a indústria de alimentos, de bebidas, da saúde e do transporte.

No futuro, espera-se uma contribuição ainda maior dos plásticos. O desenvolvimento de plásticos avançados possibilitará maiores aplicações nas áreas de transporte, facilitando a fabricação e montagem de veículos e reduzindo o consumo de energia e emissão de poluentes. A indústria da informação e da saúde tem, nos materiais plásticos, a possibilidade de constantes inovações em seus produtos. Acredita-se que os plásticos serão os materiais do século XXI [44].

Os materiais plásticos são divididos em duas categorias principais: os termoplásticos e os termoestáveis. Os termoplásticos, conforme BLASS [45], caracterizam-se por não sofrerem alterações em sua estrutura química com o aquecimento e moldagem. Um objeto feito de resina termoplástica pode ser remoldado em outro. Os materiais termoestáveis, por sua vez, ao serem aquecidos, apresentam transformações químicas que impedem sua reutilização.

Sob essas categorias existe uma variedade bastante grande de alternativas de materiais plásticos sendo oferecidas no mercado e, também, uma variedade de critérios sob os quais a seleção é realizada. Alguns fabricantes, por exemplo ([46, [47]), oferecem banco de dados de seus materiais, com várias informações e recursos para facilitar esse processo.

Considerando as transformações secundárias dos materiais plásticos, conforme a FIGURA 4.1, existem hoje vários processos que podem ser empregados para a produção de componentes ou artefatos de plástico. Em geral, aqueles mais empregados na indústria são: moldagem por compressão, extrusão, por sopro e moldagem por injeção. Os produtos moldados por injeção de plástico são aqueles sob enfoque na presente tese.

A moldagem por injeção, responsável pela fabricação de grande parte dos artefatos e componentes produzidos na indústria, constitui-se de várias fases, desde o fechamento do molde até a ejeção do componente. Essas fases têm propósitos específicos no processo de produção do componente e, no conjunto, representam boa parte de sua qualidade. A fase de recalque (*holding pressure*), por exemplo, destina-se a forçar o material plástico na cavidade para compensar as contrações térmicas, influenciando em características como peso e precisão dimensional do componente, entre outras.

Além dos materiais e processos, o sucesso de produtos de plástico depende de seu projeto. Desde a definição do problema até o detalhamento do produto, devem ser considerados e negociados diversos interesses, os quais dependem das características do ambiente de desenvolvimento do produto, incluindo-se, aí, por exemplo, os clientes do projeto e os recursos disponíveis para o projeto. A análise de tais ambientes constitui-se num importante propósito

para estabelecer os subsídios conceituais, para propor e desenvolver ferramentas de apoio ao projeto conceitual de produtos moldados por injeção. Particularmente, é necessário analisar, também, o estado da arte sobre o processo de desenvolvimento de produtos de plástico injetados e os meios que vêm sendo empregados e desenvolvidos para este fim. Procura-se determinar, dessa maneira, os principais requisitos para o projeto conceitual de produtos de plástico injetados e os subsídios necessários para este fim.

4.3 - Desenvolvimento de produtos de plástico injetados: estado da arte

Grande parte das propostas para o desenvolvimento de produtos de plástico injetados menciona um conjunto de fatores cujas influências são significativas para o sucesso, ou não, do produto. Tais fatores tratam dos custos do componente de plástico, de sua qualidade e do tempo para seu desenvolvimento [48]. Baixo custo e elevada qualidade são desejáveis para a maioria dos produtos projetados. Entretanto, o tempo de desenvolvimento ou de entrega do componente de plástico é crucial para algumas indústrias.

Na indústria eletrônica¹ [49], por exemplo, o *lead time* pode significar o fracasso comercial de determinado produto. Um estudo solicitado pela HP (Hewlett Packard) [50] revelou que seis meses de atraso no lançamento de um novo produto pode reduzir seu lucro, durante o ciclo de vida,² em torno de um terço. Considerando que determinados produtos, tais como computadores, brinquedos, entre outros, podem ter ciclos de vida bastante curtos (de 24 meses na década de 80 para 6 meses nos tempos atuais), o atraso mencionado anteriormente torna-se ainda mais crítico.

Além dos fatores citados, o desenvolvimento de produtos de plástico é sensível à multidisciplinaridade e integração do conhecimento. Ele envolve a consideração de vários processos, tais como o projeto funcional, geométrico, da forma, a seleção de materiais, o projeto e construção do molde, o processamento da matéria-prima, entre outros. Isto implica o envolvimento de vários especialistas, ou de suas experiências, e de vários problemas técnicos a serem resolvidos, promovendo, por exemplo, problemas de comunicação e de gerenciamento da estrutura de desenvolvimento (veja ZUKIN et al. [51]).

Nesse contexto, o desenvolvimento de produtos é tratado sob diferentes abordagens, as quais podem ser categorizadas nos seguintes grupos principais: de engenharia simultânea, de

¹ Tradução para o termo "Teletronics", proposto recentemente para designar o segmento industrial de produtos como televisões, aparelhos de videocassete, computadores, impressoras, faxes, fotocopiadoras, telefones, entre outros [49].

² Trata-se das relações entre o lucro do produto e seu estado no mercado.

sistemas especialistas e funcionais.

Nas abordagens de engenharia simultânea, o desenvolvimento do produto é, em geral, baseado em *design teams* ou grupos de projeto, constituídos desde as fases iniciais do desenvolvimento. Nas abordagens de sistemas especialistas, as propostas procuram capturar o conhecimento de cada especialista, estabelecendo-os na forma de bases de conhecimento, em software de apoio ao projeto. Já nas abordagens funcionais destacam-se alguns métodos para sistematizar o conhecimento de projeto, sob o enfoque das funções do produto e do processo de injeção. Diferentes propostas, em cada uma dessas categorias, serão apresentadas e analisadas nos itens que se seguem. Ao final, estabelece-se uma síntese do estado atual sobre o processo de desenvolvimento e de meios de apoio ao projeto de produtos de plástico injetados.

4.3.1 - Desenvolvimento de produtos de plástico sob o enfoque da engenharia simultânea

De acordo com SMITH [52], 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. Sob essa filosofia, os princípios básicos considerados são:

- as restrições do projeto funcional e da manufatura devem ser tratadas simultaneamente;
- a combinação de pessoas com diferentes experiências, num mesmo grupo, é um modo adequado para considerar diferentes bases de conhecimento;
- os engenheiros projetistas devem manter em mente as preferências dos consumidores durante o processo de projeto; e
- deve-se manter em mente que o tempo para o mercado é um fator determinante para o sucesso do produto.

Sob esses princípios, várias abordagens de engenharia simultânea têm sido propostas na literatura para o desenvolvimento de produtos de plástico injetados. MALLOY [53], por exemplo, conforme a FIGURA 4.2, representa qualitativamente o envolvimento dos principais grupos de interesse durante o desenvolvimento do produto numa abordagem de engenharia simultânea. Nota-se que o envolvimento entre os grupos de interesse no desenvolvimento do produto estende-se até a fabricação do componente.

Na prática, esse envolvimento pode se dar de várias maneiras e, em geral, ele não é tão efetivo, conforme se apresenta na FIGURA 4.2. A maior parte ocorre quando estão sendo tomadas as principais decisões sobre o planejamento das tarefas e sobre o conceito do produto. Entretanto, o autor evidencia a necessidade da efetiva comunicação entre os diferentes grupos de

trabalho de forma que, a cada decisão, desde o projeto até a produção, haja a participação efetiva, de especialistas de cada área de responsabilidade. Essa participação pressupõe a disponibilização das informações relevantes sob os diferentes pontos de vista de cada especialista.

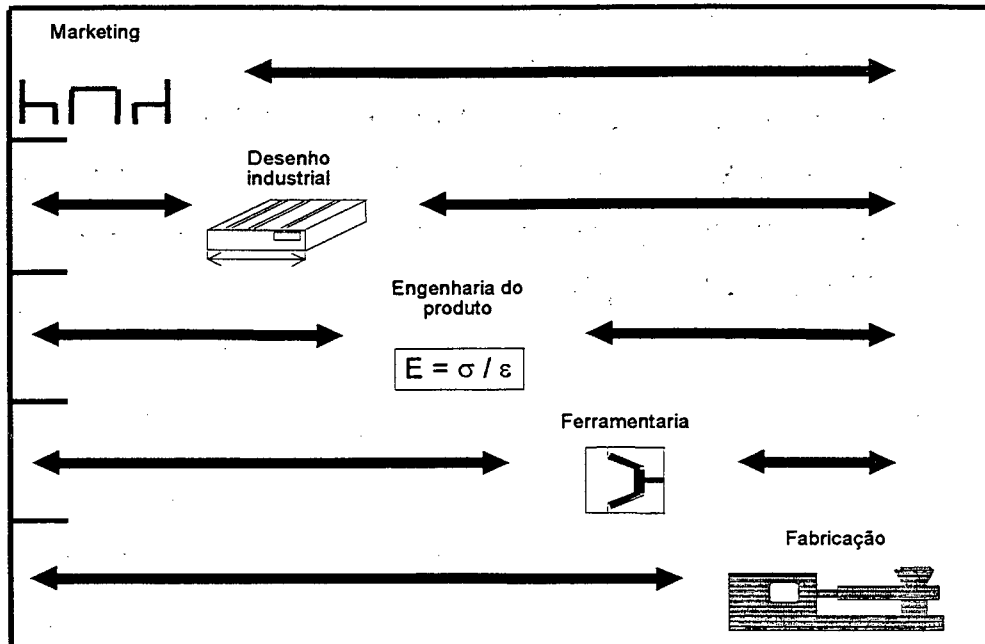


Figura 4.2 - Abordagem de engenharia simultânea para o processo de desenvolvimento de componentes de plástico injetados [53].

Assim, por exemplo, as informações sobre a localização e os tipos de extratores podem ser muito importantes para a engenharia do produto (resistência do componente nas regiões de extração) e desenho industrial (estética do produto nas regiões de extração). Adicionalmente, pelo trabalho simultâneo, o planejamento de etapas posteriores (ferramentaria e produção) pode ser iniciado com as decisões que já tenham sido acordadas durante as fases do projeto. Por exemplo, a aquisição do material e de componentes para o molde já pode ser planejada, desde que as formas principais para o produto tenham sido confirmadas.

A maneira como se administra o processo de desenvolvimento do produto, seja no envolvimento de cada grupo de trabalho, seja no planejamento de suas atividades, faz parte da prática da aplicação de princípios da engenharia simultânea. Entretanto, além da filosofia adotada, existe um conjunto de etapas de projeto que deve ser conduzido para tornar o produto concreto. Segundo MALLOY [53], essas etapas são: 1 - definição dos requisitos do usuário final; 2 - criação de um esquema preliminar do produto (concepção do componente); 3 - seleção inicial de materiais; 4 - projeto do componente de acordo com as propriedades do material; 5 - seleção final de materiais; 6 - modificação do projeto para a fabricação; 7 - prototipagem; 8 - desenvolvimento da ferramenta; e 9 - produção.

Sob essas etapas, em síntese, o conceito do produto é estabelecido, num primeiro momento, para satisfazer os requisitos do usuário, os quais tratam, em geral, da funcionalidade, estética, custos e prazos de entrega do produto. Num segundo momento, essa concepção é tratada, ou modificada, para atender aos requisitos relacionados à manufatura, incluindo materiais, ferramentas e processos.

Tratando em maiores detalhes sobre a condução das atividades de desenvolvimento de produtos de plástico injetados e considerando princípios da engenharia simultânea, DEFOSSE et al. [54] apresentam, conforme a FIGURA 4.3, as relações qualitativas do paralelismo, ou sobreposições, das atividades, desde a concepção até a produção final do produto.

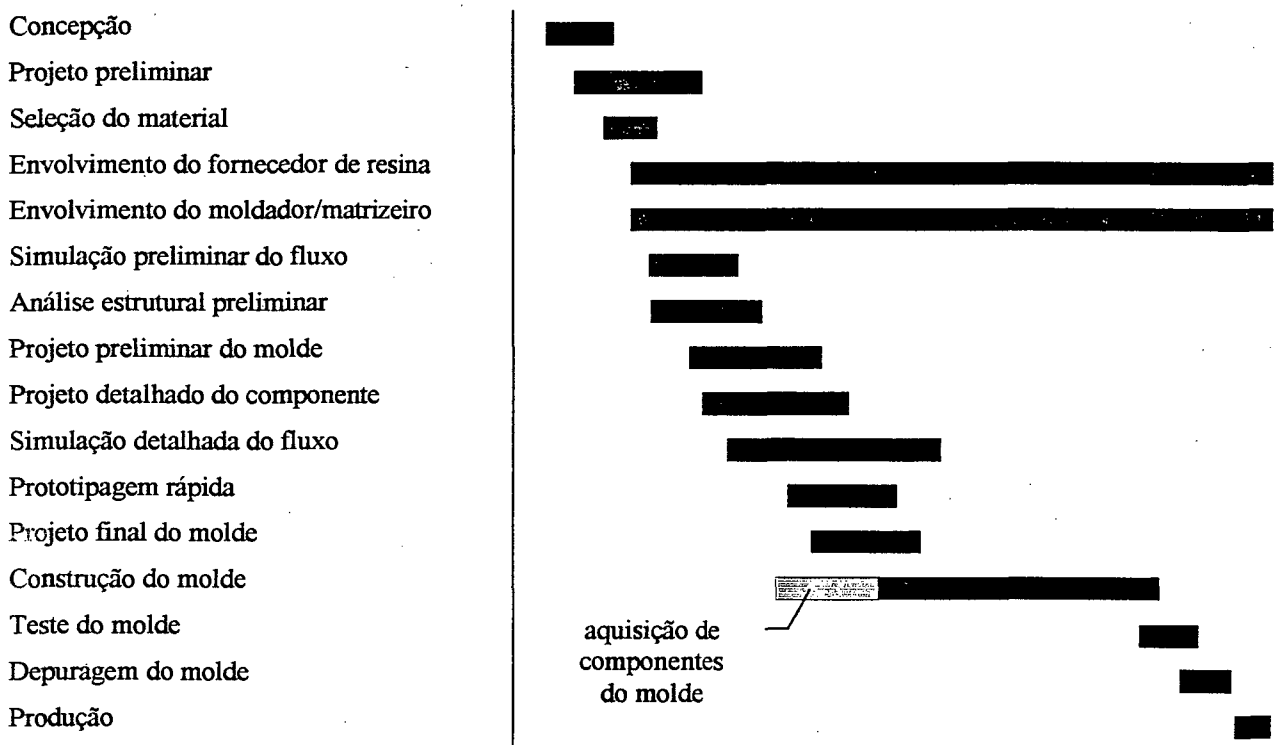


Figura 4.3 - Típicas atividades, e suas sobreposições, no desenvolvimento de produtos de plástico [54].

O modelo da FIGURA 4.3, se estabelecido numa base temporal, pode ser bastante útil para o planejamento e controle do desenvolvimento do produto. Apesar disso, ele não representa muito bem o que acontece durante a realização de cada atividade, nem a forma como as interações são conduzidas. Por exemplo, durante a concepção do produto, inicia-se, também, o projeto preliminar do produto, mas não se tem idéia de como esse processo ocorre e quais são os fluxos nessas sobreposições (troca de informações?, reuniões?, aprovações?, etc.).

Recentemente, têm surgido várias propostas para o desenvolvimento de ambientes computacionais como meios para implementar a filosofia de engenharia simultânea. A idéia

básica, nesses casos, é promover a efetiva comunicação e o compartilhamento de informações entre os participantes do processo de desenvolvimento do produto. Nessa direção, ZUKIN et al. [51], por exemplo, declaram que a comunicação digital, integrando o *Design*, a Engenharia e a Manufatura, pode representar uma grande melhoria no processo de desenvolvimento de produtos, reduzindo atrasos oriundos da troca de informações durante o desenvolvimento. Para demonstrar essa idéia, os autores apresentam um estudo sobre como a comunicação digital pode superar as barreiras temporais e geográficas no intercâmbio de informações, criando um ambiente colaborativo e cooperativo, utilizando a Internet.

Embora a comunicação digital tenha sido destacada pelos autores [51], as reuniões face a face e a análise conjunta de modelos de engenharia permanecem como importantes meios para a tomada de decisões durante o projeto. Em outras palavras, a comunicação digital não deve ser vista como meio substituto no processo de desenvolvimento do produto, mas como meio facilitador.

Além de ambientes para a comunicação digital, outras propostas tratam de ambientes para integrar e compartilhar o conhecimento de especialistas durante o desenvolvimento de produtos de plástico injetados. Neste sentido, PERERA [55] propõe uma estrutura, conforme a FIGURA 4.4, que suporta o projeto conceitual do produto, utilizando módulos de conhecimento, os quais capturam os conhecimentos de especialistas relacionados a cada fase do ciclo de vida do produto.

Nesse caso, a prática da engenharia simultânea se dará, por exemplo, durante um determinado processo de decisão, quando o projetista conta com as recomendações especializadas, através de regras, de cada especialidade envolvida no processo de desenvolvimento do produto. A definição de tais especialistas e de seus conhecimentos é estabelecida, conforme a FIGURA 4.5, ou seja, com base no fluxo de informações e do ciclo de vida do produto.

De acordo com a FIGURA 4.5, as principais fases do ciclo de vida do produto são: a identificação dos requisitos, o projeto, a manufatura, o serviço e a retirada do produto. A fase de identificação dos requisitos consiste na análise do mercado, seguida pela fase de definição funcional. Nesta última, os resultados da análise de mercado (necessidades e desejos) são traduzidos em requisitos de projeto de engenharia.

Na definição funcional são considerados dois tipos de requisitos: positivos e negativos. Os positivos (funcionais e estéticos) definem as metas e os alvos a serem atingidos; os negativos, como a integridade (estrutural), definem as restrições-limite dos parâmetros de projeto.



Figura 4.4 - Ambiente computacional para o projeto conceitual do produto sob o enfoque da engenharia simultânea [55].

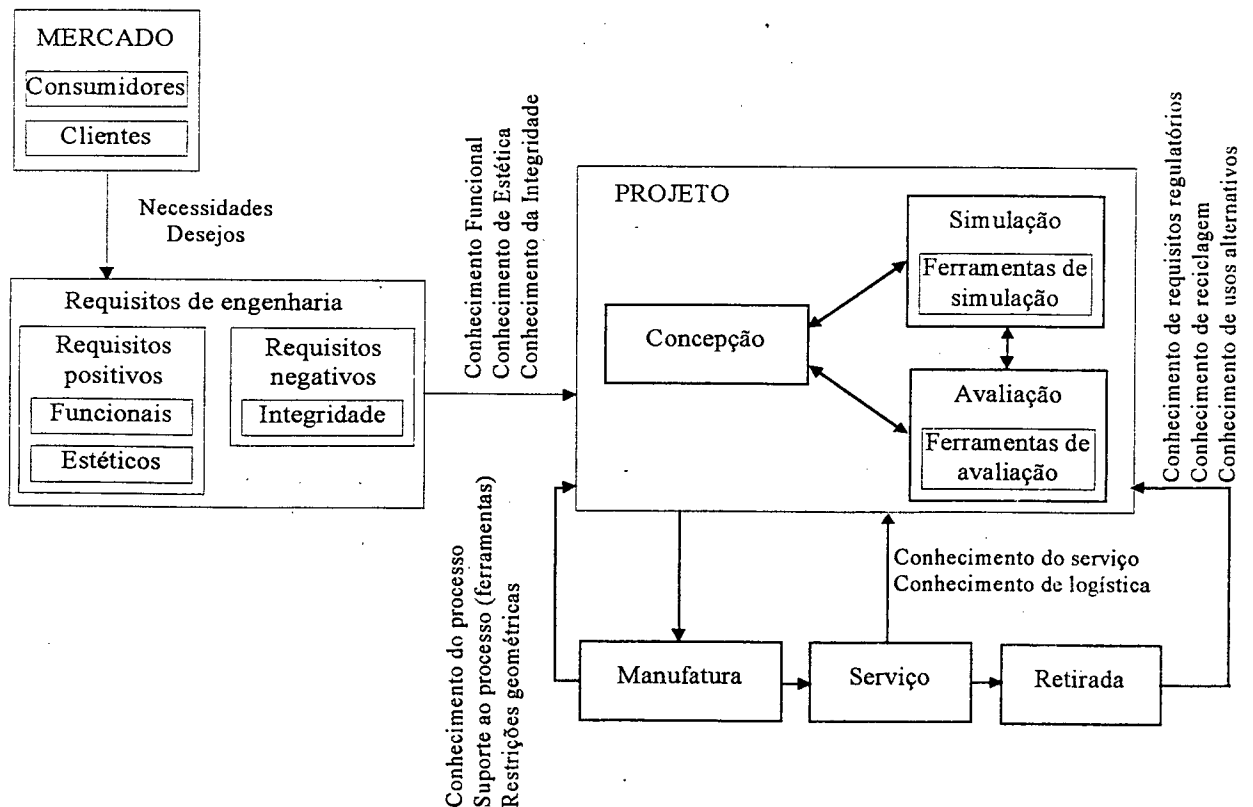


Figura 4.5 - Fluxo de informação e ciclo de vida do produto [55].

A próxima fase do ciclo de vida, o projeto, inicia-se com a concepção do produto, seguindo com atividades de simulação e avaliação. Nesse caso, em conjunto com os conhecimentos das especificações de engenharia, há, também, a realimentação dos conhecimentos da manufatura, serviço e retirada do produto. A origem desses conhecimentos pode vir do mesmo produto, no caso de reprojeção, ou de produtos similares, no caso do projeto de um novo produto.

A experiência da manufatura promove as restrições e o conhecimento do processo, ferramentas e geometria. Da fase do serviço vêm as informações relacionadas à durabilidade do produto, aos efeitos ambientais e à flexibilidade necessária com relação ao mau uso do produto. Finalmente, as considerações sobre a retirada do produto, após sua vida útil, são tratadas pelos conhecimentos de regulamentação, reciclagem e usos alternativos para o produto.

Em síntese, a abordagem de PERERA [55] considera as fases do ciclo de vida do produto, desde o mercado até sua retirada, como critérios para o estabelecimento de categorias de conhecimentos necessários ao desenvolvimento de produtos de plástico, os quais deverão ser compartilhados durante tal processo.

Outra proposta, segundo ISHII et al. [56], na forma de sistema computacional, considera como prática da engenharia simultânea a análise da compatibilidade entre os requisitos do usuário, as restrições do processo e os projetos candidatos ou soluções alternativas. O modelo proposto pelos autores é mostrado na FIGURA 4.6.

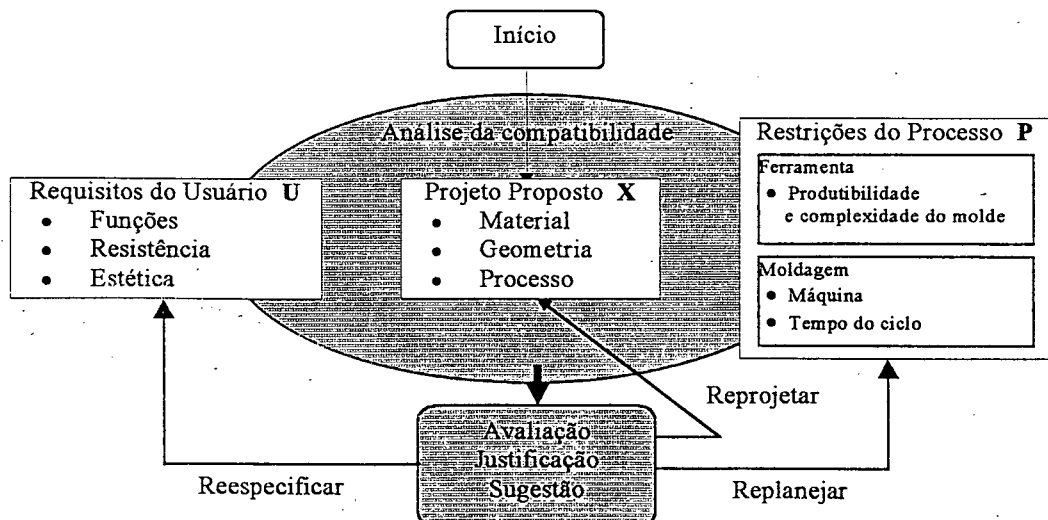


Figura 4.6 - Modelo para o CDFIM (Compatibility-based design for injection molding) [56].

Sob o modelo da FIGURA 4.6, a análise da compatibilidade consiste na avaliação simultânea de um projeto candidato sob vários pontos de vista. O modelo representa uma espécie de “mesa redonda” onde o projetista, engenheiros de ferramentas e engenheiros do processo

discutem sobre um dado projeto e sugerem melhoramentos.

Na forma computacional, esse modelo é implementado através de algoritmos que calculam índices de compatibilidade, os quais estabelecem se o projeto é, ou não, adequado. A base de conhecimento armazena bons e maus exemplos de projeto, na forma de regras denominadas de “c-data”, as quais se configuram conforme o exemplo da FIGURA 4.7.

c-data (ID	= fbase4
elements	= plate
descriptor	= verybad
reason	= [the stress on the plate exceed the yield limit of the plate OR the deflection exceeds the limit] [1. use thicker plate 2. use stronger material 3. add ribs 4. reduce load]
conditions	= U: center loading; load = Lo; max. deflection = MDef P: none D: plate length = Ld; plate breadth = B; material = Mat attribute (yield limit, Mat, Msig) attribute (stress, plate, load = Lo, S) attribute (deflection, plate, Def) Def > MDef OR Sig > Msig)

Figura 4.7 - Exemplo de uma regra de projeto para análise da compatibilidade [56].

Dado um projeto particular, o sistema compara cada elemento do projeto proposto (entidades geométricas e seus atributos) com as regras da base de conhecimento. Se as condições das regras forem satisfeitas considerando os atributos dos elementos, o sistema computa o valor associado ao descritor da regra acionada (por exemplo, *verybad* = 0,0). Ao final, após a avaliação de cada elemento, sob o conjunto de regras, o sistema calcula um índice global da compatibilidade da solução proposta, indicando se o projeto é bom ou ruim, e quais deverão ser as modificações. Trata-se, em síntese, de um sistema computacional que aplica princípios da engenharia simultânea através de bases de conhecimento associadas aos especialistas do processo de projeto de produtos de plástico injetados.

Centrados na manufaturabilidade do produto, AL-ASHAAB & YOUNG [57] propõem um modelo de informações da manufatura como suporte ao projeto de produtos de plástico injetados. Nesse caso, a prática da engenharia simultânea se dá com o emprego das informações relacionadas à moldabilidade de *features*,³ aos elementos do molde e aos elementos da máquina de injeção para avaliar as soluções propostas. Essas informações, associadas ao modelo do

³ *Features*: entidades geométricas de dado componente, ou peça, que, além de atributos geométricos, incluem atributos funcionais, estruturais, de forma, de material, e aqueles relacionados às fases do ciclo de vida do produto, tais como fabricação, montagem, manutenção, etc.

produto, suportam, conforme a FIGURA 4.8, os aplicativos de projeto para a moldagem por injeção.

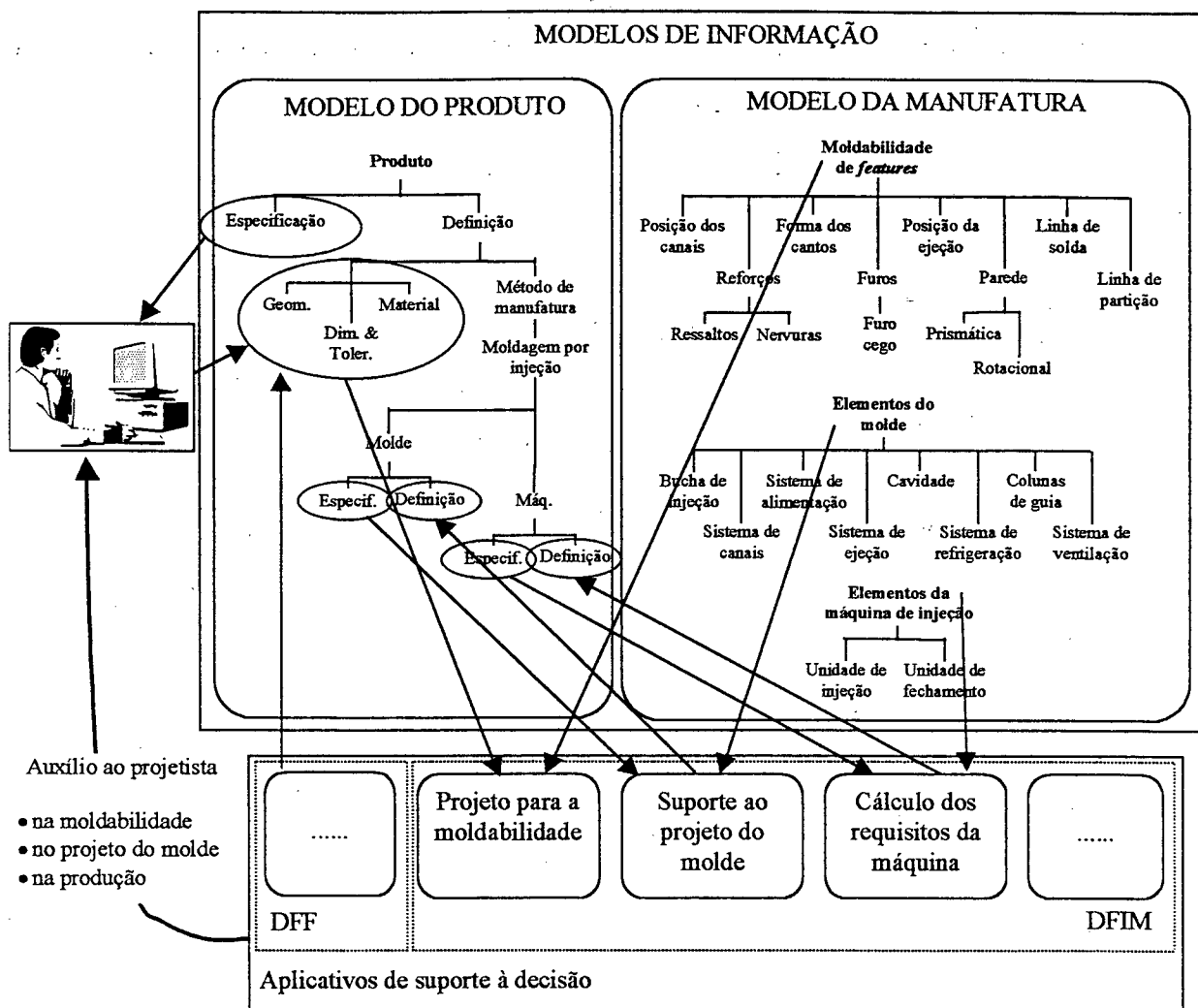


Figura 4.8 - Modelos de informação e aplicativos de suporte à decisão no projeto para moldagem por injeção [57].

Na FIGURA 4.8, são mostradas as interações que ocorrem num ambiente para o projeto de moldagem por injeção, incluindo o modelo do produto, o modelo da manufatura e os aplicativos de suporte à decisão (DFF – *Design for Function* e DFIM – *Design for Injection Molding*). Sob tal ambiente, inicialmente, o projetista usa as especificações do produto, em conjunto com o aplicativo de DFF, para gerar uma definição do produto. Nessa definição, além da geometria, dimensões, tolerâncias e material, inclui-se o método de manufatura, definindo características da ferramenta e da máquina de injeção. Enquanto esses dados estão progredindo, os aplicativos de DFIM produzem *feedback* ao projetista com relação à moldabilidade da peça, às implicações no projeto do molde e às implicações sobre a máquina de processamento. Isso é

feito extraindo as informações do modelo da manufatura, relativas à moldabilidade de *features*, dos elementos do molde e dos elementos da máquina de injeção.

Outras abordagens para o desenvolvimento de produtos de plástico injetados, sob o enfoque da engenharia simultânea, ainda poderiam ser descritas. Entretanto, as propostas anteriores são suficientes para apresentar as seguintes observações:

- a implementação da engenharia simultânea para o desenvolvimento de produtos de plástico injetados tem sido estabelecida sob os seguintes enfoques principais:
 - baseada em equipes de projeto,
 - baseada na consideração de informações do ciclo de vida do produto,
 - baseada em sistemas especialistas, e
 - baseada na avaliação da manufaturabilidade do produto;
- na maioria das propostas estudadas, não fica claro o que é o projeto conceitual de produtos de plástico injetados e como ele é conduzido;
- poucas propostas tratam do projeto funcional do produto e, mesmo assim, muito superficialmente. Em geral, o projeto é tratado sob considerações de geometria e moldabilidade do componente; e
- várias propostas destacam a participação de especialistas no processo de desenvolvimento de produtos de plástico injetados, o que nem sempre é uma prática possível para grande parte das empresas.

4.3.2 - Desenvolvimento de produtos de plástico sob o enfoque de sistemas especialistas

Algumas propostas de sistemas especialistas dedicadas ao projeto de produtos de plástico injetados foram apresentadas no item anterior como suporte ao desenvolvimento de ambientes para a prática da engenharia simultânea. Neste item, esse assunto será tratado em maiores detalhes, destacando alguns dos principais modelos que vêm sendo propostos, desenvolvidos e implementados, sob o enfoque de sistemas especialistas.

Segundo PEARCE [58], a aplicação de sistemas especialistas é adequada para a indústria de plástico, pois existe uma grande quantidade de experiências estabelecidas na própria empresa e muito conhecimento empírico sendo aplicado na solução de problemas de projeto. As áreas destacadas pelo autor para a aplicação de sistemas especialistas são:

- **Assistente de Projeto:** o sistema especialista permitirá aos projetistas menos experientes empregarem regras da prática estabelecidas para o projeto da peça ou do molde levando em consideração, automaticamente, aspectos como taxa de contração, raios de arredondamento, ângulos de saída, espessura da parede, etc.;
- **Simulação do Fluxo:** enquanto os programas de modelagem são analíticos e algorítmicos, eles ainda necessitam de uma pessoa experiente para dar sentido aos resultados. Nesse caso, os sistemas especialistas poderão ajudar na análise dos resultados de saída dos programas de simulação, identificando áreas de problemas e sugerindo ações corretivas;
- **Melhoramento do CEP (Controle Estatístico do Processo):** as técnicas de CEP podem identificar processos que estão fora de controle, mas elas não sugerem alternativas para corrigi-los. Nesse caso, com o tempo, os moldadores podem armazenar as soluções empregadas para os problemas de processamento na forma de regras em sistemas especialistas

e, em estágios avançados do desenvolvimento, empregar o sistema especialista para analisar as informações do CEP, identificando problemas e oferecendo soluções;

- **Estimativa de Custos:** auxiliar os projetistas menos experientes na estimativa dos custos de moldes, sem a necessidade de maiores conhecimentos no projeto de ferramentas;
- **Seleção de Material:** auxiliar os projetistas menos experientes na seleção de material apropriado, sem maiores conhecimentos de suas propriedades. A idéia é que o sistema traduza os requisitos do usuário na forma de propriedades necessárias para os polímeros e pesquise numa base de dados os materiais candidatos;
- **Problemas no Processo:** uma vez que os sistemas especialistas podem ser facilmente atualizados, são ideais para colecionar sugestões a respeito de problemas no processo. Isso possibilitaria aos novos operadores manusear a maioria dos problemas, minimizando as consultas aos especialistas do processo.

Além destas áreas potenciais para a aplicação de sistemas especialistas na indústria de moldagem por injeção, existe uma série de trabalhos em curso dedicados ao projeto de produtos de plástico injetados. Algumas dessas abordagens serão descritas a seguir.

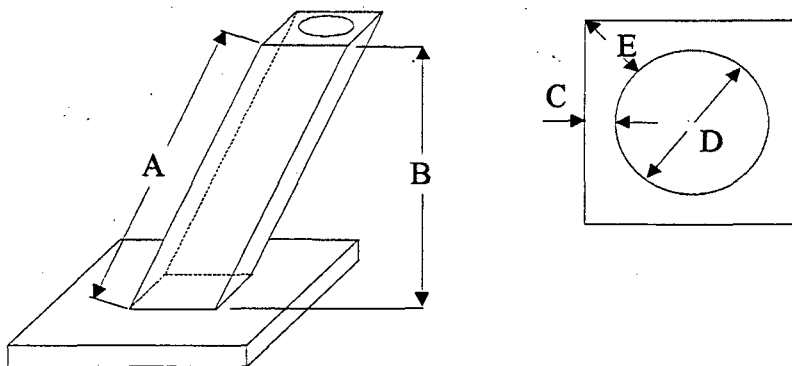
PRATT et al. [59], por exemplo, vêm desenvolvendo um sistema baseado no conhecimento, utilizando o conceito de *features híbridas*, as quais associam conhecimentos sobre o desempenho do produto e do processo de injeção, com parâmetros geométricos da peça. Na proposta dos autores, a metodologia de projeto de produtos de plástico injetados, sob consideração, consiste nas seguintes etapas:

- o projeto inicia-se com a especificação de critérios funcionais, estruturais, estéticos, entre outros;
- baseado na experiência e na intuição, o projetista estabelece uma idéia inicial para o conceito do produto;
- o conceito inicial é representado por meio de esquemas;
- o projetista desenvolve o esquema, adicionando, apagando, modificando *features*, entre outras operações, até configurar um modelo detalhado do produto.

A representação do conhecimento baseada no conceito de *feature híbrida* é exemplificada na FIGURA 4.9. Esse conceito procura resolver algumas limitações da abordagem tradicional de *feature*, tais como restrição a um número finito de formas geométricas predefinidas (restringem a criatividade do projetista) e dificuldade de decomposição de objetos complexos, através de um vocabulário básico de *features*.

De acordo com a FIGURA 4.9, uma *feature híbrida* consiste na combinação de entidades geométricas e de funcionalidades de projeto. No caso, a *feature híbrida* resulta da combinação das seguintes entidades básicas: plano, cubo e cilindro. Adicionalmente, são definidos os principais atributos geométricos da *feature* resultante. Esses atributos são caracterizados, dependendo de sua aplicação. Assim, por exemplo, os atributos **Altura A** e **Espessura E**, por representarem, comparativamente aos atributos **Altura B** e **Espessura C**, maiores dimensões,

são caracterizados para o raciocínio, sob o enfoque do preenchimento do molde. Assim, quando o sistema está “raciocinando” sobre o preenchimento do molde, o conhecimento em consideração (regras de produção) leva em conta os atributos **Altura A** e **Espessura E**. Além das categorias de atributos associadas ao preenchimento do molde e desempenho da peça, os autores destacam, ainda, aquelas sobre as propriedades dos materiais, processamento do componente e projeto do molde.



Atributos geométricos	Atributos de raciocínio baseados no critério Preenchimento do molde	Atributos de raciocínio baseados no critério Resistência da peça
Altura A	Altura A	Altura B
Altura B	Espessura E	Espessura C
Espessura C		
Diâmetro D		
Espessura E		

Figura 4.9 - Exemplo de uma *feature híbrida*: *feature* ressalto [59].

Em essência, a proposta anterior [59] trata de um sistema computacional que auxilia na configuração geométrica do produto baseada em entidades geométricas definidas como *features híbridas*. Esse auxílio se dá através da interação entre o projetista e o sistema computacional, na geração das entidades geométricas (similar a um sistema CAD convencional) e no reprojeto, ou adequação automática dessas entidades, em função de critérios, tais como a moldabilidade, resistência da peça, propriedade dos materiais, processamento do componente, projeto do molde, entre outros. Entretanto, não fica claro como são tratados os aspectos funcionais do produto. Por exemplo, orientações para a seleção das entidades geométricas considerando as funções do produto ou do componente não têm sido investigadas.

CHIN and WONG [60], por sua vez, propõem o desenvolvimento de um sistema computacional baseado no conhecimento constituído de vários módulos, conforme a FIGURA 4.10. Na proposta dos autores, dedicada ao estágio de avaliação e desenvolvimento da concepção do produto, um primeiro módulo do sistema determina o material mais apropriado para o componente, baseado nos requisitos de projeto e na concepção do produto modelado através de

features. Outro sistema especialista determina, então, as principais características para o projeto do molde de acordo com os requisitos de projeto do componente e as características do material plástico selecionado. Com as características do molde, dois outros módulos geram os planos de fabricação do molde e de produção do componente, além de estimativas de custos e de tempos de produção.

Apesar de bastante detalhado, em sua proposição, o modelo proposto na FIGURA 4.10 contempla, até o presente, a implementação de protótipos para os módulos de seleção do material e de projeto do molde, denominados de ESMALT (*Expert Plastic Material Selection*) e ESMOLD (*Expert Mold Design Module*), respectivamente. Ambos os módulos vêm sendo implementados com o *shell* KAPPA-PC da IntelliCorp Co. e operam em ambiente Windows. O módulo que trata do projeto do componente não foi detalhado pelos autores.

BORG & MacCALLUM [61] propõem um sistema de apoio ao projeto denominado de IMDA (*Injection Moulding Design Assistant*), conforme o modelo da FIGURA 4.11. Esse sistema integra um sistema CAD paramétrico, para a modelagem geométrica baseada em *features*; um sistema especialista, para raciocinar sobre o projeto do produto moldado por injeção; e um módulo hipermídia, o qual emprega facilidades de exibição gráfica e textual para apresentar as informações relacionadas ao projeto e facilitar a tomada de decisão.

A arquitetura proposta na FIGURA 4.11 foi estabelecida com base num levantamento de requisitos para um sistema de apoio ao projeto, junto aos projetistas de produtos no domínio de componentes de plástico injetados. Os requisitos levantados foram:

- promover uma abordagem natural para o projeto, usando elementos do componente, tais como nervuras, ressaltos, transições de parede, etc.;
- promover orientação textual e gráfica para melhorar a tomada de decisão;
- possibilitar que o processo de projeto do molde seja considerado simultaneamente ao processo de projeto do produto;
- levar em conta as diferentes restrições de projeto, por exemplo, da manufatura, de custos, etc.; e
- promover representações 2D e 3D do produto.

O sistema proposto aplica-se à fase de projeto denominada pelos autores de fase de transição do projeto, conforme o modelo apresentado na FIGURA 4.12.

De acordo com a FIGURA 4.12, o processo de projeto inicia-se com a identificação e definição das especificações do produto, necessárias para satisfazer às necessidades de projeto. Isso resulta na geração de projetos conceituais primitivos para satisfazer às necessidades funcionais do produto. Constituem-se, em geral, de modelos mentais do projetista na forma de idéias. Esses modelos são as entradas para a fase de transição entre o projeto conceitual e o projeto detalhado. Nessa transição a meta é converter o projeto funcional do produto em projeto

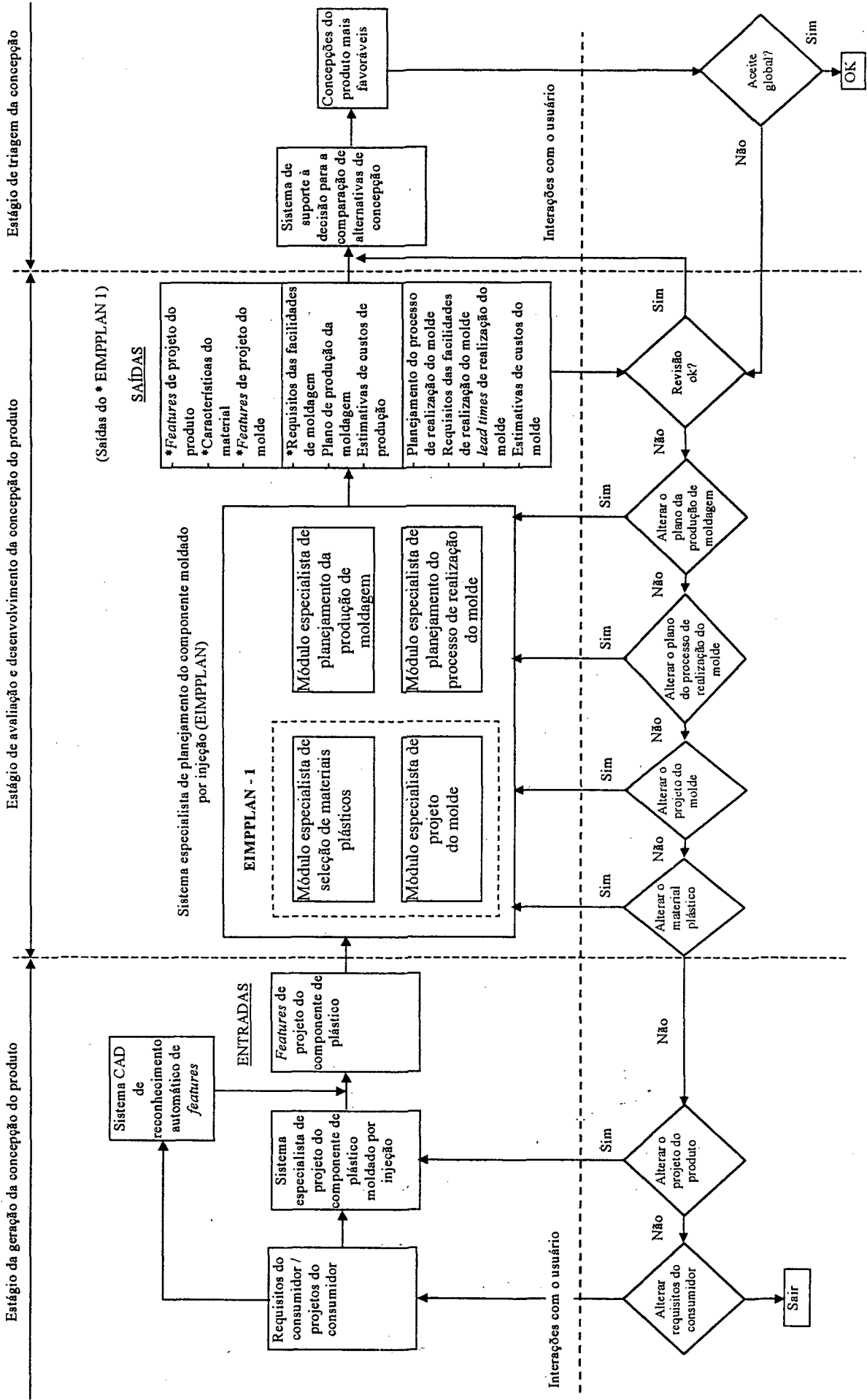


Figura 4.10 - Estrutura para o desenvolvimento de sistemas computacionais de apoio ao projeto de componentes moldados por injeção [60].

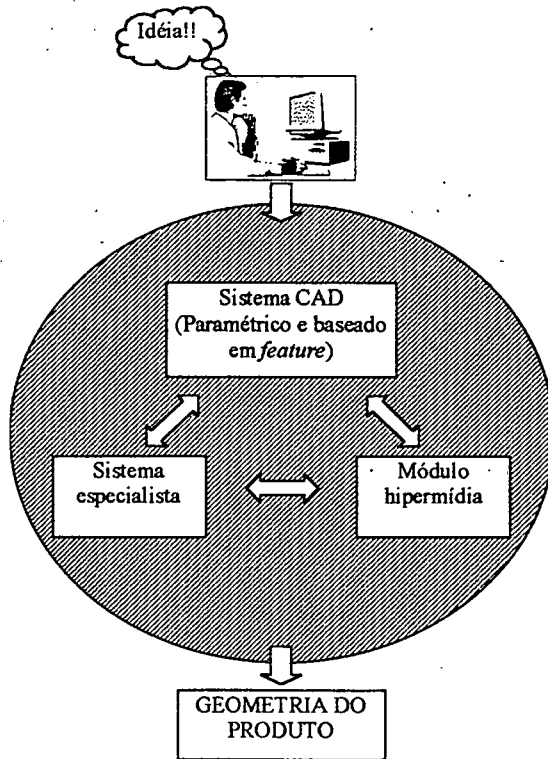


Figura 4.11 - Arquitetura do sistema IMDA [61].

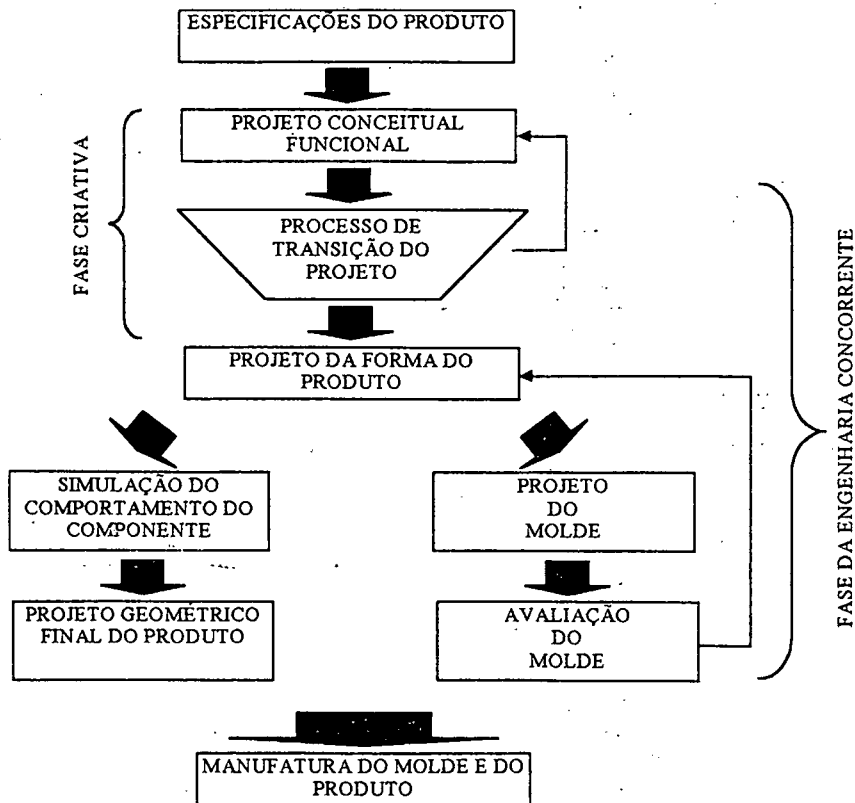


Figura 4.12 - Modelo do processo de projeto de termoplásticos [61].

geométrico. A saída do processo de transição será um modelo detalhado da forma do componente, considerando os diferentes pontos de vista de cada especialista envolvido no projeto. O processo de projeto prossegue com dois processos simultâneos: a simulação do comportamento do componente e o processo de projeto do molde. Uma vez que estes processos convergem para soluções aceitáveis, o molde e o componente são conduzidos para a manufatura.

No processo de transição do projeto ocorre, simultaneamente, um conjunto de subprocessos, conhecidos como *Design for X*, conforme a FIGURA 4.13. Para o domínio de produtos de plástico, os autores destacam os seguintes subprocessos: projeto para a manufatura, projeto para a montagem, projeto para mínimos custos e projeto para o ambiente. Dependendo do domínio, outros subprocessos de *Design for X* podem ser considerados na fase de transição.

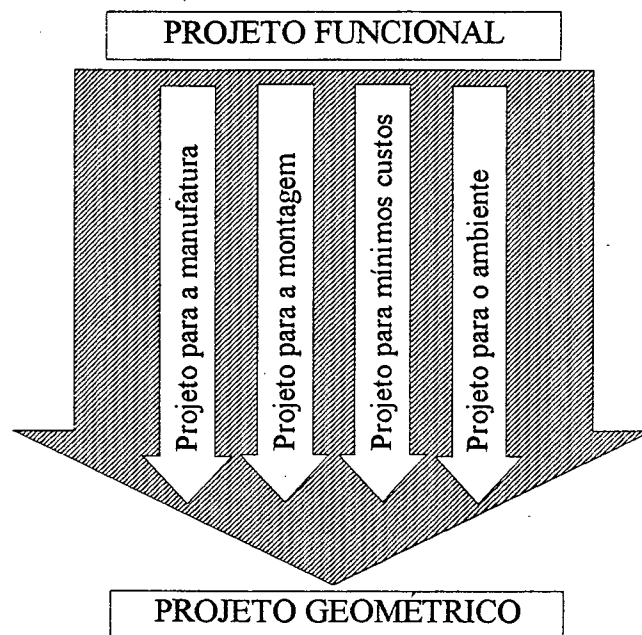


Figura 4.13 - Processos de DfX na fase de transição do projeto [61].

Na proposta de BORG & MacCALLUM [61], assim como nas demais abordagens apresentadas até o presente, não foi mostrado efetivamente como se processa o projeto funcional do produto, ou seja, das especificações para as funções do produto. Adicionalmente, a geração de soluções conceituais tem sido deixada sob o escopo da experiência e da criatividade do profissional projetista, sem maiores auxílios nesta fase. Em geral, as proposições focalizam mais sobre o desenvolvimento da geometria do produto, através de *features*, e o melhoramento da geometria resultante, considerando critérios voltados para a manufatura e ciclo de vida do produto. Auxílios efetivos à criatividade durante a concepção do componente não têm sido encontrados.

4.3.3 - Desenvolvimento de produtos de plástico sob o enfoque funcional

Embora também tratem de sistemas computacionais e, sobretudo, de sistemas especialistas dedicados ao projeto de produtos de plástico injetados, algumas abordagens focalizam, em maiores detalhes, alguns aspectos relacionados às funções, seja do processo, seja do produto moldado por injeção. Tais abordagens serão descritas a seguir.

HANADA & LEIFER [62], por exemplo, propõem a implementação de um sistema baseado no conhecimento, empregando o método de análise das funções aplicado ao processo de moldagem como forma de sistematizar o conhecimento de moldagem por injeção. Nesse caso, o processo de projeto, e base conceitual para o sistema computacional, é modelado conforme a FIGURA 4.14.

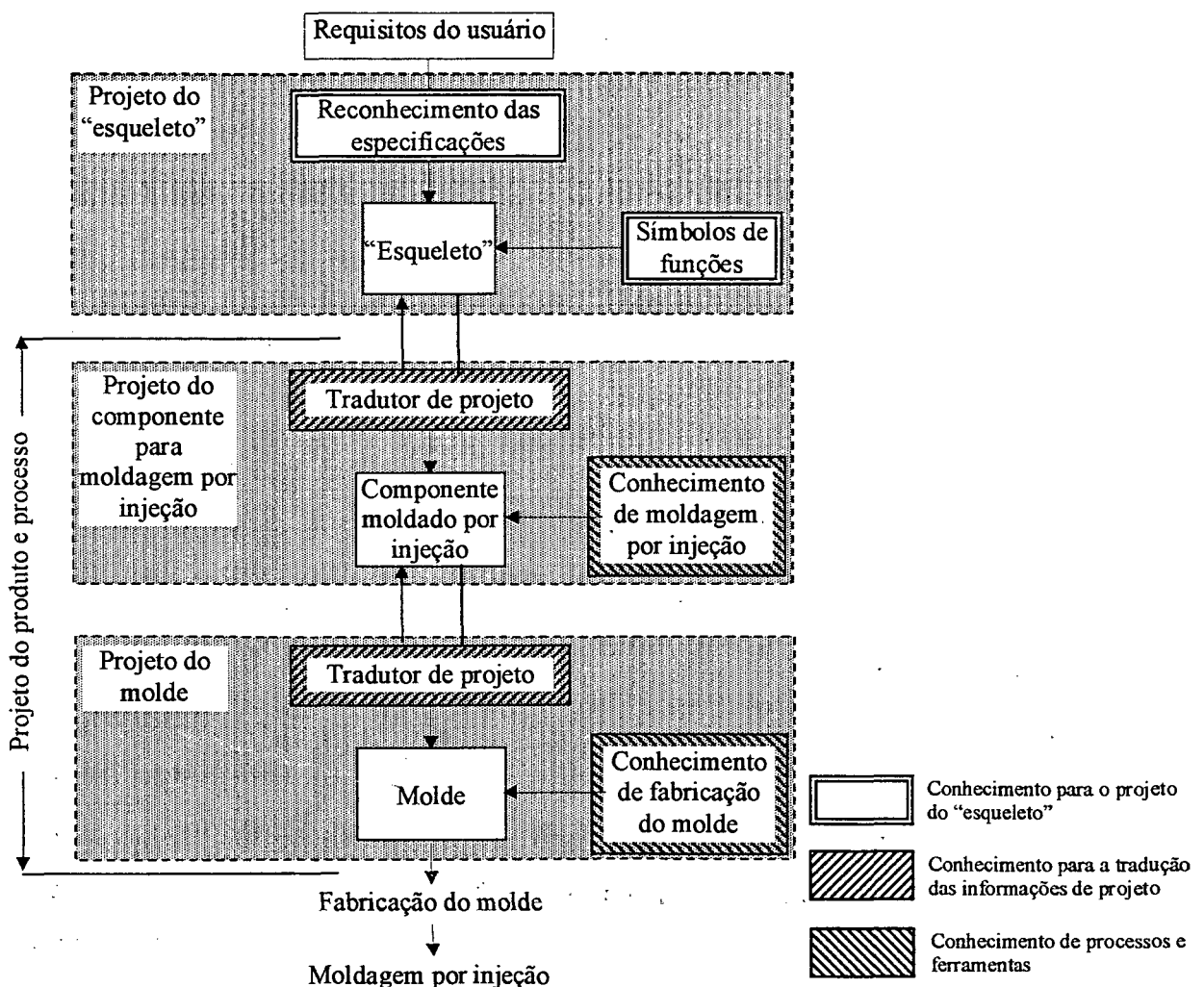


Figura 4.14 - Processo de projeto de componentes moldados por injeção [62].

De acordo com a FIGURA 4.14, as atividades de projeto iniciam-se com os requisitos do usuário e são divididas em três estágios principais: projeto do “esqueleto”⁴ do produto total, projeto do componente moldado por injeção e projeto do molde. No estágio de projeto do “esqueleto”, o projetista reconhece e “traduz” os reais requisitos do usuário na forma de especificações de projeto e transforma essas especificações na forma de um “esqueleto” do produto. Esse “esqueleto” é criado independentemente da manufacturabilidade. Embora modelados, os conhecimentos necessários para o projeto do “esqueleto”, ou seja, o conhecimento para o reconhecimento das especificações de projeto e sobre as funções do produto não são detalhados pelos autores. Eles reportam esse assunto para trabalhos futuros.

No estágio de projeto do componente injetado, o projetista considera o processo de moldagem por injeção. Nesse caso, o componente é constituído tanto pelos requisitos funcionais, em relação ao produto total (configurados no “esqueleto”), quanto pelas características relacionadas ao processo de moldagem por injeção. O conhecimento de moldagem por injeção é modelado utilizando-se o método de análise de funções, sob o processo de injeção. Os resultados dessa aplicação são mostrados na FIGURA 4.15.

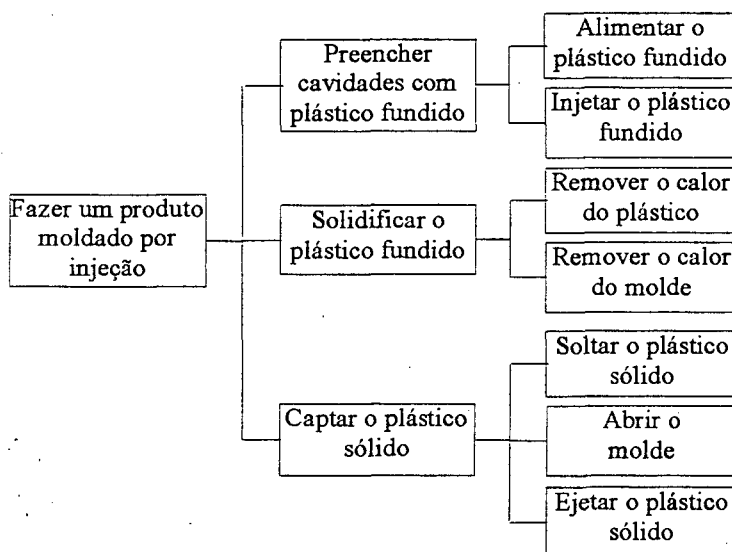


Figura 4.15 - Árvore de funções do processo de moldagem por injeção [62].

As funções elementares da FIGURA 4.15 são associadas a soluções concretas de projeto. Assim, por exemplo, para soltar o plástico solidificado do molde, várias técnicas ou soluções podem ser empregadas, incluindo, por exemplo, a adição de ângulos de saída na parede do componente, acabamento liso da superfície do molde, adição de algum agente desmoldante ao material plástico, entre outros. Na proposta dos autores, eles armazenam soluções concretas de

⁴ Denominação empregada pelos autores [62], traduzida de “*skeleton*”, equivalente à concepção do produto.

projeto para as funções elementares do processo, em uma base de conhecimento, as quais são empregadas para auxiliar na configuração do componente.

Finalmente, entre os estágios de projeto existe um tradutor de projeto que atua sobre os objetos projetados. Esse tradutor possui conhecimentos para traduzir as características do modelo de um domínio para outro, tais como traduzir linhas em paredes do componente e paredes do componente em cavidades do molde, entre outros.

Sob o modelo da FIGURA 4.14, o sistema de projeto proposto pelos autores é constituído de um ambiente CAD e de uma base de conhecimento. Sobre o ambiente CAD o projetista especifica as entidades geométricas do componente, através de um menu de *features*. O sistema reconhece cada *feature* escolhida e suas propriedades. Num passo seguinte, o projetista aciona operações de verificação, tais como *CHECK_DRAFTANGLE* e *CHECK_THICKNESS*, as quais são procedurais ou baseadas em regras e verificam o ângulo de saída e a espessura de uma dada *feature*, respectivamente. Os resultados dessas operações são enviados para o ambiente CAD, que reproduz, no modelo do componente, as modificações (se houver) necessárias. A FIGURA 4.16 mostra um exemplo de aplicação dessas operações.

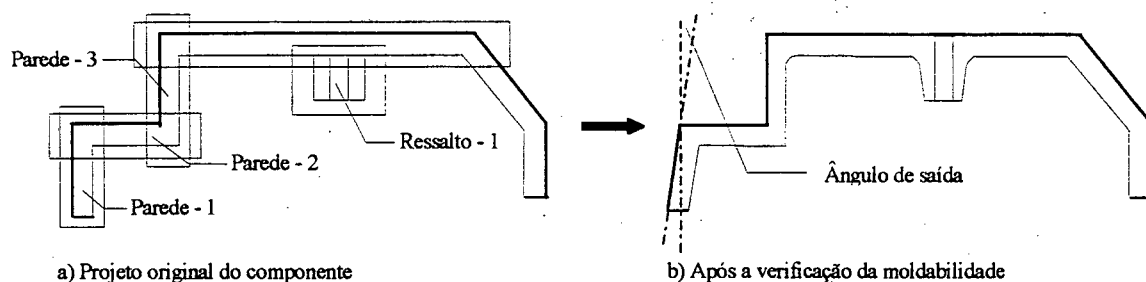


Figura 4.16 - Exemplo de correção de geometria do componente [62].

Apesar de empregar um método de análise de funções como critério para configurar a base de conhecimento do sistema, o desenvolvimento do “esqueleto” inicial do produto encontra-se, ainda, sem maiores auxílios. Ou seja, a concepção do produto e seus componentes a partir dos requisitos do usuário não tem sido assistida computacionalmente. O projeto do molde, conforme modelado na FIGURA 4.14, também não tem sido implementado.

As principais potencialidades do sistema proposto encontram-se na avaliação e no reprojeto do componente, considerando aspectos da moldabilidade do produto, conforme mostrado na FIGURA 4.16, ou seja, trata-se do reprojeto do componente, sob o enfoque do processo de moldagem.

Confirmando a falta de auxílios computacionais às fases iniciais do projeto,

SEBASTIAN [63] declara que existe uma lacuna no estágio de projeto conceitual de peças de plástico injetadas. Grande parte dos softwares desenvolvidos, ou em desenvolvimento, tratam sobre a análise e simulação de componentes moldados, o que não se constitui no projeto do produto como um todo. Adicionalmente, os sistemas CAD usuais, apesar das potencialidades que oferecem, aplicam-se bem para a produção de desenhos de engenharia, criados após o projeto conceitual do produto ter sido estabelecido.

Sob estas e outras críticas, o autor propõe o desenvolvimento de um sistema de auxílio ao projeto de produtos de plástico injetados denominado de *Designer's Apprentice*, que, na fase inicial do projeto, considera as funções do produto (requisitos funcionais) para a seleção de elementos de forma para o componente. A relação entre funções e os elementos de forma é mostrada na FIGURA 4.17.

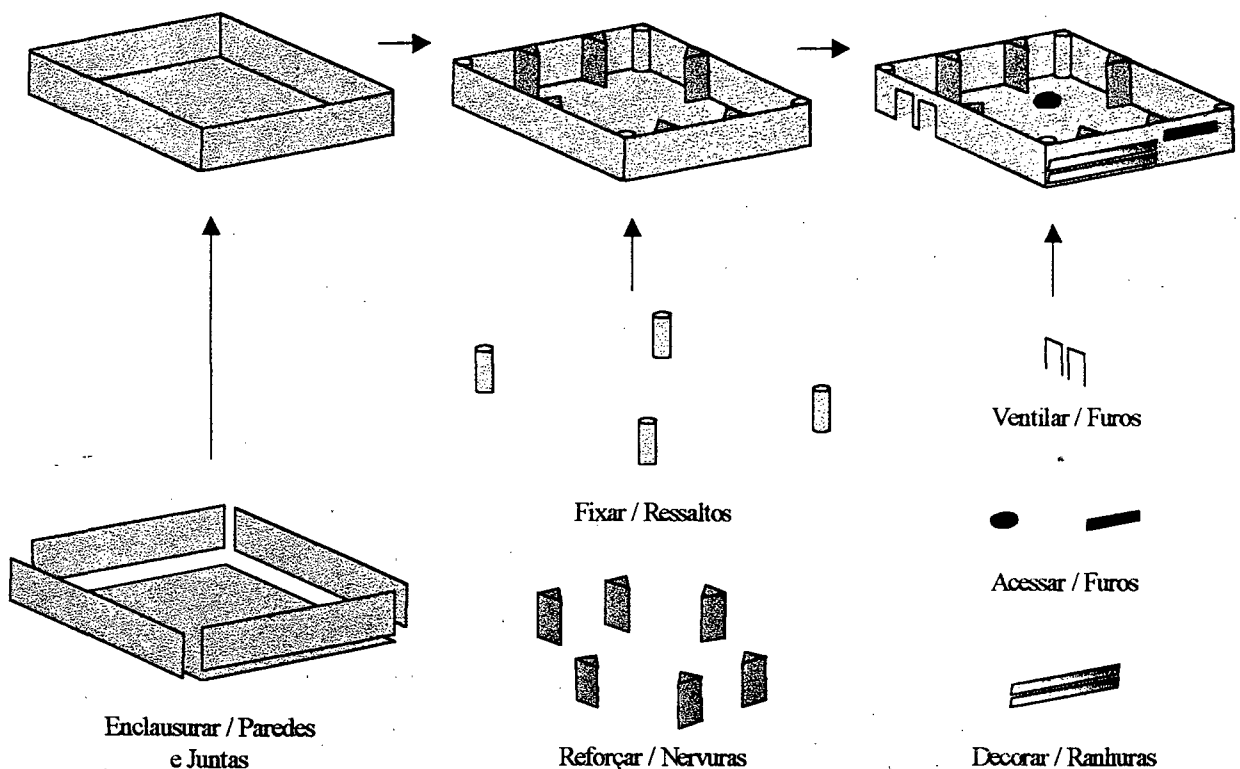


Figura 4.17 - Combinações entre forma/função para um gabinete de plástico injetado [63].

De acordo com a FIGURA 4.17, um gabinete de PC (Personal Computer) deve **enclausurar** determinado conteúdo com **paredes**, que são **unidas** por **cantos arredondados** e **reforçadas** com **nervuras**. O gabinete deve, ainda, **fixar** uma placa, através de **ressaltos** moldados com insertos roscados; deve **permitir a ventilação** através de **furos**; **permitir o acesso** para um disquete, através de uma **abertura** e **decorar** o exterior com **ranhuras**. Sob

estas associações, o processo de projeto inicia-se pela determinação dos requisitos funcionais, seguindo com a seleção dos elementos de forma mais apropriada para satisfazê-los. Os elementos de forma selecionados para cada função estão, no sistema proposto, associados a uma geometria inicial, configurada para satisfazer aos requisitos mecânicos. Essa geometria é, então, detalhada, ou corrigida, levando-se em conta os requisitos da manufatura: de moldabilidade, de fabricação do molde e do processo de injeção.

O autor [63] não apresenta, em maiores detalhes, o processo de implementação do sistema proposto, nem seu estado atual de desenvolvimento. Entretanto, esta abordagem está entre aquelas que mais se aproximam dos métodos clássicos para o desenvolvimento da concepção de produtos, ou seja, baseada no desenvolvimento de uma estrutura de funções para o produto e na solução destas funções através de princípios de solução de projeto.

Na abordagem anterior, grande parte das funções e soluções de projeto são consideradas sob o ponto de vista interno do componente (nervuras, ressaltos, furos, etc.). Seu exterior, sob o enfoque de formas e estilos, não tem sido abordado. Nessa direção, WALLACE & JAKIELA [64] vêm desenvolvendo um sistema computacional que auxilia no projeto de produtos moldados por injeção sob o enfoque de seu desenho industrial. Em outras palavras, o sistema trata do projeto das superfícies visíveis do produto orientado para a sua ergonomia, estética e manufaturabilidade. Os produtos considerados são aqueles de produção em massa, tais como rádios, TVs, videocassetes, entre outros.

Neste caso, o sistema proposto é baseado num processo de projeto constituído de quatro estágios principais: (1) **organização do produto** - posicionamento dos componentes do produto, num espaço 3D, com relação à linha de partição do molde de injeção; (2) **estilização do produto** - fechamento do leiaute dos componentes com uma “casca” apropriadamente estilizada; (3) **detalhamento do estilo** - adição de detalhes estilizados, tais como grades de alto-falantes, botões, aberturas de ventilação, insertos, etc.; (4) **detalhamento gráfico** - adição de detalhes gráficos, tais como letreiros e esquema de cores. Sob este processo, as operações do sistema são modeladas, conforme a FIGURA 4.18.

De acordo com a FIGURA 4.18, o usuário entra no sistema selecionando os componentes de projeto e designando valores para determinados atributos do produto. Para a seleção de componentes como alto-falantes, teclados, microfones, *displays*, entre outros, o sistema oferece uma biblioteca de componentes padronizados. Definidas as entradas, o sistema opera, através de procedimentos e regras de produção, ou de sistema especialista, conduzindo as operações de organização, estilização, detalhamento do estilo e detalhamento gráfico. Os resultados destas

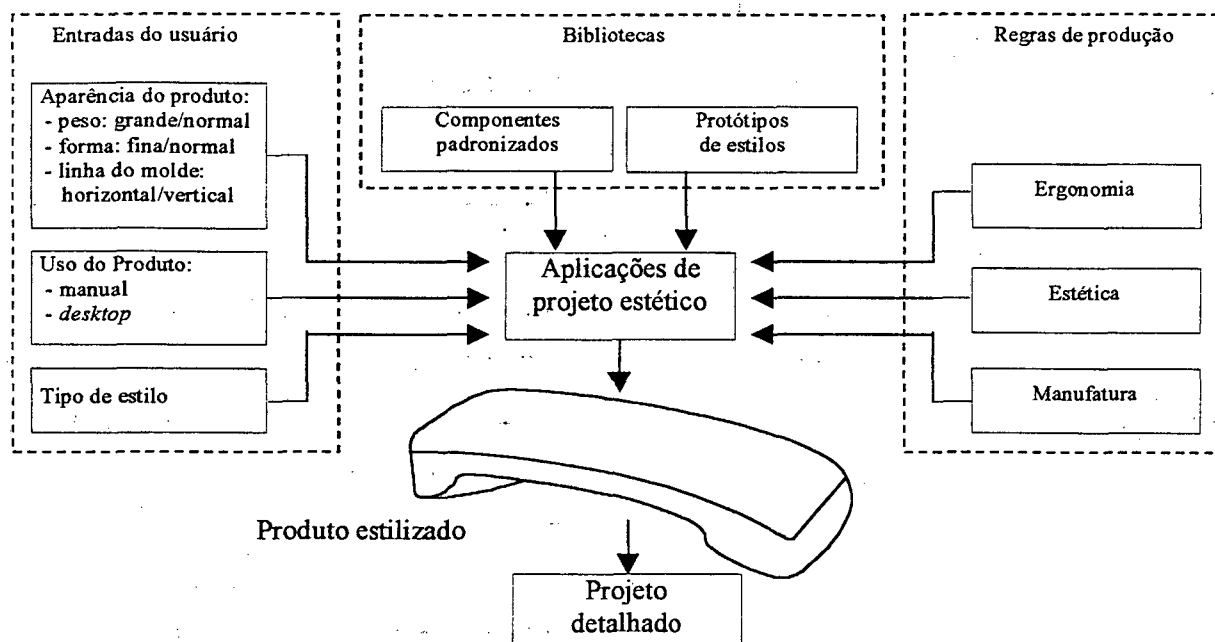


Figura 4.18 - Descrição das operações do sistema de projeto ([64]).

operações são o projeto completo da superfície externa do produto sob considerações da estética, ergonomia e manufatura, definindo as formas externas dos componentes que serão moldados por injeção. Em outras palavras, a saída do sistema constitui-se no projeto da forma externa do gabinete do produto.

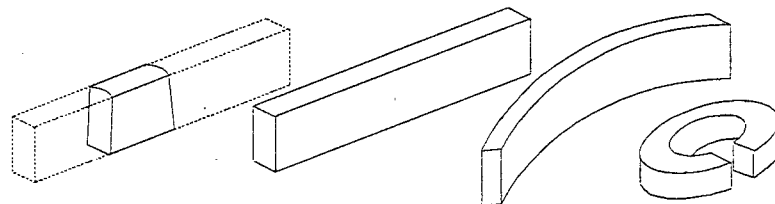
Embora com poucos detalhes, os autores destacam a importância do estudo funcional do produto. Segundo eles, a funcionalidade do produto pode ser classificada com relação à maneira como o usuário interage com o produto. Essa interação pode ser descrita em termos das funcionalidades sensoriais do ser humano, as quais, por sua vez, podem ser associadas a classes de componentes concretos. Assim, por exemplo, um teclado promove uma interação tátil; um alto-falante promove uma interação auditiva, e um exibidor promove uma interação visual. Sob essas premissas, na medida em que o projetista especifica os tipos de componentes para o produto, também especifica suas funcionalidades.

Da maneira como foi apresentada, esta abordagem funcional não está conforme as recomendações clássicas de metodologias de projeto, ou seja, primeiro a definição das funções do produto e depois a busca de suas soluções. Entretanto, ela estabelece aspectos importantes para a proposição de metodologia de projeto conceitual de produtos de plástico injetados. Podem ser formuladas, por exemplo, categorias de funções baseadas nas funções sensoriais do ser humano (funções de visualização, de audição, táteis, de gustação e de olfação) e as soluções conceituais do produto obtidas, em parte, através dessas funções. Isso, em outras palavras,

determina um aspecto importante no contexto de produtos de plástico injetados, ou seja, a sua interação com o elemento humano.

Ainda sob o enfoque funcional, WOOD [65] apresenta um estudo que relaciona *features* e funções no projeto de produtos de plástico injetados. Segundo o autor, as relações entre *features* e funções são importantes para implementar, na próxima geração de sistemas CAD, o raciocínio de projeto baseado na funcionalidade do produto. Nessa proposta, as *features* são consideradas como "blocos de construção primários", ou formas geométricas específicas, que satisfazem às necessidades funcionais de dado componente. A função, por sua vez, é definida como o comportamento ou ação que a *feature* deve ter (ou satisfazer) para que o produto atenda a seu propósito global.

Sob esse escopo, o autor [65] coletou, junto aos vários profissionais projetistas do setor de produtos de plástico injetados (engenheiro mecânico, desenhista industrial, projetista de ferramenta e engenheiro de processo), informações sobre o uso de *features* e suas funcionalidades, apresentando os resultados, conforme o exemplo da FIGURA 4.19.



Nome da *feature*: Nervuras, também conhecidas como Reforços. (foram encontradas 430, entre as pesquisadas - 18,3%)
Funcionalidade: reforçar (31,6%), suportar (16,9%), guiar (13,7%), manter (7,4%), posicionar (6,3%), etc.

Figura 4.19 - Exemplo de *features* e suas funcionalidades [65].

Entre os resultados deste trabalho encontram-se as funções, normalmente atribuídas pelos profissionais projetistas, na prática de projeto de produtos de plástico injetados no setor industrial, conforme a TABELA 4.1. Adicionalmente, incluem-se as relações entre *features* e funções e o percentual de ocorrência, conforme a TABELA 4.2.

Sob a análise dos resultados, o autor [65] recomenda que os sistemas CAD, de próxima geração, devem focalizar em *features* e funções de maior ocorrência, possibilitando maior naturalidade ao projeto. Ainda, que através de *features* e de funções incorporadas ao sistema é possível capturar e implementar algum raciocínio do projetista. Também, que a implementação de funcionalidade associada às *features* promove uma base comum de comunicação entre os projetistas, minimizando conflitos de projeto.

Tabela 4.1 - Lista de funções normalmente atribuídas na prática de projeto de produtos de plástico injetados [65].

Função	N. de funções encontradas	%	Função	N. de funções encontradas	%
Suportar (<i>support</i>)	107	11,46	Permitir (<i>allow</i>)	6	0,64
Posicionar (<i>position</i>)	80	8,57	Juntar (<i>join</i>)	6	0,64
Manter (<i>hold</i>)	79	8,46	Enclausurar (<i>enclose</i>)	6	0,64
Acoplar (<i>attach</i>)	66	7,07	Auxiliar (<i>aid</i>)	6	0,64
Reforçar (<i>strengthen</i>)	66	7,07	Localizar (<i>locate</i>)	5	0,54
Montar (<i>mount</i>)	55	5,89	Orientar (<i>orient</i>)	3	0,32
Alinhar (<i>align</i>)	43	4,60	Repelir (<i>repel</i>)	3	0,32
Guiar (<i>guide</i>)	38	4,07	Particionar (<i>partition</i>)	3	0,32
Promover acesso (<i>provide access</i>)	36	3,85	Criar (<i>create</i>)	3	0,32
Padronizar (<i>conform to</i>)	34	3,64	Fixar (<i>fasten</i>)	2	0,21
Limitar (<i>limit</i>)	31	3,32	Ligar (<i>link</i>)	2	0,21
Assistir (<i>assist</i>)	30	3,21	Controlar (<i>control</i>)	2	0,21
Cobrir (<i>cover</i>)	29	3,10	Deslizar (<i>slide</i>)	2	0,21
Reduzir (<i>reduce</i>)	26	2,78	Conectar (<i>connect</i>)	2	0,21
Espaçar (<i>space</i>)	22	2,36	Ativar (<i>active</i>)	2	0,21
Segurar (<i>secure</i>)	18	1,93	Receber (<i>receive</i>)	2	0,21
Ejetar (<i>eject</i>)	16	1,71	Constranger (<i>constrain</i>)	1	0,11
Restringir (<i>restrain</i>)	15	1,61	Transportar (<i>convey</i>)	1	0,11
Proteger (<i>protect</i>)	13	1,39	Amplificar (<i>amplify</i>)	1	0,11
Ver (<i>view</i>)	12	1,28	Evitar (<i>avoid</i>)	1	0,11
Transferir (<i>transfer</i>)	11	1,18	Pivotar (<i>pivot</i>)	1	0,11
Blindar (<i>shield</i>)	10	1,07	Exibir (<i>display</i>)	1	0,11
Prevenir (<i>prevent</i>)	9	0,96	Trancar (<i>latch</i>)	1	0,11
Esconder (<i>hide</i>)	8	0,86	Girar (<i>rotate</i>)	1	0,11
Conter (<i>contain</i>)	7	0,75	Atuar (<i>actuate</i>)	1	0,11
Transmitir (<i>transmit</i>)	7	0,75	Facilitar (<i>facilitate</i>)	1	0,11
			Estabilizar (<i>stabilize</i>)	1	0,11

Tabela 4.2 - Relações entre *features* e funções (principais) encontradas na prática de projeto de produtos de plástico injetados [65].

<i>Features</i>	Função	%	Função	%	Função	%
Nervuras (<i>ribs</i>)	reforçar	31,6	suportar	16,9	guiar	13,7
Paredes (<i>walls</i>)	suportar	27,8	cobrir	12,4	reforçar	7,7
Ranhuradas (<i>grooves</i>)	padronizar (estética)	12,7	assistir	7,4	posicionar e reduzir	7,3
Furos (<i>holes</i>)	acoplar	17,6	posicionar	17,6	montar	14,8
Furo Escareado (<i>countersink</i>)	esconder	32	assistir	16	acoplar	12
Ressaltos (<i>bosses</i>)	acoplar	15,2	ejetar	13,2	montar	12,2
Protusões ("orelhas") (<i>protusions</i>)	manter	15,3	posicionar	12,7	alinhar	11,7
Discos (<i>disks</i>)	reforçar	46,2	suportar	15,4	alinhar, espaçar, reduzir	7,7
Encaixes (<i>slots</i>)	guiar	14,8	posicionar	11,5	manter e transferir	9,8
Janelas (<i>windows</i>)	promover acesso	29,2	alinhar	15,3	ver	13,9
Lingüeta de engate rápido (<i>snaps</i>)	manter	44,8	segurar	20,7	acoplar	13,8

4.4 - Síntese sobre o desenvolvimento de produtos de plástico injetados

Foi apresentada, nos itens anteriores, uma série de abordagens sobre como vêm sendo conduzidas as pesquisas e os estudos que tratam de auxílios ao projeto de produtos de plástico moldados por injeção. Em linhas gerais, as abordagens tratam sobre filosofias de

desenvolvimento, metodologias, processos de projeto e auxílios na forma computacional. Nesse item, apresenta-se uma síntese dos trabalhos analisados, considerando os elementos metodológicos definidos no CAPÍTULO 3 como critérios de categorização das informações coletadas. Tal síntese é mostrada na TABELA 4.3.

De acordo com a síntese da TABELA 4.3, verifica-se, em linhas gerais, que não há uma sistemática muito bem definida para o projeto conceitual de produtos de plástico injetados, sobretudo em sua fase conceitual. Em geral, desenvolve-se o projeto geométrico do componente, baseado em *features*, e a correção dessa geometria, sob as restrições da manufatura. Vêm sendo desenvolvidos para tais propósitos, na maioria dos casos, sistemas especialistas baseados em regras de produção, implementando ambientes para a prática da engenharia simultânea e automatização de sistemas CAD.

Embora algumas abordagens apresentem a natureza das informações tratadas nas fases iniciais do processo de projeto, tais como requisitos do usuário, especificações de projeto e funções do produto, o desenvolvimento efetivo de métodos e ferramentas para tratar com estas informações ainda é incipiente. Em geral, a base de conhecimento dos sistemas especialistas propostos trata sobre informações de *features* e regras de projeto para a moldagem.

Diante dessas observações, verifica-se que o projeto conceitual de produtos de plástico injetados, apesar de destacado pelos autores, não é devidamente assistido, seja na forma de metodologia de projeto, seja na de ferramentas computacionais. Nesse sentido, no capítulo que se segue, propõe-se uma sistemática para a concepção de produtos de plástico injetados que, além de auxiliar na busca e avaliação de soluções alternativas para os componentes, é adequada, conforme as diretrizes do CAPÍTULO 3, à implementação em computador. Segue-se, sob tal sistemática, a proposição e o desenvolvimento de ferramentas computacionais de apoio ao projeto em sua fase conceitual.

Tabela 4.3 - Síntese das principais abordagens sobre o desenvolvimento de produtos de plástico injetados.

Abordagens	Elementos metodológicos		
	Informações de projeto	Processos de projeto	Meios de projeto
MALLOY [53]	<ol style="list-style-type: none"> 1. requisitos do usuário: funcionalidade, estética, custos, prazo de entrega do produto, etc. 2. requisitos da manufatura: materiais, ferramentas, processos, etc. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. definição dos requisitos do usuário final; 2. criação de um esquema preliminar do produto; 3. seleção inicial de materiais; 4. projeto do componente de acordo com as propriedades do material; 5. seleção final de materiais; 6. modificação do projeto para a fabricação; 7. prototipagem; 8. desenvolvimento da ferramenta; 9. produção 	—
DEFOSSE [54]	—	<ol style="list-style-type: none"> 1. concepção do produto; 2. projeto preliminar; 3. seleção do material; 4. envolvimento do fornecedor de resina; 5. envolvimento do moldador/matriseiro; 6. simulação preliminar do fluxo; 7. análise estrutural preliminar; 8. projeto preliminar do molde; 9. projeto detalhado do componente; 10. simulação detalhada do fluxo; 11. prototipagem rápida; 12. projeto final do molde; 13. construção do molde; 14. teste do molde; 15. depuração do molde; 16. produção 	—
ZUKIN [50]	—	—	<ol style="list-style-type: none"> 1. comunicação digital através da Internet; 2. reuniões face a face; 3. análise de modelos de engenharia
PERERA [55]	<ol style="list-style-type: none"> 1. necessidades e desejos dos consumidores e clientes; 2. requisitos de engenharia; 3. restrições geométricas; 4. informações do processo; 5. informações de ferramentas; 6. informações de serviço; 7. informações de logística 	<ol style="list-style-type: none"> 1. identificação dos requisitos de engenharia; 2. concepção do produto; 3. simulação do produto; 4. avaliação do produto 	<ol style="list-style-type: none"> 1. sistema especialista de apoio ao projeto, com os seguintes módulos de conhecimento: <ol style="list-style-type: none"> 1. conhecimento de ferramenta; 2. conhecimento de moldagem; 3. conhecimento funcional; 4. conhecimento estrutural; 5. conhecimento de manutenção e serviço; 6. conhecimento de qualidade; 7. conhecimento de estilo; 8. conhecimento de logística
ISHII [56]	<ol style="list-style-type: none"> 1. requisitos do usuário: <ol style="list-style-type: none"> 1. funções; 2. resistência; 3. estética 2. projeto proposto: <ol style="list-style-type: none"> 1. material; 2. geometria; 3. processo 3. restrições do processo: <ol style="list-style-type: none"> 1. ferramenta; 2. moldagem 	<ol style="list-style-type: none"> 1. análise da compatibilidade: <ol style="list-style-type: none"> 1. avaliação; 2. justificação; 3. sugestão 	<ol style="list-style-type: none"> 1. sistema especialista de apoio ao projeto; 2. algoritmo para o cálculo de índice de compatibilidade

Tabela 4.3 - Continuação.

AL-ASHAAB & YOUNG [57]	<ol style="list-style-type: none"> 1. modelo do produto: <ol style="list-style-type: none"> 1. especificações; 2. geometria; 3. dimensões e tolerâncias; 4. material; 5. método de manufatura; 2. modelo da manufatura: <ol style="list-style-type: none"> 1. moldabilidade de <i>features</i>; 2. elementos do molde; 3. elementos da máquina de injeção 	—	<ol style="list-style-type: none"> 1. aplicativos de suporte à decisão: <ol style="list-style-type: none"> 1. projeto para a função; 2. projeto para a moldabilidade; 3. suporte ao projeto do molde; 4. cálculo dos requisitos da máquina de injeção; 5. etc.
PRATT et al. [59]	—	<ol style="list-style-type: none"> 1. especificação de critérios funcionais, estruturais, estéticos, entre outros; 2. estabelecimento de uma idéia inicial para o conceito do produto; 3. representação do conceito inicial através de esquemas; 4. desenvolvimento do esquema até o modelo detalhado do produto 	<ol style="list-style-type: none"> 1. sistema especialista de apoio ao projeto baseado em <i>features</i>
CHIN & WONG [60]	<ol style="list-style-type: none"> 1. requisitos do consumidor/projetos do consumidor; 2. <i>features</i> do componente de plástico; 3. características do material; 4. <i>features</i> de projeto do molde; 5. requisitos de moldagem; 6. plano de produção da moldagem; 7. estimativas de custos de produção; 8. plano de fabricação do molde; 9. requisitos para a fabricação do molde; 10. estimativas de custo e tempo para a fabricação do molde 	<ol style="list-style-type: none"> 1. geração da concepção do produto; 2. avaliação e desenvolvimento da concepção do produto; 3. triagem da concepção 	<ol style="list-style-type: none"> 1. sistema especialista de projeto do componente 2. sistema especialista de planejamento do componente moldado por injeção: <ol style="list-style-type: none"> 1. módulo especialista de seleção de materiais plásticos; 2. módulo especialista de projeto do molde; 3. módulo especialista de planejamento da produção; 4. módulo especialista de planejamento da realização do molde; 3. sistema especialista de avaliação de concepções
BORG & MacCALLUM [61]	—	<ol style="list-style-type: none"> 1. desenvolvimento das especificações do produto; 2. projeto conceitual/funcional do produto; 3. processo de transição do projeto: "design for X"; 4. projeto da forma do produto; 5. simulação do comportamento do componente; 6. projeto geométrico final do produto; 7. projeto do molde; 8. avaliação do molde; 9. manufatura do molde e do produto 	<ol style="list-style-type: none"> 1. sistema IMDA (Injection Moulding Design Assistant: <ol style="list-style-type: none"> 1. sistema CAD paramétrico baseado em <i>features</i>; 2. sistema especialista; 3. módulo hipermídia
HANADA & LEIFER [62]	<ol style="list-style-type: none"> 1. requisitos do usuário; 2. especificações de projeto; 3. funções do produto; 4. conhecimento de moldagem por injeção; 5. conhecimento de fabricação do molde 	<ol style="list-style-type: none"> 1. projeto do "esqueleto" (conceito do produto); 2. projeto do componente para a moldagem por injeção; 3. projeto do molde 	<ol style="list-style-type: none"> 1. sistema computacional de apoio ao projeto: <ol style="list-style-type: none"> 1. sistema CAD baseado em <i>features</i>; 2. sistema especialista para reprojeção da geometria do componente

Tabela 4.3 - Continuação.

SEBASTIAN [63]	—	<ol style="list-style-type: none"> 1. determinação dos requisitos funcionais; 2. seleção dos elementos de forma (<i>features</i>) para satisfazer às funções; 3. detalhamento ou correção da geometria do componente considerando os requisitos da manufatura: de moldabilidade, de fabricação do molde e do processo de injeção 	1. sistema computacional de apoio ao projeto: <i>Designer's Apprentice</i>
WALLACE & JAKIELA [64]	<ol style="list-style-type: none"> 1. entradas do usuário: <ol style="list-style-type: none"> 1. feições do produto: peso, forma, linha do molde; 2. uso do produto; 3. tipo de estilo; 2. base de conhecimento sobre: ergonomia, estética e manufatura 	<ol style="list-style-type: none"> 1. organização do produto: arranjo dos componentes do produto num espaço 3D; 2. estilização do produto: fechamento do leiaute dos componentes com uma "casca" estilizada; 3. detalhamento do estilo: adição de detalhes estilizados; 4. detalhamento gráfico: adição de detalhes gráficos 	<ol style="list-style-type: none"> 1. sistema especialista de apoio ao projeto; 2. bibliotecas de projeto: componentes padronizados, protótipos de estilos
WOOD [65]	<ol style="list-style-type: none"> 1. <i>features</i> para o projeto de produtos de plástico; 2. funções de produtos de plástico; 3. relacionamentos entre <i>features</i> e funções 	—	—

CAPÍTULO 5 - SISTEMATIZAÇÃO DO PROJETO CONCEITUAL DE COMPONENTES DE PLÁSTICO INJETADOS VISANDO À IMPLEMENTAÇÃO COMPUTACIONAL

5.1 - Introdução

No CAPÍTULO 2 verificou-se, em linhas gerais, que as metodologias de projeto não estão devidamente preparadas para a implementação de auxílios computacionais às fases iniciais do desenvolvimento do produto. Sob o enfoque de sistemas especialistas, por exemplo, faz-se necessária uma sistematização dos conhecimentos heurísticos ou de "bom senso" associados aos procedimentos prescritos em cada fase do processo de projeto. Sob o enfoque de ferramentas facilitadoras do processo, por sua vez, faz-se necessário sistematizar os procedimentos de cada método ou instrumento prescritos na metodologia proposta e traduzi-los em funcionalidades de ferramentas computacionais. Ainda, nesse caso, faz-se necessário sistematizar as informações manipuladas em cada método de projeto (entradas e saídas do método, por exemplo), visando à implementação de base de dados de auxílio ao projeto.

Para orientar a solução desses problemas e informatizar as fases iniciais do desenvolvimento de produtos, propuseram-se, conforme os estudos do CAPÍTULO 3, as seguintes diretrizes gerais:

- a implementação de auxílios computacionais para o projeto conceitual de produtos deve se iniciar pela caracterização das informações e dos meios de projeto considerados sob dado domínio de aplicação;
- as informações de projeto devem originar-se das características do ambiente de desenvolvimento do produto e das estruturas de conhecimento do projetista;
- os meios de projeto devem originar-se do sistema metodologia de projeto adotado ou desenvolvido para o domínio sob consideração;
- as ferramentas computacionais de auxílio ao projeto conceitual devem ser concebidas, inicialmente, na forma de ambientes computacionais e de base de dados que simulam os meios de projeto adotados ou desenvolvidos; e
- a implementação de sistemas especialistas para a concepção de produtos deve ser uma evolução das ferramentas facilitadoras do processo, considerando o conhecimento sistematizado do domínio de aplicação.

As constatações e as diretrizes anteriores formam uma base teórica para orientar o processo de informatização das fases iniciais do projeto, o qual deve ser conduzido sob dado domínio de aplicação.

Conforme os estudos do CAPÍTULO 4, verificou-se, em linhas gerais, que o projeto conceitual de componentes de plástico injetados é pouco assistido, seja em metodologia de projeto ou em ferramentas computacionais. Essa constatação, aliada à importância que os

produtos de plástico têm para a sociedade, além da variedade de produtos existentes e dos que podem ser desenvolvidos, tem motivado a proposição e o desenvolvimento de metodologia e de ferramentas computacionais de apoio ao projeto conceitual de produtos neste domínio, constituindo-se, assim, nos propósitos aplicados da presente tese.

Nesse sentido, este capítulo apresenta-se como contribuição à sistematização do projeto conceitual de componentes de plástico injetados, visando à sua operacionalização através de ferramentas computacionais. Para tal, conforme as diretrizes anteriores, estabelece-se uma caracterização das principais informações do domínio de produtos de plástico injetados e uma sistematização dos métodos de projeto adotados para a concepção de produtos nesse domínio. A concepção e a implementação das ferramentas computacionais de apoio ao projeto conceitual de produtos de plástico injetados, conforme a metodologia proposta neste capítulo, serão descritas no CAPÍTULO 6.

Diante dos propósitos anteriores e considerando a abrangência do domínio de produtos de plástico injetados, o presente capítulo focaliza parte de seus estudos para o projeto de gabinetes moldados por injeção. Isso inclui, por exemplo, a caracterização dos principais tipos de gabinetes, dos requisitos para o projeto de gabinetes, das típicas funções de gabinetes e da natureza do projeto de gabinetes moldados por injeção. Demais informações sobre recomendações típicas para o projeto de produtos de plástico injetados, ciclo de vida de produtos de plástico injetados e clientes do projeto de produtos de plástico injetados são desenvolvidas de maneira genérica, porém consideradas válidas, também, para o projeto de gabinetes injetados.

Sobre a metodologia de projeto, estabelecem-se, inicialmente, os métodos adotados para a concepção de gabinetes moldados por injeção, considerando as abordagens clássicas de metodologias de projeto. Os métodos propostos são: **questionário estruturado**, para o estabelecimento das necessidades de projeto; **"casa da qualidade"**, para o estabelecimento dos requisitos de projeto; **síntese de funções**, para o estabelecimento das funções do produto; **matriz morfológica**, para o estabelecimento de concepções alternativas para o produto e **avaliação**, para a avaliação de concepções alternativas do produto.

Embora os métodos, sendo propostos, sejam aqueles conhecidos na literatura de projeto de engenharia, está-se interessado, conforme os objetivos da presente tese e os estudos realizados nos capítulos precedentes, na **evolução** de métodos para a concepção de produtos, através de suas orientações a dado domínio de aplicação e da implementação prática de seus procedimentos. Em outras palavras, pretende-se contribuir, através de ferramentas computacionais resultantes, para a prática efetiva do projeto conceitual de produtos.

Decorrentes dessas estratégias, as contribuições particulares pretendidas na presente tese concentram-se, nesse capítulo, na preparação da metodologia proposta para a informatização. Incluem-se, aí, a sistematização das informações do domínio de aplicação, voltada, principalmente, à implementação de base de dados de projeto, e a sistematização dos procedimentos dos métodos considerados, voltada, principalmente, à implementação de funcionalidades em ferramentas computacionais. Como resultado dessas contribuições particulares, pretende-se a proposição de ferramentas computacionais práticas de apoio à concepção de componentes de plástico injetados.

As ferramentas computacionais propostas deverão simular, na forma de ferramentas facilitadoras do processo, cada um dos métodos considerados. Assim, para o estabelecimento das necessidades de projeto de produtos de plástico injetados, sob o método de questionário estruturado, implementa-se o programa denominado de DEFNEC (programa de auxílio à DEFinição de NECcessidades de projeto); para o estabelecimento dos requisitos de projeto de produtos de plástico injetados, sob o método da "casa da qualidade", implementa-se o programa denominado de QFD (Quality Function Deployment); para o estabelecimento das funções de produtos de plástico injetados, sob o método de síntese de funções, implementa-se o programa denominado de PRODEF (PROgrama de auxílio à DEfinição das Funções do produto); para o estabelecimento das concepções de produtos de plástico injetados, sob o método da matriz morfológica, implementa-se o programa denominado de MMORF (Matriz MORFológica); e, para a avaliação das concepções alternativas para produtos de plástico injetados, sob o método de valoração, implementa-se o programa denominado de MAVAL (Matriz de AVAliação). Ao conjunto destes programas deu-se o nome de SACPRO (Sistema de Apoio à Concepção de PROdutos).

A evolução das ferramentas propostas é pretendida na forma de sistemas especialistas de apoio à decisão dos projetistas em cada fase do projeto conceitual, o que implica, em parte, a consideração cada vez mais estreita do domínio de aplicação. Nesse caso, em função da complexidade dos processos de concepção do produto, o "domínio de implementação" de sistema especialista deve ser considerado sob procedimentos particulares de cada método adotado. Assim, por exemplo, ao invés de considerar a implementação de um sistema especialista para o estabelecimento das necessidades de projeto ou das funções do produto, deve-se considerar o desenvolvimento de sistemas especialistas para apoiar a decisão na "seleção de questões para preparar os questionários estruturados", ou na "identificação das funções de produtos de plástico injetados". Sob esta estratégia são apresentadas algumas proposições

teóricas para o desenvolvimento de sistemas especialistas de apoio à concepção de produtos de plástico injetados, conforme descritas no CAPÍTULO 6.

5.2 - Gabinetes moldados por injeção de plástico

Os produtos de plástico injetados apresentam-se sob os mais variados tipos e para as mais variadas aplicações, conforme pode ser observado em catálogos de produtos, de um modo geral ([66], [67]). Considerando sua estrutura, duas categorias principais podem ser distinguidas: "produto único" e "parte de sistema técnico". Sob tais categorias, ainda, podem ser considerados aqueles de um "único componente" e aqueles de "múltiplos componentes". Dessa maneira, propõe-se uma classificação geral de produtos de plástico injetados, conforme a FIGURA 5.1.

Particularmente, na presente tese, está-se interessado no projeto conceitual de gabinetes moldados por injeção que, conforme a FIGURA 5.1, são partes de dado sistema técnico e, em geral, constituem-se de múltiplos componentes. Incluem-se, aí, por exemplo, gabinetes de telefones, medidores eletrônicos, impressoras, monitores, calculadoras eletrônicas, etc.

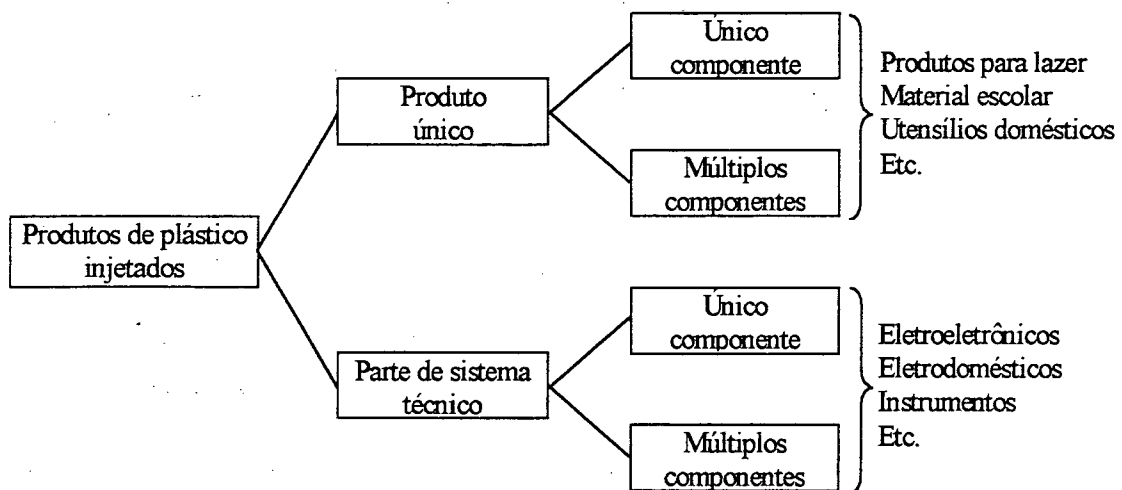


Figura 5.1 - Classificação geral de produtos de plástico injetados.

Os gabinetes são empregados, normalmente, para o enclausuramento e a proteção dos componentes e/ou mecanismos internos de dado sistema técnico. No inglês, têm sido empregados os termos "case, container, box" para estas funções. São constituídos, em geral, de duas ou mais partes, cada qual com diferentes funções e podem ser configurados de várias maneiras, sendo aquelas típicas, conforme a FIGURA 5.2.

De acordo com a FIGURA 5.2, o gabinete do tipo *frame* é constituído de dois elementos principais: uma base (ou *frame*) e uma cobertura (ou *capa*). A base destina-se, em geral, á

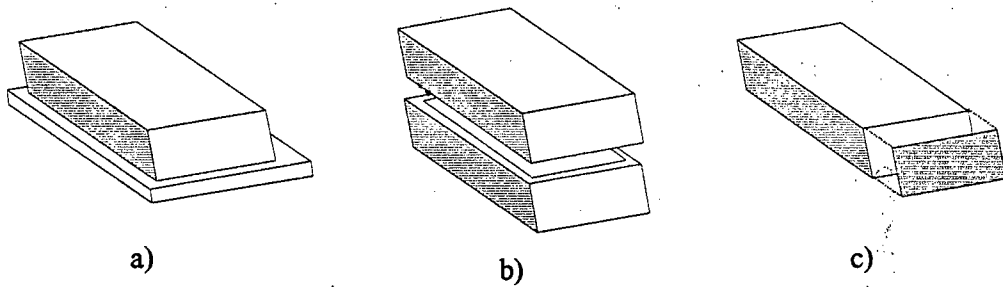


Figura 5.2 - Principais configurações de gabinetes. (a) tipo *frame*, (b) bipartido (c) tipo gaveta. (adaptado de TRYLINSKI [68]).

fixação e sustentação de grande parte dos componentes e/ou mecanismos do sistema técnico. Já a cobertura destina-se ao enclausuramento final das partes do sistema sem, em geral, fins estruturais, mas com funções como proteção, vedação, estética, comunicação, entre outras. Esses tipos de gabinetes são empregados, por exemplo, para vídeos de TV ou de computadores, impressoras, aparelhos eletrodomésticos, etc.

Os gabinetes bipartidos, FIGURA 5.2 (b), são empregados para a grande maioria dos instrumentos eletroeletrônicos, tais como calculadoras, medidores em geral, aparelhos de som, filmadoras, câmeras fotográficas, telefones, entre outros. Nesse caso, ambas as partes têm funções estruturais, além de proteção, estética, ergonômica, de comunicação, entre outras. Ambas as partes principais são fixadas entre si, na maioria dos casos, através de elementos de encaixe.

Por último, os gabinetes do tipo gaveta, FIGURA 5.2 (c), são empregados, em geral, para instrumentos, na forma de painéis; para aparelhos eletrodomésticos, tais como refrigeradores; acessórios para escritório, tais como armários e arquivos, entre outros. Além das funções estruturais, esses tipos de gabinetes devem permitir o fácil e rápido acesso às partes internas do sistema.

Sob as categorias da FIGURA 5.2, aqueles de maior interesse na presente tese são os gabinetes do tipo *frame* e os bipartidos, por representarem a grande maioria dos gabinetes encontrados nos produtos técnicos de um modo geral.

5.2.1 - Natureza do projeto de gabinetes moldados por injeção

Na literatura de projeto de engenharia encontram-se várias definições para os tipos de projetos normalmente praticados na indústria. Conforme PAHL & BEITZ [12], por exemplo, os projetos podem ser do tipo **original**, **adaptativo** e **variante**. No projeto original, um novo

produto é desenvolvido pela seleção e combinação de princípios de solução e de tecnologias conhecidas ou pela invenção de tecnologias completamente novas. No projeto adaptativo, por sua vez, o princípio de solução do produto existente é mantido, porém sua configuração é modificada, conforme os requisitos de projeto vigentes. Nesse caso, em geral, as modificações são promovidas na geometria do produto, na sua estrutura, na maneira de fabricá-lo, em seus materiais, entre outros aspectos. Por último, no projeto variante, novos produtos são desenvolvidos pelas variações no tamanho e arranjo de componentes ou subconjuntos do produto previamente projetado ou existente.

Embora as definições anteriores, entre outras, contemplem a grande maioria dos tipos de projetos realizados na indústria, incluindo-se aí aquela de moldagem por injeção, elas não expressam muito bem as relações entre o projeto de um gabinete e o projeto das demais partes de um dado sistema técnico. Sobre este aspecto, dois enfoques principais podem ser considerados: o projeto de gabinetes para aplicações gerais e o projeto dedicado de gabinetes. Esses enfoques e suas variações são mostrados na FIGURA 5.3.

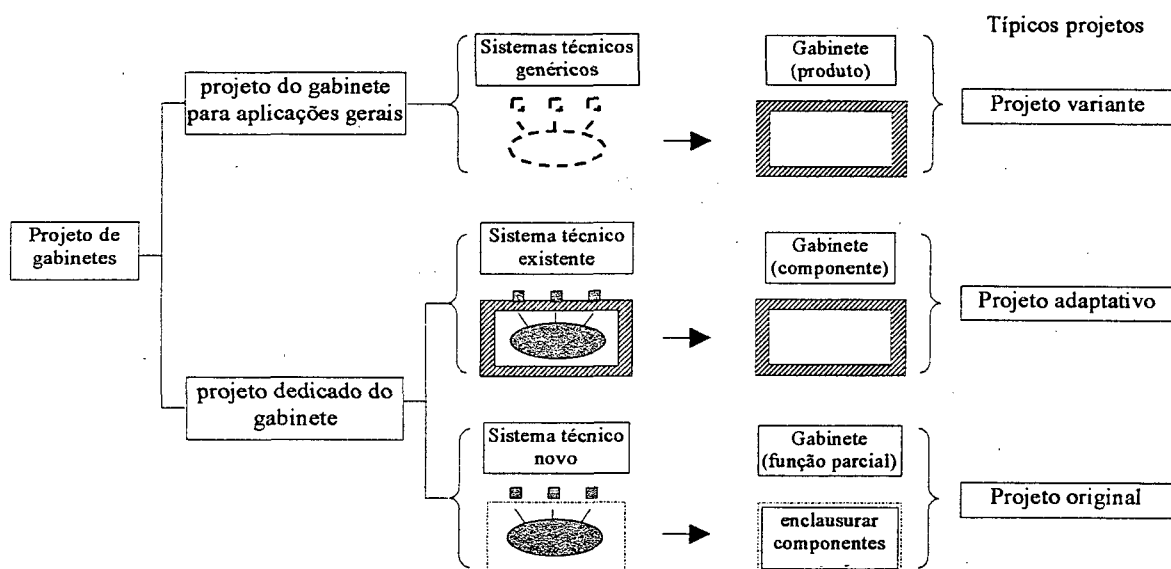
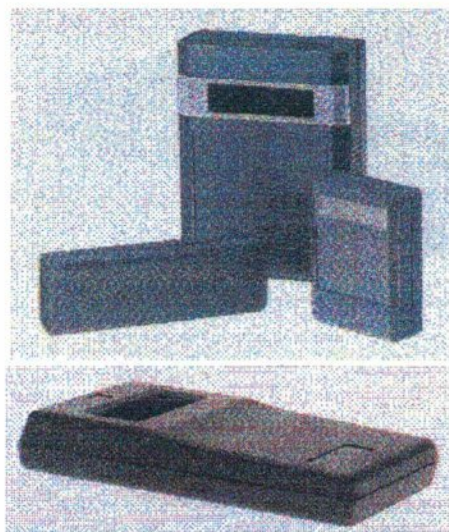


Figura 5.3 - Principais enfoques no projeto de gabinetes moldados por injeção.

No projeto de gabinetes para aplicações gerais, conforme a FIGURA 5.3, o gabinete constitui-se no objeto principal de projeto ou no produto a ser desenvolvido. Nesse caso, a empresa está interessada em soluções que se aplicam a diferentes sistemas técnicos. A FIGURA 5.4 mostra alguns exemplos típicos de gabinetes encontrados no mercado, que são resultados desse enfoque de projeto.

De acordo com as características dos gabinetes mostrados na FIGURA 5.4, verifica-se que as soluções de projeto são influenciadas por elementos como baterias, dispositivos de



Características gerais:

- Gabinetes moldados em ABS para dispositivos manuseados manualmente.
- São disponíveis em diferentes tamanhos e estilos.
- Dispõem de compartimento para baterias, colunas para a montagem de teclados e aberturas para a montagem de *displays*.
- São montados por encaixe com um parafuso de segurança.

Características gerais:

- Gabinete de duas partes moldadas em poliestireno de alto impacto.
- Aplicado a instrumentos verificadores, teclados, etc.
- Dispõe de uma abertura para a unidade de exibição.
- Dispõe de compartimento para baterias e possibilita a montagem de teclado em sua parte superior.

Figura 5.4 - Exemplos de gabinetes para aplicações gerais [66].

exibição, teclados, conexões, entre outros, cujas especificações (dimensões, meios de fixação, interfaces, entre outros) podem ser diversas. Neste caso, a generalidade nas soluções pode ser obtida sob os conceitos e princípios de projeto variante, incluindo projeto de produtos de tamanho seriado e modulares.

No caso de projetos dedicados, consideram-se duas situações principais: projeto (reprojeto) do gabinete para um sistema técnico existente e projeto do gabinete para um novo sistema técnico. No primeiro caso, tipicamente de projeto adaptativo (substituição de materiais, redimensionamento da estrutura, etc.), o gabinete constitui-se num componente do sistema técnico que deve ser melhorado. As demais partes do sistema técnico, em princípio fixas, constituem-se em restrições ou requisitos conhecidos ao projeto do gabinete (pontos de fixação de uma placa de circuito integrado, por exemplo). Nesse caso, os interesses principais no projeto do gabinete estarão voltados para soluções com melhor desempenho, econômicas, de entrega mais rápida, entre outras.

Por último, no projeto de um novo sistema, o gabinete é considerado uma função parcial (tipicamente enclausurar componentes) do sistema técnico para a qual várias soluções podem ser desenvolvidas. As restrições ou os requisitos de projeto, considerando as demais partes do sistema técnico, podem variar dependendo dos interesses considerados. Em muitos casos, ainda, estes requisitos devem ser determinados. Os interesses nas soluções de projeto, tais como desempenho, economia e tempo de entrega, são igualmente importante àqueles anteriores, porém tem-se aqui maior oportunidade para a inovação do gabinete, seja em suas funções, no seu *design*, em sua ergonomia, métodos de fabricação, materiais adotados, entre outros aspectos. Princípios de projeto original se aplicam bem para esta situação.

Considerando os enfoques anteriores, está-se interessado no projeto dedicado de gabinetes, principalmente aquele sob o projeto de novos sistemas técnicos. Esse tipo de projeto, além de mais abrangente e flexível na proposição de soluções conceituais para o gabinete, possibilita a exploração, em maiores detalhes, de métodos e de ferramentas para o projeto conceitual de produtos. Dessa maneira, a proposição e o desenvolvimento de metodologia e de ferramentas computacionais de apoio ao projeto conceitual de gabinetes moldados por injeção devem:

- integrar o projeto do gabinete ao projeto do sistema técnico;
- estar sujeitos às restrições das partes internas do sistema técnico;
- possibilitar projetos originais;
- dar ênfase às funções do gabinete;
- estar sujeitos às restrições de fabricação (moldabilidade das partes do gabinete); e
- estar sujeitos às restrições econômicas e de tempo.

5.2.2 - Requisitos para o projeto de gabinetes

Considerando a natureza dos gabinetes e suas principais aplicações, o projeto de gabinetes é desenvolvido sob uma série de requisitos particulares. Alguns, entre aqueles mais importantes, considerando TRYLINSKI [68], são:

- **proteção contra influências nocivas do meio ambiente:** evitar a danificação do sistema causada por quedas, batidas de outros objetos, etc., quando o sistema está sendo manipulado no transporte, na utilização, na manutenção, entre outros; proteger, durante a utilização do sistema, contra influências nocivas, tais como poeiras, líquidos, umidade, calor, pressão, vibrações, ruídos, campos elétricos, campos magnéticos, etc.;
- **proteção contra as danificações causadas por pessoas não autorizadas:** em geral, os aparelhos eletroeletrônicos, de medição, eletrodomésticos, entre outros, são sensíveis, frágeis, de alta tecnologia, e requerem pessoas habilitadas para o serviço e manutenção de suas partes internas. Nesses casos, os gabinetes, além de outras funções, devem possibilitar soluções que evitem o acesso às partes internas de pessoas não autorizadas. Isso pode ser configurado de várias maneiras, tais como, uso de lacres, fixações que utilizam ferramentas especiais, fixações por material (colas, soldas), entre outras;
- **aparência estética:** muitos aparelhos constituem-se de sistemas do uso diário das pessoas, tais como eletrodomésticos, rádios, videocassetes, televisores, computadores, telefones, etc., de modo que sua aparência não deve provocar desagrado, constrangimento ou insatisfação. Nesse sentido, os gabinetes, como as partes externas do sistema técnico, que se relacionam diretamente com os sentidos das pessoas, têm a função de “expressar” uma aparência agradável, podendo ser realizada através de formas, cores, texturas, leiaute dos componentes, entre outros;
- **ser leve:** grande parte dos instrumentos e aparelhos são manuseados com frequência pelas pessoas, seja no transporte ou no seu próprio uso. Adicionalmente, muitos instrumentos de medição, por exemplo, são manuais, para medições em campo e muitos outros são empregados em sistemas como aeronaves. Nesses casos, o peso do gabinete, como parcela do peso do sistema total, é um requisito representativo e pode comprometer o projeto. Esse requisito pode ser atendido de várias maneiras, dentre as quais as dimensões e o material empregado no gabinete. Isso, por outro lado, provoca um compromisso com os requisitos de resistência e da manufatura, os quais devem ser cuidadosamente analisados. A redução da espessura da parede, por exemplo, visando reduzir o peso do gabinete, reduz, também, sua rigidez e resistência e dificulta o processo de injeção (mais pressão e força de fechamento do molde). Para problemas de transporte, outra alternativa que pode ser empregada é através da configuração modular do produto e, como consequência, do gabinete; dessa maneira, o transporte pode ser realizado por módulos (empregado em alguns tipos de aparelhos de som);

- **permitir fácil acesso aos controles:** as pessoas operam os instrumentos e aparelhos através de seus controles, em geral, externos. Estes, por sua vez, são disponibilizados através das paredes do gabinete. Nesse sentido, o gabinete deve possibilitar, seja através de suas dimensões ou formas, que, por exemplo, o arranjo e o acesso aos controles seja ergonômico.
- **facilitar a informação ao usuário:** além da ergonomia do ponto de vista da manipulação física, o gabinete apresenta funções de informação ao usuário, através de cores, letreiros, textura, entre outros. Nesses casos, as dimensões, a geometria, as formas, os materiais, entre outros, podem ser empregados como meios de solução;
- **ser fácil de montar/desmontar:** em instrumentos e aparelhos, de um modo geral, existe uma série de funções relacionadas ao uso do sistema, tais como troca de baterias, regulagens, etc. Nesses casos, o acesso às partes internas do sistema, através do gabinete, deve ser facilitado. Isso pode ser obtido pelo tipo de gabinete empregado, pela geometria e/ou formas do gabinete, pela natureza das fixações, entre outros;
- **ser de baixo custo:** os custos dos gabinetes, no caso de moldagem por injeção, estão associados, em grande parte, aos custos do molde. A viabilidade econômica será obtida dependendo da quantidade de peças produzidas (lotes econômicos encontram-se na faixa de milhares de peças (10^5 [68])). Por outro lado, os custos do molde, além daqueles relacionados ao seu material, acabamentos, entre outros, podem ser diminuídos dependendo da concepção do gabinete. Formas mais simples, menor número de partes, redução de aberturas (ou acessos), entre outras, podem representar economias significativas para o produto.

Os requisitos anteriores especificam, em maiores detalhes, a natureza e as influências sobre o projeto de gabinetes. Pretende-se utilizá-los como critérios para a formulação de questões destinadas ao levantamento de necessidades de projeto e verificar se os mesmos são relevantes para o projeto em questão.

5.2.3 - Funções de gabinetes injetados

Os gabinetes, devido à sua constituição e propósitos, apresentam relações com os demais elementos de seu contexto, conforme o modelo proposto na FIGURA 5.5; ou seja, sob dois ambientes principais: um **interno** e outro **externo**.

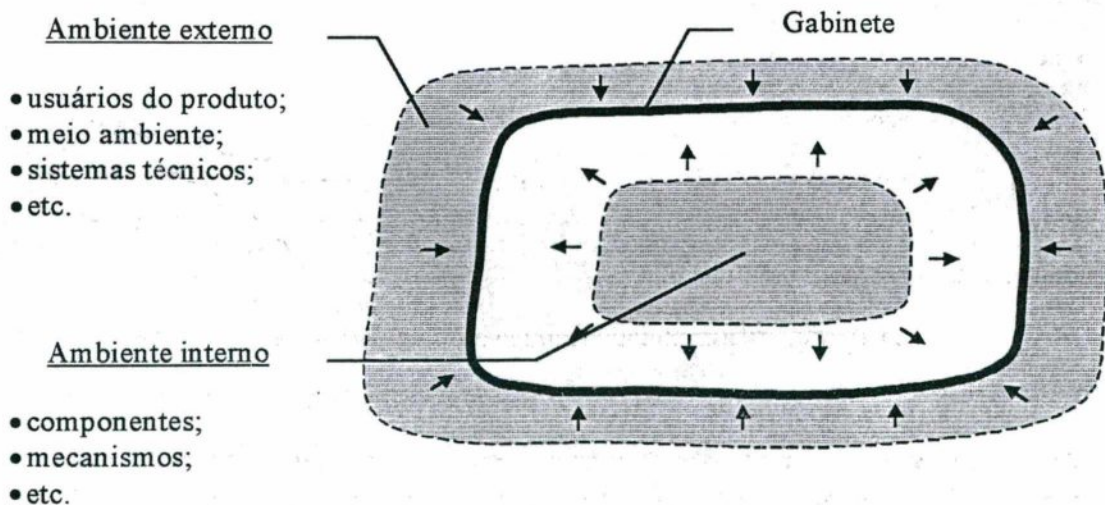


Figura 5.5 - Modelo genérico das relações de um gabinete em seu contexto.

De acordo com a FIGURA 5.5, no ambiente **interno**, incluem-se todos aqueles componentes e/ou mecanismos que são responsáveis pelas funções operacionais do sistema técnico. Há, por exemplo, as placas de circuito impresso, os sistemas de potência, transformadores, fiação, baterias, tubos de imagem, lentes, *displays*, etc. No ambiente **externo**, por sua vez, encontram-se os usuários do sistema técnico, o meio ambiente e os demais sistemas, com os quais o produto, do qual o gabinete faz parte, tem algum tipo de relação. Podem ser, por exemplo, o usuário de um aparelho telefônico, a sala onde o telefone está instalado e o tipo de monofone, respectivamente.

Considerando o modelo da FIGURA 5.5, propõe-se um conjunto inicial de funções para gabinetes moldados por injeção de plástico, as quais se fazem necessárias para que as relações com os elementos de seu contexto sejam estabelecidas. Aquelas funções diretamente observáveis, associadas a um símbolo representativo, são apresentadas na TABELA 5.1. Demais funções, sob a observação e análise de uma gama maior de típicos gabinetes moldados por injeção, deverão ser consideradas em trabalhos futuros.

5.2.4 - Recomendações para o projeto de produtos de plástico injetados

Além dos principais tipos de gabinetes, da natureza do projeto, dos requisitos de projeto e de suas funções, conforme destacados anteriormente, encontra-se na literatura técnica de moldagem por injeção (MALLOY [53], BRALLA [69], BAKERJIAN [70], GORDON [71], REES [72], HARADA [73], ALLIEDSIGNAL [74], etc., por exemplo) uma série de recomendações de projeto que são propostas para melhorar as condições de moldabilidade de componentes injetados, as quais se aplicam, também, ao projeto de gabinetes. Tais recomendações, geralmente apresentadas na forma de exemplos e contra-exemplos, tratam sobre as características dos componentes moldados, incluindo raios de arredondamento, ângulos de saída, tipos de nervuras, espessuras de parede, entre outros. Alguns exemplos dessas recomendações são mostrados na FIGURA 5.6.

De igual importância às recomendações anteriores, em geral, sob o enfoque da geometria do componente injetado, encontram-se regras de projeto para produtos moldados por injeção. Os gabinetes injetados, assim como qualquer outro produto moldado por injeção, devem ser configurados sob determinadas regras para a manufatura. Tais regras são oriundas, em geral, da prática de moldagem por injeção e podem ser obtidas, em parte, na literatura de projeto de produtos de plástico injetados.

Tabela 5.1 - Típicas funções de gabinetes de plástico injetados.

Típicas funções de gabinetes de plástico injetados			
Contexto	Funções (sinônimos)	Símbolo proposto	Características
Relativo aos componentes e/ou mecanismos internos do sistema técnico	Enclausurar (confinar)		Trata-se de uma função principal do gabinete; consiste no confinamento dos componentes e/ou mecanismos do sistema técnico sob um dado ambiente, volume ou estrutura.
	Arranjar (dispor, ordenar)		Trata-se de uma função derivada do enclausuramento cujo propósito é estabelecer uma ordem ou disposição entre componentes e/ou mecanismos internos do sistema técnico.
	Suportar (apoiar)		Trata-se de uma função derivada do arranjo dos componentes e/ou mecanismos internos do sistema técnico cujo propósito é garantir o apoio e a rigidez no contato entre os elementos.
	Fixar (segurar)		Trata-se de uma função derivada do arranjo dos componentes e/ou mecanismos internos do sistema técnico cujo propósito é garantir que as posições dos elementos em contato sejam mantidas.
	Espaçar		Trata-se de uma função derivada do arranjo dos componentes e/ou mecanismos internos do sistema técnico cujo propósito é garantir uma posição particular relativa entre dois elementos.
	Limitar (restringir)		Trata-se de uma função derivada do arranjo dos componentes e/ou mecanismos internos do sistema técnico cujo propósito é restringir o movimento de dado elemento.
	Esconder		Trata-se de uma função derivada do arranjo dos componentes e/ou mecanismos internos do sistema técnico cujo propósito é manter as superfícies livres de restrições físicas.
	Ventilar		Trata-se de uma função derivada da operação do sistema técnico cujo propósito é evitar ou minimizar o aquecimento das partes internas.
	Articular		Trata-se de uma função derivada da operação do sistema técnico cujo propósito é possibilitar o movimento angular relativo entre elementos em contato.
	etc.	--	--
Relativo ao usuário do produto	Conectar/desconectar		Trata-se de uma função derivada da montagem/desmontagem ou uso do sistema técnico cujo propósito é permitir o fácil acesso às partes internas do sistema.
	Posicionar		Trata-se de uma função derivada da montagem do sistema técnico cujo propósito é auxiliar na aproximação e ajuste dos elementos em contato.
	Informar		Trata-se de uma função derivada do uso do sistema técnico cujo propósito é alertar o usuário sobre as características de operação do sistema técnico.
	Expressar (agradar, estimular)		Trata-se de uma função derivada do uso do sistema técnico cujo propósito é caracterizar um ou mais conceitos para o produto.
	Isolar (lacrar)		Trata-se de uma função derivada da montagem e uso do sistema técnico cujo propósito é evitar o acesso não autorizado às partes internas do sistema.
	etc.	--	--
Relativo ao ambiente do produto	Proteger		Trata-se de uma função associada ao enclausuramento e derivada das influências nocivas do meio ambiente cujo propósito é garantir uma operação segura e precisa do sistema técnico.
	Vedar		Trata-se de uma função derivada da proteção do sistema técnico cujo propósito é evitar o fluxo de grandezas prejudiciais ao sistema técnico.
	Reforçar		Trata-se de uma função derivada da proteção do sistema técnico cujo propósito é garantir a integridade estrutural do gabinete.
	etc.	--	--
Relativo aos demais sistemas técnicos que se relacionam com o produto	Integrar		Trata-se de uma função derivada das grandezas ou estruturas dos demais sistemas técnicos com os quais o sistema em questão se relaciona cujo propósito é garantir uma uniformidade conceitual nas soluções propostas.
	Combinar (concordar)		Trata-se de uma função derivada do contato do sistema técnico com os demais sistemas a sua volta cujo propósito é estabelecer estabilidade e uniformidade de forma nas soluções propostas.
	etc.	--	--

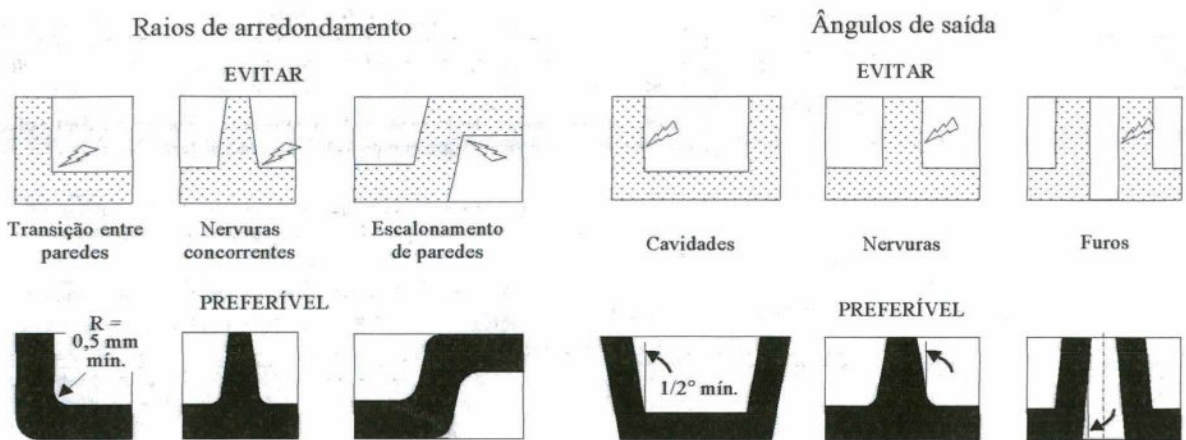


Figura 5.6 - Recomendações típicas aplicáveis ao projeto conceitual de gabinetes moldados por injeção (adaptado de MALLOY [53]).

As regras de projeto de produtos de plástico injetados orientam o projetista sobre a melhor configuração para o componente, quanto ao tipo, arranjo e geometria de seus elementos, tipos de materiais, na determinação dos parâmetros geométricos, entre outros aspectos, visando facilitar o processo de injeção, garantir uma completa moldagem, evitar falhas no componente moldado, facilitar a extração dos componentes do molde, reduzir os custos de produção (custo do molde, custo do material, etc.), entre outros propósitos.

Vários exemplos de tais regras, explicitamente configuradas, podem ser obtidos em PERERA [55]. Outras regras, entretanto, podem ser derivadas das considerações que cada autor apresenta sobre determinado assunto no desenvolvimento de produtos de plástico moldados por injeção. Exemplos de regras explícitas ou derivadas são mostrados na TABELA 5.2.

Além da identificação e sistematização das regras de projeto de produtos de plástico injetados, deve-se considerar a aplicabilidade de tais regras durante o projeto conceitual do produto. Nesse caso, distinguem-se as seguintes aplicações:

- na primeira delas, as regras de projeto fazem parte da experiência do projetista e foram acumuladas durante sua formação, em projeto de moldagem por injeção ou pela prática no desenvolvimento de produtos injetados. Tais regras são aplicadas durante a proposição de determinadas soluções conceituais para o produto e/ou suas partes. Em geral, a aplicação das regras, sob este enfoque, não é diretamente observável, ou ocorre "mecanicamente";
- noutra forma, as regras de projeto podem ser aplicadas sistematicamente na verificação das soluções de projeto, seja através de base de dados, *checklist*, ou sistema especialista, para modificar a geometria ou outras características do produto, corrigindo-as, se necessário.
- Por último, as regras de projeto de produtos de plástico injetados podem ser aplicadas na forma de "soluções conceituais" para o componente. Nesse caso, além das soluções de natureza física, geométrica, entre outras, associa-se à concepção do componente um conjunto de regras voltadas à manufatura, as quais orientarão as demais fases do desenvolvimento do produto. Associa-se, dessa forma, o "conhecimento" da manufatura à concepção do produto.

Tabela 5.2 - Regras de projeto de produtos moldados por injeção de plástico.

Exemplos de regras de projeto de produtos moldados por injeção		
Fonte	Considerações	Regras de projeto
MALLOY [53], p. 15	"(...) o projetista deve geralmente indicar as posições no componente onde os pontos de injeção não podem ser colocados por razões estéticas. (...) é geralmente recomendado considerar os conhecimentos do projetista do molde nas fases iniciais do projeto do componente. Desse modo, o projetista do componente e o projetista da ferramenta podem trabalhar juntos em decisões críticas associadas à configuração dos pontos de injeção do componente (...)"	<u>Regra 1:</u> "a localização dos pontos de injeção deve ser tal que não comprometa a estética do produto". <u>Regra 2:</u> "a localização dos pontos de injeção deve ser decidida em comum acordo entre o projetista do componente e o projetista do molde". etc.
PERERA [55], p. 293	Transições entre paredes	<u>Regra 1:</u> "todas as transições de paredes devem apresentar raios de arredondamento. Em geral, esses raios devem ser maiores do que 0,5 mm". etc.
BRALLA [69], p. 6-23	Furos, nervuras	<u>Regra 1:</u> "o espaçamento mínimo entre dois furos ou entre um furo e uma parede deve ser equivalente ao diâmetro do furo". <u>Regra 2:</u> "as nervuras devem ser perpendiculares à linha de partição para permitir a remoção do componente do molde". etc.
REES [72], p. 35	Espessura de parede	<u>Regra 1:</u> "um componente moldado deve apresentar uniformidade na espessura das paredes". etc.
HARADA [73], p. 146	Custo do molde	<u>Regra 1:</u> "deve-se evitar cantos vivos nos castelos, por acarretarem maior custo na confecção do molde". etc.
ALLIEDSIGNAL [74], p. II-3	"(...) os ângulos de saída são necessários para a ejeção dos componentes do molde. Ângulos de saída recomendados são de 1° para paredes e 1/2° para nervuras. (...) onde é desejável mínimos ângulos de saída, recomenda-se um bom acabamento superficial do molde e a profundidade não deve exceder a 15 mm".	<u>Regra 1:</u> "todos os componentes moldados devem apresentar ângulos de saída". <u>Regra 2:</u> Se os ângulos de saída devem ser mínimos, Então o molde deve apresentar bom acabamento superficial e a profundidade da cavidade não deve exceder a 15 mm". etc.
BAKERJIAN [70], p. 15-7	"(...) Um recorte é definido como uma protuberância ou uma indentação que impede a remoção em linha reta do componente moldado. Roscas internas e externas são típicos exemplos de recortes. (...) muitos recortes devem ser produzidos utilizando projetos de ferramentas complicados, tornando-as caras e de difícil manutenção (...)"	<u>Regra 1:</u> "em geral, reduzindo o número de recortes necessários no componente, reduz-se o custo da ferramenta de moldagem". etc.

De acordo com as situações anteriores está-se interessado, na presente tese, na aplicação de regras para o projeto de produtos moldados por injeção de plástico, na forma de "soluções conceituais" para o componente. Para tal, deve-se promover, além da sistematização de um conjunto de regras adequado ao domínio em estudo, meios para considerá-las durante a concepção do produto. Conforme será visto no item 5.3.4, tais meios são propostos na forma de "funções especiais" de projeto do componente injetado.

5.2.5 - Ciclo de vida de produtos de plástico injetados

Todos os produtos, independentemente de sua natureza ou características, têm um determinado ciclo de vida. Este, por sua vez, pode ser considerado sob dois enfoques principais: o econômico e o de transformação. No primeiro caso, os modelos do ciclo de vida do produto expressam, em geral, as relações entre vendas/lucro e o tempo de permanência do produto no mercado ([1], [12]). Esses modelos podem ser empregados, por exemplo, para estabelecer estratégias de desenvolvimento de produtos, tais como as relações entre investimento e lucro, o melhor período para o lançamento de novos produtos, entre outras.

Sob o enfoque de transformação, aquele de interesse na presente tese, o ciclo de vida do produto, é entendido como sendo as fases pelas quais o produto passa desde as necessidades do mercado até o fim de sua vida útil, quando deverá ser eliminado. Nesse caso, os modelos propostos estabelecem os principais estados do produto, desde aquele na forma de informações de projeto até aquele na forma de material reciclado ou sucata. Esses modelos são adequados para obter informações úteis ao desenvolvimento do produto, tais como os interesses das pessoas envolvidas com o produto durante sua vida útil, os recursos necessários ao desenvolvimento do produto, os requisitos para a utilização e manutenção do produto, entre outras. Em outras palavras, as fases do ciclo de vida do produto e suas características são empregadas, durante o projeto, para prever ou simular os estados futuros do produto, visando desenvolvê-lo com funções e características otimizadas.

Sob o enfoque de transformação, o ciclo de vida do produto é modelado de várias maneiras ([12], [3], [16], [34]), incluindo elementos como processos de transformação, fluxos de informação e fluxos de materiais. Em geral, os modelos que têm sido propostos são semelhantes entre si e diferem no detalhamento e arranjo das fases estabelecidas.

Na presente tese, está-se interessado em utilizar o ciclo de vida do produto como base para a identificação e sistematização de informações para o projeto conceitual de gabinetes, tais como clientes de projeto, questões de projeto, entre outras. Dessa maneira, propõe-se um modelo genérico para o ciclo de vida de produtos de plástico injetados, conforme a FIGURA 5.7.

De acordo com a FIGURA 5.7, o produto de plástico começa a "existir" a partir de estímulos oriundos do ambiente de desenvolvimento, que inclui, além do mercado consumidor, em geral, as indústrias de produtos, principalmente aquelas do setor de eletroeletrônicos e eletrodomésticos, os fabricantes de ferramentas e as indústrias moldadoras. Os estímulos, tais como a situação dos produtos das empresas e de seus concorrentes no mercado, a identificação

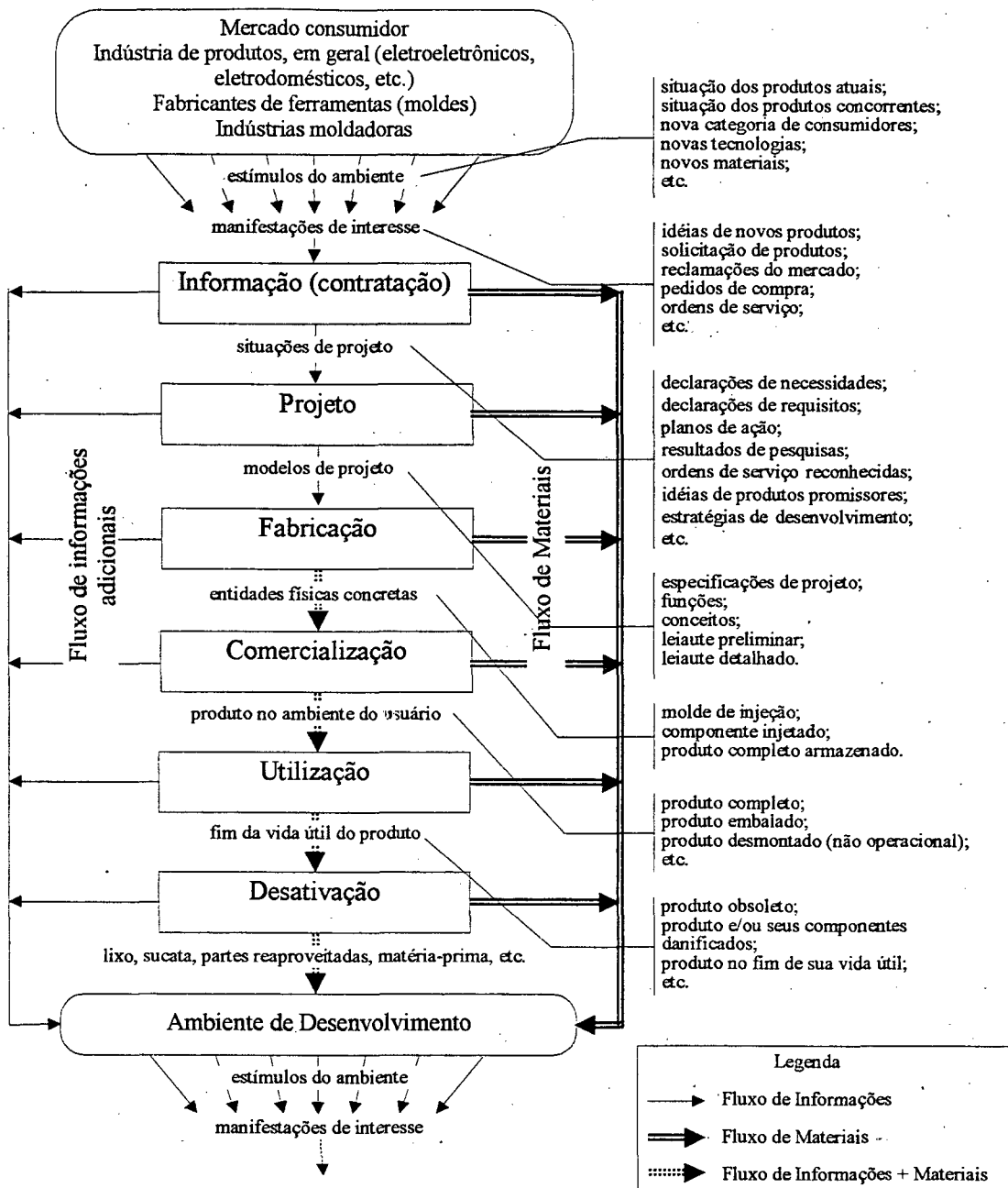


Figura 5.7 - Ciclo de vida para produtos de plástico injetados.

de novos consumidores, o surgimento de novas tecnologias ou materiais, entre outros, ativam, ou não, o interesse das pessoas daquele ambiente em realizar algo que, no caso, pode ser um produto ou serviço. Esses estímulos são capturados pelos sentidos das pessoas e são convertidos, ou não, em diferentes tipos de manifestações de interesse, tais como idéias para novos produtos, solicitações de determinados tipos de produtos, reclamações, pedidos de compra, ordens de serviço, entre outras. Ou seja, o produto "existe" na forma de interesses dos clientes do projeto.

Na forma de manifestações de interesse não há "garantias" de que o desenvolvimento efetivo do produto irá ocorrer, mesmo que estas sejam estabelecidas na forma de solicitações de

projeto, pedidos de compra ou ordens de serviço. Para tal, faz-se necessária uma fase do ciclo de vida, denominada aqui de **Informação (ou contratação)**. Nessa fase são conduzidos todos aqueles processos para a percepção, o entendimento, o reconhecimento das situações que emergirão das manifestações de interesse e o aceite destas na forma de **situações de projeto**.

As situações de projeto representam o estado inicial e formal das informações de projeto, propiciando o início de processos de planejamento e de solução. Elas podem apresentar-se na forma de declarações de necessidades, de requisitos, planos de ação, resultados de pesquisas, ordens de serviço reconhecidas, idéias de produtos promissores, estratégias de desenvolvimento, entre outros, que indicam a natureza ou o tipo de projeto a ser desenvolvido.

No caso de produtos de plástico, conforme foi descrito no item 5.2.1, FIGURA 5.3, está-se considerando o projeto de gabinetes dedicado na forma de uma função parcial de um novo sistema técnico sendo projetado. Portanto, as situações de projeto tratam, além do sistema técnico como um todo, dos aspectos relacionados ao projeto do gabinete.

Diante das situações de projeto, do reconhecimento e do aceite (um determinado contrato, por exemplo) do projeto a ser desenvolvido, iniciam-se processos para “materializar” o produto e torná-lo concreto. Constitui-se, inicialmente, uma fase do ciclo de vida, de maneira abrangente, denominada de **Projeto**, em que o produto “existirá” ou será estabelecido na forma de informações de desenvolvimento, sob vários níveis de complexidade e completeza. Nessa fase, o produto é concebido, analisado, detalhado, sendo expresso através de **modelos de projeto**, os quais possibilitam tomar decisões sobre a continuidade, ou não, do desenvolvimento e viabilizarão, ou não, a realização física do produto. Em outras palavras, nesta fase, o produto será, ou não, qualificado tecnicamente para a sua realização, conforme os problemas estabelecidos na fase de informação, sob os seguintes modelos principais: especificações de projeto, funções do produto, concepções para o produto, leiaute preliminar e leiaute detalhado. Esses modelos tratam tanto do produto, ou sistema técnico, como um todo, quanto do(s) componente(s) de plástico injetado(s).

No caso de produtos de plástico injetados, essa fase do ciclo de vida envolve, também, o projeto do molde, pois a realização física do produto injetado está diretamente relacionada à realização da ferramenta. Portanto, os modelos de projeto enumerados anteriormente também se referem ao projeto do molde.

Para que o produto torne-se concreto e utilizável, é necessário que os modelos de projeto sejam convertidos em entidades físicas com formas e funções definidas. Dessa maneira, inicia-se a fase de **Fabricação**, na qual as informações de projeto, em particular os leiautes detalhados,

são transformadas em **entidades físicas concretas**. Particularmente, no caso de produtos de plástico injetados, como partes de sistemas técnicos, a fase de fabricação divide-se em três subfases principais: fabricação da ferramenta, fabricação do componente injetado e fabricação do sistema total, resultando, em ordem, no molde de injeção, no componente injetado e no produto completo disponível para a comercialização.

Na subfase de fabricação do componente, em particular, consideram-se processos dedicados, tais como a injeção do componente de plástico, o pós-processamento do componente, a verificação e montagem dos componentes injetados, entre outros. Esses processos podem, ou não, ser conduzidos na empresa que desenvolve o produto. Em geral, são processos contratados. Inclui-se, também, nesse escopo, a fabricação do molde de injeção.

Para a grande maioria das empresas o produto completo não é entregue diretamente ao usuário final ou consumidor. São necessários vários subprocessos até que o produto esteja em seu estado de uso, ou seja, disponível no ambiente do usuário. Nesse sentido, o produto, em sua forma física, acompanhado de informações (de uso, manutenção, garantia, etc.), passa por uma fase denominada aqui genericamente de **Comercialização**. Nesta fase, independentemente de suas especificidades, o produto sai da empresa para chegar ao usuário final. Em geral, inicia-se pela venda, passa pela distribuição, em lojas ou revendedoras, e termina como um **produto no ambiente do usuário**, na forma de produto completo, embalado e desmontado (não operacional).

No caso de produtos de plástico como parte de sistemas técnicos, a comercialização do componente de plástico, em particular, poderá ocorrer em função da manutenção ou assistência técnica do produto total (troca de componentes, por exemplo).

Sob os domínios e controle do usuário, o produto encontra-se em seu estado de uso, ou seja, pronto para ser aproveitado em seus benefícios. Inicia-se, então, a fase de **Utilização** do produto propriamente dita, em que o produto deverá cumprir as funções para as quais foi desenvolvido. Nessa fase, o produto deve ser montado, instalado, testado, entre outros, visando torná-lo operacional.

Em particular, sobre as partes de plástico, durante a utilização do produto, deve-se considerar a natureza e o grau de comprometimento que elas apresentam sobre o funcionamento do produto. Se forem críticas, além de soluções conformes, devem ser especificadas ações especiais para as mesmas.

O fato de o produto estar, em dado momento, sob os domínios e controle do usuário final não implica o completo descompromisso do sistema de produção e de comercialização daquele

produto. É necessário, durante sua vida útil, que haja assistência ao usuário, além de processos para mantê-lo operacional, ou garantir o seu uso. Surgem, daí, diversos serviços de responsabilidade da empresa e/ou do sistema de comercialização, tais como manutenção, assistência técnica, serviços ao consumidor, apoio logístico, etc. Em particular, para partes de plástico, incluem-se a existência de peças de reposição e a facilidade de aquisição e de substituição destas.

O fim da fase de utilização, embora difícil de defini-lo precisamente, termina com o **fim da vida útil do produto**, principalmente com relação às suas principais propriedades e funcionalidades. Alguns indicativos deste estado são o grau de obsolescência do produto, perda de eficiência, custo operacional elevado, produto ou partes danificadas, etc.

A partir de então, iniciam-se vários outros processos com o propósito de eliminar (ou substituir) aquele produto ou suas partes. Inicia-se, neste caso, uma fase de **Desativação**, em que o produto será disponibilizado para descarte ou reaproveitamento. O término dessa fase pode se dar de várias maneiras e, em geral, ocorre na forma de **lixo, sucata, partes reaproveitadas ou recicladas e na forma de matéria-prima** através de demais processos de conversão. Tais saídas são disponibilizadas novamente ao ambiente de desenvolvimento do produto e poderão, ou não, provocar novos estímulos às pessoas daquele ambiente.

Em particular, no caso de partes de plástico, deve-se considerar, na fase de desativação, princípios para a desmontagem, além do uso de materiais recicláveis.

Nota-se, ainda, que, sob cada uma das fases estabelecidas na FIGURA 5.7, existem fluxos de informações e de materiais para o ambiente de desenvolvimento do produto. Tais fluxos representam saídas secundárias dos processos sendo executados em dado momento da vida do produto, que podem originar, ou não, novos estímulos a partir do ambiente de desenvolvimento, gerando, ou não, novos produtos ou serviços. Podem, ainda, provocar a interrupção do processo de desenvolvimento do produto.

5.2.6 - Clientes do projeto de produtos de plástico injetados

Os clientes do projeto, num sentido abrangente, têm sido estabelecidos de várias maneiras. Particularmente, no domínio de produtos de plástico injetados, eles se apresentam, em geral, na forma de empresas que participam do processo de desenvolvimento do produto ou na forma de profissionais desenvolvedores do produto. Conforme PERERA [55], por exemplo, as principais organizações envolvidas no processo de desenvolvimento de produtos de plástico são:

- **a indústria de produtos, em geral:** aquela que normalmente solicita e/ou conduz o processo de desenvolvimento de um dado produto de plástico injetado. Trata-se, por exemplo, de fabricantes de automóveis, de computadores, de produtos médicos, de eletrodomésticos, de eletroeletrônicos, entre outros;
- **consultores especializados de projeto:** são aquelas organizações especializadas no projeto de produtos de plástico, que realizam desenvolvimentos gerais, de acordo com as especificações e requisitos de seus clientes. Incluem-se, aqui, por exemplo, escritórios de projeto, institutos de pesquisa, associações, etc.;
- **fabricantes de ferramentas:** são aquelas organizações que projetam e fabricam os moldes para a injeção de componentes ou artefatos de plástico. Trata-se das matrizarias, de um modo geral;
- **fabricantes de produtos de plástico:** são aquelas organizações equipadas com máquinas de moldagem por injeção, que produzem os artigos moldados para seus clientes. Trata-se dos moldadores, em geral.

Considerando os profissionais desenvolvedores de produtos de plástico injetados, HANADA & LEIFER [62] destacam, numa abordagem de engenharia sequencial, os típicos profissionais projetistas e suas responsabilidades, ou envolvimento, durante o desenvolvimento de um dado produto de plástico, conforme a FIGURA 5.8.

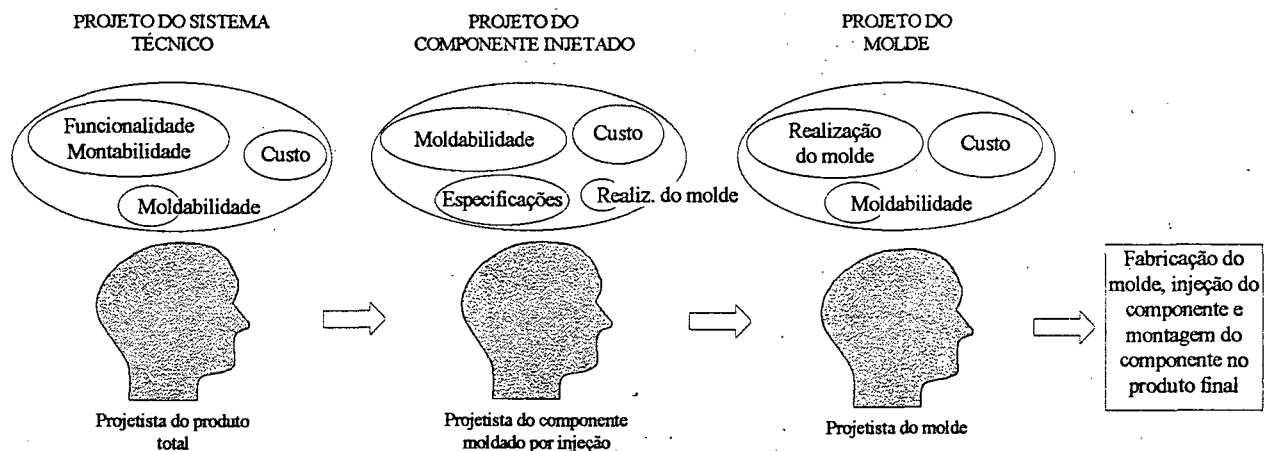


Figura 5.8 - Profissionais de projeto e seus envolvimento no projeto de produtos de plástico injetados (adaptado de HANADA & LEIFER [62]).

O modelo da FIGURA 5.8 retrata os profissionais e a prática usual de projeto em grande parte das empresas desse setor. Ou seja, uma abordagem de engenharia sequencial em que cada profissional trata dos problemas relacionados ao seu domínio de conhecimento. Nesse caso, por exemplo, o projetista do sistema técnico focaliza sua atenção na funcionalidade e montabilidade do componente injetado, relegando, ou desconsiderando, os aspectos de custo e de moldabilidade do componente. Os resultados do projeto são enviados ao projetista do componente injetado que, sendo um especialista no assunto, melhora as características do componente, considerando as especificações de projeto e sua moldabilidade. Concluído o projeto do componente, o projetista do molde projeta-o, considerando seus conhecimentos de realização do molde, incluindo-se aí

soluções para um projeto econômico do molde.

De maneira semelhante à abordagem anterior, WOOD [65] caracterizou alguns dos principais profissionais que participam efetivamente do processo de desenvolvimento de produtos de plástico injetados, incluindo o desenhista industrial, o projetista do produto, o projetista da ferramenta e o engenheiro de processo.

Os desenhistas industriais são especialistas em fatores humanos, ergonomia e estética do produto, tratando diretamente sobre as necessidades dos consumidores. Eles procuram simular o produto, determinar tamanhos, facilidades de uso, entre outros aspectos, visando adequá-lo ao ser humano e melhorar sua vendabilidade. Procuram, também, fazer o produto robusto e seguro, pela incorporação de fatores humanos. O desenhista industrial informa ao projetista do produto e/ou ao projetista da ferramenta sobre as necessidades que devem ser satisfeitas com relação ao *design* do produto.

O projetista do produto desenvolve os componentes, continuando as idéias do desenhista industrial. Aquele deve assegurar que as funções do produto irão satisfazer às necessidades do consumidor. Deve assegurar, também, que não ocorram defeitos de fabricação, incluindo no projeto aspectos sobre as propriedades dos materiais, da ferramenta e do processo de injeção.

O projetista da ferramenta, após o desenhista industrial e projetista do produto terem completado o projeto, adiciona informações que procuram melhorar a moldabilidade do componente, tais como ângulos de saída, raios de arredondamento, espessura de parede, etc. Visa, também, propiciar a facilidade de fabricação do molde.

Por último, os engenheiros do processo, geralmente projetistas com especialização em plásticos e processo de moldagem por injeção, envolvem-se no projeto, recomendando, selecionando, modificando, avaliando e escolhendo os melhores materiais para o produto, incluindo as propriedades de processamento dos materiais.

Nas abordagens anteriores verifica-se que os clientes do projeto são aqueles sob os "domínios" da empresa produtora, seja na forma de organizações contratadas ou de profissionais de desenvolvimento. Trata-se dos clientes internos, conforme a denominação de JURAN [75]. Nota-se pouca ênfase, porém, àqueles clientes relacionados ao mercado do produto, ou seja, ao consumidor ou usuário do produto, aos comerciantes, aos órgãos reguladores, entre outros (clientes externos). Dessa maneira, considerando as abordagens anteriores, propõe-se, conforme a TABELA 5.3, um conjunto mínimo de clientes do projeto de produtos de plástico injetados, cuja caracterização e investigação se faz necessária e indispensável ao desenvolvimento de

Tabela 5.3 - Definição de clientes do projeto de produtos de plástico injetados e suas principais características.

Elementos do ambiente de desenvolvimento	Clientes do projeto	Formas de interação no desenvolvimento do produto	Típicos interesses no desenvolvimento do produto
<p>Mercado de produtos de plástico</p> <p>grupos de interesse, externo às fronteiras da indústria de produtos em geral, que representam as necessidades para a existência de determinado produto, sua comercialização, uso e desativação</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Público em geral: são as pessoas que, em geral, não participam diretamente do processo de desenvolvimento do produto, mas estabelecem determinados padrões culturais e econômicos, os quais devem ser respeitados nas soluções adotadas para o produto. • Usuários do produto: é uma parcela do público em geral que irá comprar e usar o produto com partes de plástico e, portanto, estará sob a influência direta das funções dos componentes de plástico, sejam elas de estética, estruturais, de informação, entre outras. Podem, eventualmente, participar do processo de desenvolvimento do produto, mas, em geral, são representados pelos comerciantes ou pessoal de vendas da empresa. • Comerciantes: parcela representativa do mercado que, em geral, não participa diretamente do processo de desenvolvimento do produto, mas tem influências significativas para seu sucesso. São representados, em geral, pelo pessoal de vendas da empresa. • Fornecedores de matéria-prima: cliente do projeto com interesses comerciais e técnicos sobre o desenvolvimento do produto. Sua participação pode ser direta ou indireta. Quando há necessidade, por exemplo, de novas resinas ou melhoramento das resinas existentes, a participação desse elemento é direta, em geral, através de profissionais especializados, fazendo parte do grupo de desenvolvimento. Por outro lado, no desenvolvimento de produtos com resinas usuais, a participação é indireta, através do comércio da própria resina, das informações técnicas sobre o material. 	<ul style="list-style-type: none"> • participação em pesquisa de mercado promovida pela indústria de produtos em geral; • opiniões e/ou críticas expressas entre as pessoas; • opiniões e/ou críticas expressas através de veículos de comunicação em geral, etc. • opiniões e/ou reclamações ao comércio • opiniões e/ou reclamações ao pessoal da assistência; • opiniões e/ou reclamações ao pessoal de vendas; • opiniões e/ou reclamações ao pessoal do serviço de atendimento ao consumidor; • etc. • pedidos de compra; • reclamações ao vendedor; • especificações técnicas para o produto; • etc. • informações técnicas sobre as propriedades dos materiais; • experiências no processamento de materiais; • sugestões de materiais para determinados tipos de produtos; • etc. 	<ul style="list-style-type: none"> • que os produtos não agridam padrões culturais; • que os produtos não agridam a natureza; • que os produtos estejam ao alcance da capacidade de compra; • etc. • que os produtos sejam viáveis financeiramente; • que os serviços de entrega, instalação e manutenção, sejam adequados; • que o produto cumpra suas funções; • que o produto apresente uma vida útil adequada; • que o produto seja adequado ao ambiente de utilização; • que o produto seja fácil de utilizar; • que o produto não ofereça riscos à saúde; etc. • que o preço do produto seja baixo; • que os prazos de entrega sejam atendidos; • que haja regularidade no fornecimento do produto; • que os produtos apresentem atrativo às vendas; • que os produtos tenham facilidades para a manipulação (embalagem, transporte, etc.); etc. • que os materiais fornecidos sejam aplicados no desenvolvimento do produto; • que o projeto do produto e o processamento do material considere as propriedades do material; • que o produto possa ser desenvolvido com materiais comerciais; • etc.

Tabela 5.3 - Continuação.

<p>Indústria de produtos em geral</p> <p>grupo de interesse principal que desenvolve e gerencia o processo de desenvolvimento do produto, transformando as necessidades do mercado em produtos concretos e lucrativos.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Projetista do produto: cliente do projeto que representa profissionais de várias formações e experiências em projeto de produtos, cujas responsabilidades tratam da condução do processo de desenvolvimento, desde o planejamento das atividades até os testes finais de protótipos e/ou modelos do produto. São responsáveis pela solução de problemas técnicos e da administração do processo de projeto. 	<ul style="list-style-type: none"> • conhecimentos para a condução do processo de desenvolvimento do produto (metodologia); • conhecimentos sobre as funcionalidades do produto e/ou suas partes; • conhecimentos sobre a capacidade estrutural do produto e/ou suas partes; • conhecimentos de modelagem e simulação do produto e/ou suas partes; • conhecimentos sobre a moldabilidade de componentes de plástico injetados; • conhecimentos sobre a aparência do produto e/ou suas partes; • conhecimentos sobre a ergonomia do produto e/ou suas partes; • habilidades de expressão; • conhecimentos sobre a legislação para o produto; etc. 	<ul style="list-style-type: none"> • que o produto satisfaça às necessidades de projeto; • que o produto satisfaça aos requisitos de projeto; • que as soluções de projeto sejam criativas; • que as soluções de projeto sejam simples; • que o produto tenha um <i>design</i> apropriado; • que os prazos de desenvolvimento do projeto sejam satisfatórios; • etc.
	<ul style="list-style-type: none"> • Engenheiro de produção: cliente do projeto que representa profissionais de diversas formações, cujas responsabilidades tratam, principalmente, da transformação das informações de engenharia, ou de projeto, em produtos acabados e prontos para a comercialização. Também são responsáveis pelo gerenciamento dos processos de transformação. 	<ul style="list-style-type: none"> • conhecimentos sobre o processo produtivo; • conhecimentos sobre restrições da manufatura ao projeto do produto; • gerenciamento do processo de produção dos componentes moldados; • etc. 	<ul style="list-style-type: none"> • que o produto e/ou suas partes não apresentem defeitos; • que o produto e/ou suas partes sejam fáceis de fabricar, montar, testar, embalar e armazenar; • que os prazos de produção sejam cumpridos; • que as soluções de projeto possam ser desenvolvidas ao máximo sob os recursos da empresa; • etc.
	<ul style="list-style-type: none"> • Vendedores: clientes do projeto, cujas responsabilidades tratam, principalmente, da colocação dos produtos acabados no mercado. São responsáveis, também, pelas relações entre o mercado e a empresa, traduzindo-as, em geral, na forma de necessidades ou requisitos de projeto. • Consultores de projeto: clientes do projeto, sob a gerência da empresa, embora, em geral, fora de seus domínios físicos, constituídos de profissionais especializados no desenvolvimento de produtos de plástico injetados. 	<ul style="list-style-type: none"> • conhecimentos sobre o mercado e as necessidades dos usuários e comerciantes do produto; • etc. • solução de problemas de engenharia; • análise e simulação de componentes injetados; • etc. 	<ul style="list-style-type: none"> • que os produtos tenham preço de venda acessível; • que os prazos de entrega sejam atendidos; • que os produtos tenham facilidades para a venda; • etc. • que os problemas de projeto sejam bem definidos; • que as informações de projeto sejam fornecidas; • que os prazos para o desenvolvimento sejam adequados; • etc.

Tabela 5.3 - Continuação.

<p>Fabricante de ferramentas grupo de interesse no desenvolvimento do produto que transforma as especificações do componente projetado na forma de ferramenta para injeção</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Projetista do molde: cliente do projeto, em geral, fora dos domínios físicos da empresa, constituído de profissionais especializados na tradução das especificações do componente de plástico em especificações para a fabricação do molde. 	<ul style="list-style-type: none"> • conhecimentos sobre projeto de ferramentas; • conhecimentos sobre materiais de ferramentas; • conhecimentos sobre a moldabilidade de componentes; • conhecimentos sobre fornecedores de componentes para o molde; • conhecimentos sobre custos da ferramenta; • etc. 	<ul style="list-style-type: none"> • que as especificações do componente sejam adequadamente informadas; • que os prazos de desenvolvimento sejam adequados; • que o projeto do componente seja simples; • que o projeto do componente siga as regras de moldagem por injeção; • que o molde possa ser desenvolvido com os recursos da empresa; • etc.
<p>Moldadores grupo de interesse que transforma a matéria-prima em componentes de plástico injetados.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Engenheiro de processo: cliente do projeto, em geral, fora dos domínios físicos da empresa, constituído de profissionais especializados no processamento de materiais plásticos. 	<ul style="list-style-type: none"> • conhecimentos sobre o processo de injeção e as características do equipamento; • conhecimentos sobre materiais plásticos e suas propriedades de processamento; • etc. 	<ul style="list-style-type: none"> • que o volume de produção seja grande; • que o componente possa ser injetado com o equipamento disponível; • que as especificações do componente sejam adequadamente informadas; • que o molde esteja disponível, conforme a programação; • que os prazos de desenvolvimento sejam adequados; • etc.

ferramentas de apoio ao projeto. Inclui-se, nesse escopo, ainda, a maneira pela qual os clientes se relacionam com o desenvolvimento do produto e quais são seus típicos interesses.

Do ponto de vista do processo de desenvolvimento de produtos de plástico injetados, sobretudo em sua fase conceitual, nem todos os clientes do projeto caracterizados na TABELA 5.3 terão uma participação efetiva e direta. Muitos deles serão representados pelos profissionais desenvolvedores do produto, principalmente aqueles da indústria de produtos em geral. Isto também depende da estrutura e recursos da empresa desenvolvedora. Entretanto, sob o enfoque do desenvolvimento de ferramentas computacionais de apoio ao projeto, visando abranger um conjunto mínimo de conhecimentos necessários ao desenvolvimento de dado componente de plástico injetado e implementá-lo na forma de base de dados ou regras de projeto, propõe-se, conforme a TABELA 5.4, uma equipe mínima de desenvolvimento do produto e suas relações com os clientes do projeto.

Tabela 5.4 - Equipe de desenvolvimento de produtos de plástico injetados.

Elementos da equipe de desenvolvimento do produto	Cientes de projeto associados ou representados	Características
Contratante	Público em geral Usuários do produto Comerciantes Vendedores	Pessoa ou profissional responsável pelas manifestações de interesse sobre determinado produto ou problema de projeto, principalmente aqueles oriundas do mercado consumidor.
Projetista do produto	Projetista do produto Consultores de projeto	Profissional responsável pela condução do processo de projeto do sistema técnico e de suas partes, incluindo os componentes moldados por injeção de plástico.
Projetista do molde	Projetista do molde	Profissional responsável pela condução do projeto do molde e pelas restrições ao projeto do componente injetado, visando à facilidade de fabricação e baixos custos do molde.
Engenheiro de produção	Engenheiro de produção Fornecedor de matéria-prima Engenheiro de processo	Profissional responsável pela fabricação do molde, injeção do componente de plástico e configuração do sistema técnico, disponibilizando-o para a comercialização.

Os profissionais considerados na TABELA 5.4 formarão base para identificar, sistematizar e implementar os conhecimentos mínimos necessários ao desenvolvimento de produtos de plástico injetados, seja na forma de base de dados ou de regras de projeto. Além de desenvolvedores do produto, eles representam as fontes de informações e de soluções durante os principais processos de desenvolvimento do produto, conforme será considerado, na metodologia que se segue.

5.3 - Metodologia para a concepção de produtos de plástico injetados

Considerando os estudos anteriores, a proposição e o desenvolvimento de metodologia de projeto de produtos de plástico injetados, com enfoque no projeto conceitual de gabinetes moldados por injeção, devem levar em conta as seguintes considerações:

- uma metodologia de projeto consiste num sistema de métodos de projeto;
- os métodos de projeto são constituídos de conjunto de procedimentos que promovem a evolução (transformação) de informações de projeto;
- as prescrições da metodologia de projeto devem ser traduzíveis em funcionalidades de ferramentas computacionais;
- cada método de projeto deve ser associado a uma dada ferramenta computacional de apoio ao projeto;
- os requisitos à proposição e ao desenvolvimento de metodologia de projeto de produtos de plástico injetados são:
 - natureza do produto: consideram-se os gabinetes como parte ou subconjunto de um sistema técnico constituído de múltiplos componentes;
 - princípios de solução: são consideradas soluções de gabinetes do tipo *frame* ou bipartidos;
 - principais funções: as principais funções do gabinete são enclausurar e proteger os componentes e/ou mecanismos internos de um dado sistema técnico;
 - natureza do projeto: deve-se considerar, em linhas gerais, o projeto dedicado de gabinetes na forma de uma função parcial do sistema técnico (projeto original), sob as seguintes características gerais: integração entre o projeto do gabinete e do sistema técnico, sujeito às restrições das partes internas do sistema técnico, possibilidade de projetos originais; deve-se dar ênfase às funções do gabinete, sujeito às restrições de fabricação, sujeito a restrições econômicas e de tempo;
 - requisitos de projeto: os gabinetes devem ser concebidos sob as seguintes categorias particulares de requisitos: proteção contra influências nocivas do meio ambiente, proteção contra danificações causadas por pessoas não autorizadas, aparência estética, ser leve, permitir fácil acesso aos controles, facilitar a informação ao usuário, ser fácil de montar/desmontar e ser de baixo custo;
 - funções típicas: os gabinetes devem ser concebidos sob as seguintes categorias de funções: relativo aos componentes e/ou mecanismos internos do sistema técnico, relativo ao usuário do produto, relativo ao ambiente do produto e relativo aos demais sistemas técnicos com os quais o produto tem algum tipo de relação;
 - recomendações típicas: devem ser consideradas as recomendações e regras gerais para projeto de componentes de plástico injetados (projeto para a manufatura), na forma de "soluções conceituais" para o gabinete;
 - ciclo de vida: deve-se considerar as seguintes fases para o ciclo de vida de produtos de plástico injetados: informação (contratação), projeto, fabricação, comercialização, utilização e desativação;
 - clientes do projeto: os típicos clientes para o projeto de gabinetes de plástico injetados são: contratante, projetista do produto, projetista do molde e engenheiro de produção.

Diante das considerações anteriores, apresentam-se, nos itens que se seguem, os métodos de projeto adotados para as fases iniciais do desenvolvimento de produtos de plástico injetados. Inclui-se, nessa apresentação, uma discussão sobre as principais características e procedimentos de cada método, as informações de projeto associadas e propostas de sistematização, visando à implementação de auxílios computacionais para o projeto conceitual de produtos de plástico injetados.

5.3.1 - Questionário estruturado

As fases iniciais do projeto de produtos de plástico injetados, conforme se verifica no CAPÍTULO 4, iniciam-se, em geral, pela determinação dos requisitos do usuário e seguem com o estabelecimento de uma concepção para o produto, geralmente na forma de uma geometria baseada em *features*. Essa geometria é, então, desenvolvida (corrigida), considerando as restrições da manufatura (materiais, processos, ferramentas, etc.). Para apoiar essas atividades, vêm sendo propostas e desenvolvidas algumas ferramentas computacionais na forma de sistemas especialistas, que procuram capturar, em sua base de conhecimento, as regras de projeto para manufatura de produtos de plástico injetados. Nota-se, por outro lado, apesar de prescrito em algumas das metodologias propostas, que é dada pouca ênfase ao desenvolvimento de meios para a determinação dos requisitos do usuário. O enfoque principal tem sido na configuração geométrica do componente.

Em parte, considera-se que esta lacuna se deve à formação e aos interesses dos profissionais proponentes e desenvolvedores das ferramentas de apoio ao projeto de produtos de plástico injetados. Apesar de considerarem a importância das informações de mercado no desenvolvimento de produtos, eles, geralmente, são mais voltados às áreas de projeto (análise e simulação) e manufatura dos produtos de plástico, com enfoque no desenvolvimento e aprimoramento de sistemas CAD/CAM. O desenvolvimento de ferramentas para o estudo e análise dos interesses do mercado parece ser atribuído aos profissionais de áreas de marketing, seja da empresa ou de instituições de pesquisa.

Por outro lado, sob os princípios da engenharia simultânea, o desenvolvimento do produto deve ser considerado de maneira integrada, o que pressupõe a participação e compartilhamento de informações de vários profissionais desenvolvedores, incluindo-se, aí, aquelas provenientes do mercado consumidor. Dessa maneira, a metodologia e as ferramentas propostas deverão apresentar, em suas prescrições e funcionalidades, meios para o estabelecimento ou determinação dos interesses do mercado, possibilitando que as informações de projeto posteriores (requisitos de projeto, funções do produto, geometria do produto, entre outras) sejam uma evolução destes.

Assim, sob um enfoque abrangente e de evolução das informações de projeto, considerando que o desenvolvimento de produtos inicia-se através das manifestações de interesse dos elementos de dado ambiente de desenvolvimento do produto (clientes do projeto), conforme a FIGURA 5.7 (ciclo de vida de produtos de plástico injetados), entende-se que a metodologia

deve apresentar, em suas prescrições, procedimentos para tratar, inicialmente, da captura ou da obtenção destes interesses, incluindo-se aqueles relacionados ao mercado do produto (público em geral, usuários do produto, comerciantes, etc.). Propõem-se, em parte, tais procedimentos sob o método de **questionário estruturado** ou de questões persistentes, conforme a denominação de PAHL & BEITZ [12].

O método de questionário estruturado é um método geral de apoio ao projeto de produtos que consiste na elaboração e aplicação sistemática de conjuntos de questões investigativas sobre vários temas relacionados ao domínio de aplicação e ao projeto sendo desenvolvido. As questões são aplicadas aos clientes do projeto, ou seus representantes, os quais podem ser os próprios profissionais da equipe de projeto.

Equipes de projeto com profissionais experientes podem abster-se da aplicação de questionários para o levantamento das necessidades de projeto, listando-as conforme os conhecimentos adquiridos ao longo do tempo ou dados disponíveis. Por outro lado, equipes menos experientes encontram na aplicação de questionários uma maneira adequada e simples de proceder nas fases iniciais do projeto, considerando assuntos relevantes para o desenvolvimento do produto.

A aplicação, ou não, de questionários estruturados também depende, em parte, da natureza do projeto a ser desenvolvido. Para problemas conhecidos ou solicitações particulares (as especificações de projeto já são preestabelecidas, por exemplo), pode-se desconsiderar a aplicação de questionários para o levantamento de necessidades de projeto, seguindo-se diretamente às demais fases do desenvolvimento do produto. Entretanto, para novos problemas ou projeto de novos sistemas técnicos, há necessidade de se estabelecer, em maiores detalhes e de maneira sistemática, quais são os interesses envolvidos no desenvolvimento do produto e problemática em torno deles.

A utilização do método de questionário estruturado pressupõe, inicialmente, a sistematização de um conjunto de questões investigativas sobre o domínio de aplicação. Faz-se necessário, também, estabelecer um conjunto de critérios para a formulação dessas questões. Dessa maneira, considerando o projeto de gabinetes moldados por injeção, propõe-se, conforme o APÊNDICE B, um conjunto inicial de questões de projeto formuladas conforme as características do domínio, sob consideração. Essas questões formarão a base para a preparação do questionário estruturado, conforme o problema em questão.

Em linhas gerais, através do método de questionário estruturado, tem-se o propósito de capturar os **interesses** dos clientes do projeto para estabelecê-los na forma de **necessidades de**

projeto de produtos de plástico injetados. Constitui-se, dessa maneira, o processo de **estabelecimento das necessidades de projeto**, cujas entradas principais são as manifestações dos clientes do projeto e a saída, um conjunto organizado de necessidades, as quais representam qualitativamente os principais problemas a serem resolvidos. A FIGURA 5.9 mostra esse processo e seus principais procedimentos.

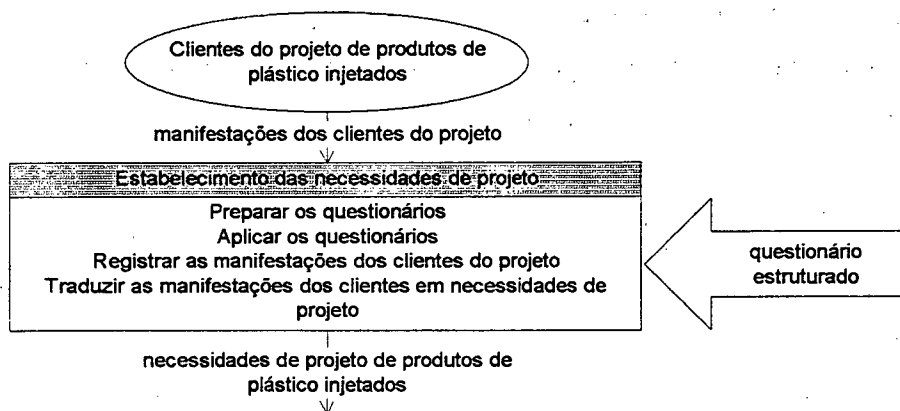


Figura 5.9 - Processo de estabelecimento das necessidades de projeto sob o método de questionário estruturado.

De acordo com a FIGURA 5.9, a primeira atividade do projetista na aplicação do método de questionário estruturado consiste na preparação dos questionários. Nesse caso, o projetista conta com uma base inicial de questões de projeto caracterizadas, conforme o APÊNDICE B, TABELA B.1.

Após a preparação dos questionários de projeto, segue-se a atividade de aplicação de cada um deles. Isso pode ser realizado de diferentes maneiras, dependendo, principalmente, da natureza dos respondentes e do local onde eles se encontram. Nesse caso, algumas das situações possíveis e os meios indicados para aplicar os questionários são enumerados na TABELA 5.5.

Tabela 5.5 - Situações dos respondentes e meios para a aplicação de questionários recomendados.

Situações dos respondentes	Meios de aplicação dos questionários
Os respondentes são os profissionais da equipe de projeto e encontram-se num mesmo local (sala de reuniões ou sala de projeto, por exemplo).	<ul style="list-style-type: none"> • aplicação direta (oral), através de um profissional responsável; • aplicação indireta (escrita), através de documentos; • aplicação <i>on-line</i>, através de ferramentas computacionais.
Os respondentes são os profissionais da equipe de projeto, mas se encontram em diferentes locais da empresa (nos seus respectivos departamentos).	<ul style="list-style-type: none"> • aplicação direta (oral), através de telefonemas; • aplicação indireta (escrita), através de documentos, memorandos internos ou <i>e-mails</i>; • aplicação <i>on-line</i>, através de ferramentas computacionais compartilhadas (servidores).
Os respondentes são profissionais que participam do processo de desenvolvimento do produto, mas se encontram fora dos domínios físicos da empresa.	<ul style="list-style-type: none"> • aplicação direta (oral), através de telefonemas; • aplicação indireta (escrita), através de cartas, <i>faxes</i> ou <i>e-mails</i>; • aplicação <i>on-line</i>, através de ferramentas computacionais compartilhadas (servidores).
Os respondentes são pessoas leigas em assuntos técnicos, têm interesses ou influências sobre o projeto e encontram-se fora dos domínios físicos da empresa.	<ul style="list-style-type: none"> • aplicação direta (oral), através de pesquisa de mercado conduzida pela equipe de marketing da empresa ou subcontratada; • aplicação vinculada (oral ou escrita), associada com a demonstração de produtos em pontos de vendas.

De acordo com a TABELA 5.5, está-se interessado, inicialmente, em desenvolver meios para a aplicação dos questionários estruturados, considerando os respondentes como os profissionais da equipe de projeto ou aqueles que participam do processo de desenvolvimento do produto, desconsiderando, portanto, aplicações para a pesquisa de mercado.

Durante ou após a aplicação dos questionários estruturados, dependendo do meio de aplicação selecionado, deve-se registrar as respostas de cada um dos respondentes para armazená-las adequadamente. Esse registros se fazem importantes sob diferentes aspectos. Primeiro, mantêm uma "memória institucional" sobre os diversos interesses com relação a dado projeto; segundo, formam a base para gerar e avaliar as necessidades do projeto em questão a qualquer momento; e, por último, podem ser empregados em projetos futuros. Para registrar as respostas, podem ser empregados vários meios, incluindo-se, aí, aqueles computacionais (arquivos e/ou base de dados).

Diante do conjunto das manifestações de interesse dos clientes do projeto registradas, a equipe de projeto deve iniciar a tradução (também pode ser entendida como uma interpretação) daqueles interesses em declarações de necessidades. O propósito desta atividade é, em primeiro lugar, "uniformizar" entre os membros da equipe de projeto o entendimento sobre os interesses de projeto. Segundo, considerando que muitas respostas podem ser dadas na forma de opiniões, descrições, relatos, entre outros, faz-se necessário "fragmentar" cada interesse na forma de declarações simples e breves sobre os problemas. Não se encontram regras definidas para este último propósito, porém recomenda-se que, em cada declaração de necessidade formulada, considere-se apenas um assunto ou tema de interesse. Assim, por exemplo, ao invés da declaração "o produto deve ser barato e agradável", deve-se considerar as declarações: "o produto deve ser barato" e "o produto deve ser agradável".

O resultado da atividade de tradução das manifestações dos clientes do projeto constitui-se num conjunto de declarações de necessidades, as quais serão empregadas para conduzir as demais fases do processo de desenvolvimento do produto. Na prática, porém, em função das características dos profissionais respondentes ou da natureza do problema sendo resolvido, ocorrerá que muitas manifestações de interesse se darão, também, na forma de requisitos de projeto, ou seja, considerando atributos técnicos do domínio de aplicação, ou mesmo, de dados quantitativos necessários ao projeto. Nesses casos, deve-se prever, na aplicação do método de questionário estruturado, "um espaço", também, para gerar declarações de requisitos de projeto, o que pode ser conduzido como uma atividade paralela. Observa-se, aqui, que essa atividade pode ocorrer, porém ela não será considerada, explicitamente, nos procedimentos prescritos na

FIGURA 5.9, devendo ser considerada no processo de estabelecimento dos requisitos de projeto, conforme o item que se segue.

5.3.2 - "Casa da qualidade"

As necessidades de projeto constituem-se, normalmente, de declarações gerais e qualitativas sobre dado produto ou serviço. Na forma como se apresentam, principalmente se oriundas dos clientes contratantes do projeto ou de usuários do produto, elas não expressam, ou especificam, muito bem os problemas a serem resolvidos, pelo menos do ponto de vista técnico. Tais problemas têm sido estabelecidos, normalmente, através dos **requisitos do projeto**, os quais se constituem em declarações que consideram os atributos técnicos do domínio de aplicação.

Dessa maneira, a metodologia de projeto deve apresentar, em suas prescrições, procedimentos para tratar da transformação das declarações de necessidades em declarações de requisitos de projeto. Tais procedimentos têm sido estabelecidos, em parte, pelo método QFD (Quality Function Deployment) e operacionalizados, parcialmente, pela matriz da "casa da qualidade".

Além da tradução das necessidades em requisitos de projeto, os demais procedimentos prescritos sob a matriz da "casa da qualidade" visam auxiliar na sistematização das informações iniciais de projeto. Inclui-se, nesse escopo, a valoração de necessidades, a atribuição de relacionamentos entre necessidades e requisitos de projeto, a atribuição de relacionamentos entre os próprios requisitos de projeto e o estabelecimento da importância de cada requisito de projeto. Constitui-se, sob esse método, o processo de **estabelecimento dos requisitos de projeto**, cujas entradas principais são as declarações de necessidades e a saída, um conjunto categorizado de requisitos de projeto de produtos de plástico injetados, conforme mostrado na FIGURA 5.10.

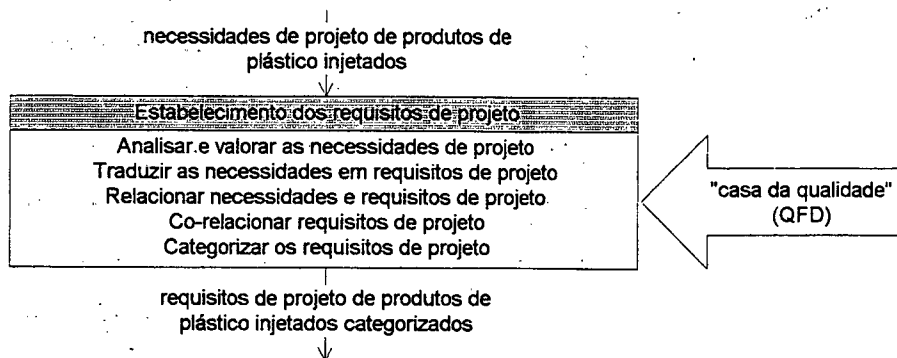


Figura 5.10 - Processo de estabelecimento dos requisitos de projeto sob o método da "casa da qualidade".

Os procedimentos da FIGURA 5.10 são discutidos no APÊNDICE C, para os quais são propostas algumas diretrizes de desenvolvimento e implementação. Em particular, para a tradução de necessidades em requisitos de projeto, considerou-se a necessidade de sistematizar uma estrutura de atributos do domínio de aplicação como meio de auxílio à tradução. Essa estrutura de atributos é constituída por atributos gerais (geralmente categorias ou subcategorias de atributos) e atributos técnicos (mensuráveis ou diretamente manipuláveis no desenvolvimento do produto), relativos aos elementos do domínio de aplicação, tais como os objetos, processos, agentes, entre outros.

A proposta inicial de uma estrutura de atributos para o domínio de produtos de plástico injetados, com enfoque no objeto **gabinete moldado por injeção de plástico**, é mostrada na TABELA 5.6. A extensão dessa estrutura, levando em conta os próprios atributos do gabinete, os atributos do ciclo de vida do gabinete e os atributos de sistemas técnicos relacionados ao gabinete, deverá ser considerada em trabalhos futuros.

Tabela 5.6 - Estrutura de atributos do domínio de produtos de plástico injetados.

Gabinete de plástico injetado	Atributos gerais		Atributos técnicos		
	Gabinete de plástico injetado	geometria do gabinete	tipo de geometria	geometria cilíndrica	
geometria esférica					
geometria prismática					
dimensões principais do gabinete				comprimento do gabinete	
				largura do gabinete	
				altura do gabinete	
dimensões relacionadas à moldabilidade do gabinete				espessura de parede	
				ângulos de saída	
				raios de concordância	
estrutura do gabinete		arranjo dos elementos do gabinete	número de elementos do gabinete		
			arranjo ordenado dos elementos		
			arranjo desordenado dos elementos		
desempenho técnico do gabinete		resistência do gabinete	peso do gabinete		
			resistência à tração		
			resistência à compressão		
			resistência ao cisalhamento		
			resistência à flexão		
			resistência à torção		
aparência do gabinete	acabamento superficial do gabinete	superfícies lisas			
		superfícies texturizadas			
	cores do gabinete	uma cor			
		duas cores			
		múltiplas cores			
	efeitos do gabinete		brilho		
			contraste		
	formas do gabinete		formas retas		
			formas curvas		
	ergonomia do gabinete		percepção visual		
			percepção tátil		
			percepção auditiva		
percepção olfativa					
desempenho econômico do gabinete		percepção gustativa			
		custo do gabinete			

Sob a estrutura de atributos proposta, a atividade de tradução das necessidades em requisitos de projeto se dá, em parte, pela comparação dos atributos das declarações de necessidades com os atributos gerais da estrutura estabelecida. Quando esses atributos combinam, ou apresentam algum tipo de relação com aqueles "subordinados" às categorias (ou subcategorias), serão os atributos técnicos candidatos à configuração dos requisitos de projeto do gabinete.

Os valores para cada atributo técnico, por sua vez, a fim de completar a configuração de dado requisito de projeto, serão considerados sob a escala de valoração normalmente empregada na "casa da qualidade", ou seja, **maximizar** ou **minimizar** o atributo.

Segue-se à tradução das necessidades em requisitos de projeto, conforme a FIGURA 5.10, os procedimentos para relacionar necessidades e requisitos e correlacionar requisitos de projeto.

Embora esses procedimentos sejam discutidos no APÊNDICE C e apontadas as diretrizes para seu desenvolvimento e a implementação de auxílios, eles não serão considerados em maiores detalhes na presente tese. Admite-se, neste momento, que tais procedimentos devam ser conduzidos da maneira recomendada na literatura, ou seja, através da experiência da equipe de projeto, do debate sobre cada relacionamento, da análise e simulação das variáveis envolvidas no relacionamento e, se possível, através de experimentos com as variáveis sendo relacionadas. As proposições da presente tese para os relacionamentos da "casa da qualidade" serão consideradas na forma de ambientes computacionais para a edição e registro dos relacionamentos atribuídos pela equipe de projeto, conforme apresentadas no CAPÍTULO 6.

De particular interesse, após a atribuição dos relacionamentos na matriz da "casa da qualidade", considera-se a utilização efetiva dos co-relacionamentos dos requisitos de projeto, ou seja, dos resultados do "telhado" da "casa da qualidade" para categorizar os requisitos de projeto. Nesse caso, observou-se; em linhas gerais, que os relacionamentos entre os requisitos de projeto, apesar de importantes, pois estabelecem compromissos ou conflitos entre os requisitos, não estão sendo efetivamente utilizados no projeto conceitual do produto. Em parte, tal desconsideração se deve porque a utilização daqueles relacionamentos demanda a análise e simulação das variáveis envolvidas nos requisitos de projeto, o que, normalmente, é conduzido em atividades do projeto preliminar do produto. Por outro lado, mesmo considerando uma análise qualitativa de tais relacionamentos, pela carência de uma "cultura" sistemática no desenvolvimento de produtos, principalmente nas fases iniciais do projeto, a análise das implicações dos relacionamentos entre os requisitos de projeto sobre as alternativas de concepções para o produto tem sido relegada ou

subestimada.

Para tal, considerou-se, conforme o exemplo na FIGURA C.9, um mecanismo para "corrigir" a classificação tradicional dos requisitos de projeto, de acordo com os estudos conduzidos por HERMES et al. [76], em que foram avaliados diferentes meios para implementar os princípios estabelecidos para a natureza dos graus de relacionamentos do "telhado" da "casa da qualidade", ou seja, requisitos positivamente relacionados deveriam ter suas importâncias enaltecidas, e requisitos negativamente relacionados, suas importâncias atenuadas.

Sob tal mecanismo, o projetista tem a oportunidade de analisar, em maiores detalhes, a importância de cada um dos requisitos de projeto, levando em conta os relacionamentos do "telhado" da "casa da qualidade" e, assim, decidir sobre aqueles mais importantes para gerar e avaliar as concepções do produto.

5.3.3 - Síntese de funções do produto

Os métodos de questionário estruturado e da "casa da qualidade" foram propostos, nos itens anteriores, como meios de auxílio ao levantamento e à sistematização dos principais problemas de projeto, na forma de declarações de necessidades e de requisitos de projeto, respectivamente. A partir dessas informações deve-se iniciar o processo de solução dos problemas propriamente dito. Neste sentido, a metodologia de projeto deve prescrever procedimentos para conduzir esse processo, os quais têm sido considerados, em parte, sob o método de **síntese de funções** (PAHL & BEITZ [12]).

Trata-se, em essência, de um método de fatorização¹ e arranjo das funções do produto numa estrutura, definindo o que o produto, e/ou suas partes, deve fazer, ter ou ser, para atender às necessidades dos clientes de projeto. As funções do produto podem ser entendidas, também, como uma categoria particular de requisitos de projeto, ou seja, os requisitos funcionais do produto.

Sob o método de síntese de funções, constitui-se o processo de **estabelecimento das funções do produto**, cujas entradas principais são as necessidades e os requisitos de projeto, e as saídas são as funções do produto organizadas numa dada estrutura, conforme a FIGURA 5.11. As funções resultantes desse processo irão orientar a busca, a sistematização e o arranjo de princípios de solução alternativos para o produto, em etapas posteriores.

¹ *Fatorização*: divisão de problemas ou tarefas em elementos individuais (fatores) mais facilmente definíveis, menos complexos e melhor gerenciáveis

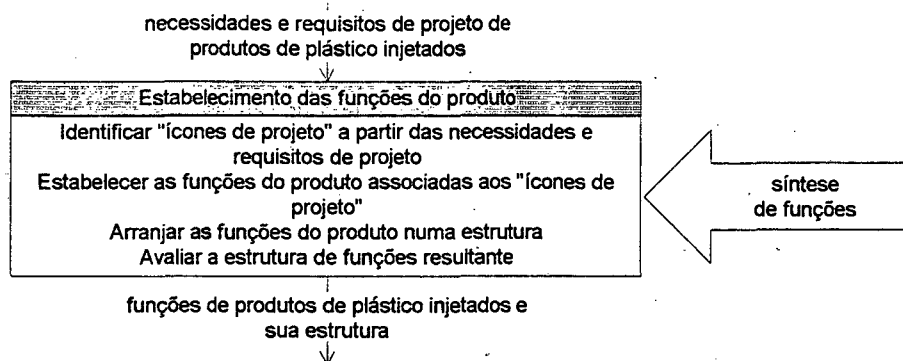


Figura 5.11 - Processo de estabelecimento das funções do produto e sua estrutura sob o método de síntese de funções.

Considerando o domínio de produtos de plástico injetados, o desenvolvimento e a implementação do método de síntese de funções do produto implica, em parte, a caracterização de típicas funções daquele domínio, com o propósito de auxiliar o projetista na identificação daquelas funções que melhor representam o problema em questão. Algumas destas típicas funções foram propostas na TABELA 5.1. Além disso, faz-se necessário um conjunto de procedimentos para identificar as funções do produto e arranjá-las numa dada estrutura, considerando as necessidades e os requisitos de projeto estabelecidos em processos precedentes.

Conforme se verifica no APÊNDICE A, existem várias abordagens sobre o método de síntese de funções do produto. Entretanto, o desenvolvimento de meios práticos e eficientes para a identificação das funções e seu arranjo não têm sido devidamente contemplados. Em geral, estes procedimentos têm sido atribuídos, sob determinadas recomendações, à experiência dos profissionais projetistas.

Dessa maneira, conforme considerado ao final do APÊNDICE A, propõe-se que parte dos procedimentos para identificar as funções do produto seja baseada no conceito de "ícones de projeto", que se constituem em representações sobre determinadas parcelas de conhecimento do domínio de aplicação, na forma de episódios, procedimentos, regras, fatos, entre outros tipos de conhecimentos. Para tal, propõe-se, conforme o APÊNDICE D, uma base inicial de "ícones de projeto", levando-se em conta as principais características do domínio de produtos de plástico injetados, associado-os às funções típicas de produtos de plástico.

Considerando a base de "ícones de projeto" formulada no APÊNDICE D, o processo de estabelecimento das funções do produto deve se iniciar, em primeiro lugar, conforme a FIGURA 5.11, pela identificação daqueles "ícones de projeto" que melhor representam ou identificam os problemas em questão. Para tal, deve-se promover uma comparação sistemática entre as necessidades e os requisitos de projeto com a base de "ícones de projeto". A orientação geral,

nesse sentido, consiste em percorrer, individualmente, cada necessidade e cada requisito de projeto, analisando os elementos daquelas declarações que possam ser associados aos elementos dos "ícones de projeto". Quando tal associação, ou relação, for identificada, o correspondente "ícone de projeto" deve ser armazenado. Seguindo a identificação dos "ícones de projeto", identificam-se, automaticamente, as funções do produto, conforme se verifica no APÊNDICE D, na formulação de cada "ícone". Essas funções devem ser verificadas e, se relevantes, estabelecidas como as funções do produto em questão.

Após o estabelecimento das funções do produto, a partir dos "ícones de projeto", deve-se realizar atividades no sentido de arranjá-las ou organizá-las numa dada estrutura. Em geral, estas estruturas têm sido formuladas considerando o fluxo das grandezas de entrada e de saída de cada função.

Na presente tese, entretanto, conforme discutido no APÊNDICE A e considerando a maneira como as funções estão sendo representadas (na forma do par verbo + substantivo), a estrutura, ou o arranjo, das funções será considerada de maneira hierárquica, levando-se em conta, em primeiro lugar, os elementos que apresentam relações com o gabinete sendo projetado, conforme estabelecidos na FIGURA 5.5. Um exemplo dessa estrutura é mostrado na FIGURA 5.12.

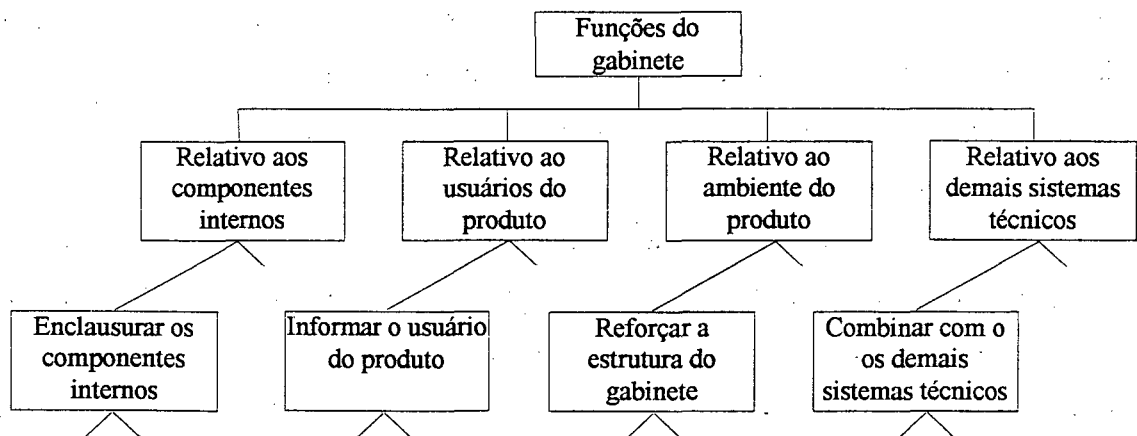


Figura 5.12 - Exemplo de estrutura de funções de gabinetes.

O arranjo de outras funções identificadas para o gabinete, conforme exemplo mostrado na FIGURA 5.13, poderá ser promovido, na estrutura inicial, considerando-se a análise sistemática dos relacionamentos entre as funções do domínio, com base nas características de cada uma delas (TABELA 5.1) e nas seguintes regras gerais:

- funções que são derivadas de outras devem ser arranjadas em níveis mais inferiores; e
- funções que são associadas com outras devem ser arranjadas no mesmo nível hierárquico.

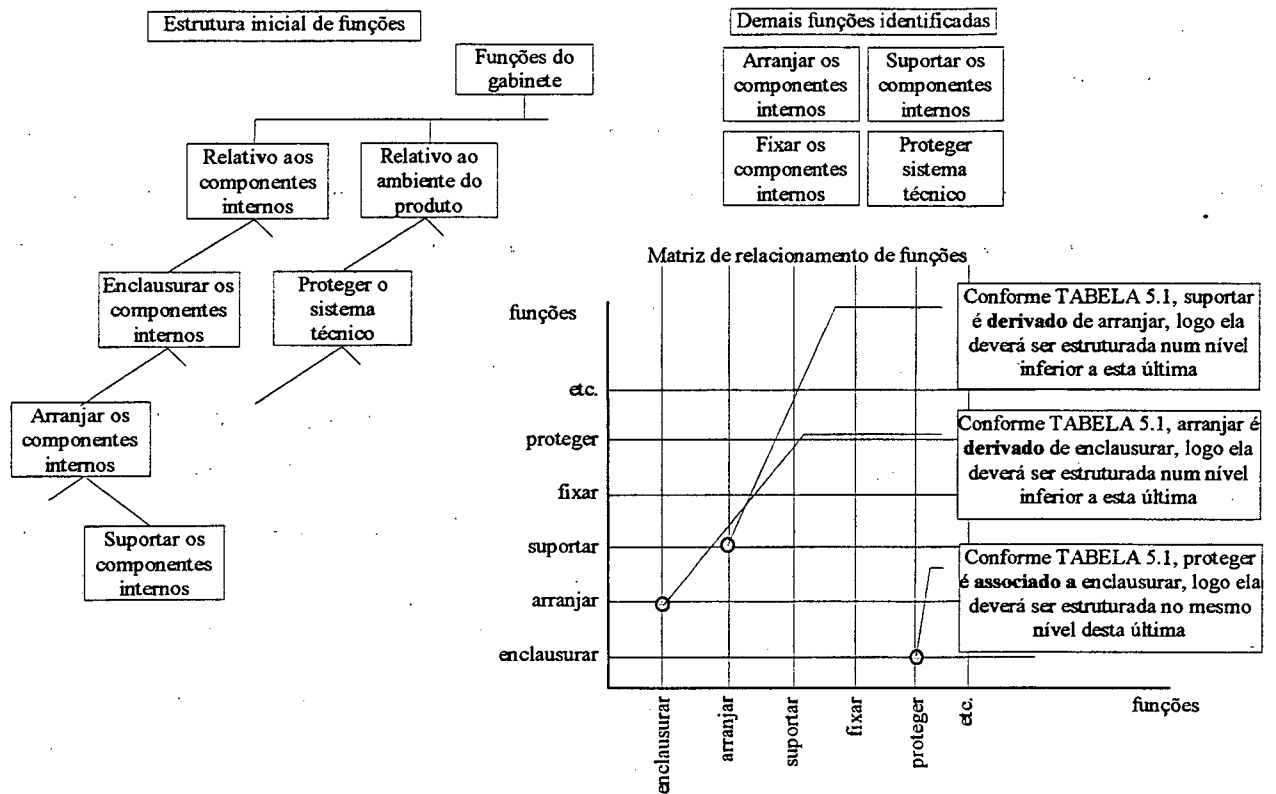


Figura 5.13 - Exemplo de aplicação de regras gerais para o arranjo de funções.

De acordo com o exemplo da FIGURA 5.13, as funções do produto são comparadas entre si, sistematicamente, para identificar os relacionamentos existentes (derivadas, associadas, etc.), conforme as características de cada uma delas. Sob os relacionamentos identificados, estabelecem-se indicativos sobre as posições de cada uma delas na estrutura.

Essa proposição para o arranjo das funções do produto numa estrutura é simples, em sua essência, pois leva em conta funções cujas características já foram definidas. No caso de novas funções identificadas durante a síntese de funções, as quais não se encontram na base de dados, ela poderá apresentar algumas dificuldades. Entretanto, seguindo esse raciocínio, poderão ser definidos demais tipos de relacionamentos entre as funções de gabinetes moldados por injeção e, a partir deles, estabelecer um conjunto mais amplo de regras para o arranjo das funções. Para tal, além da extensão da base de funções, conforme a TABELA 5.1, devem ser promovidos estudos de caso para verificar os tipos de relacionamentos, normalmente encontrados, entre as funções de gabinetes de produtos em geral.

A estrutura de funções resultante do produto representa, em essência, uma solução particular para o produto. Essa solução caracteriza-se pelo seu alto grau de abstração, definido pela desvinculação de soluções técnicas conhecidas para o produto. Sob os métodos clássicos de síntese de funções (veja APÊNDICE A) recomenda-se, nesse ponto, que a estrutura de funções

seja variada com o propósito de encontrar estruturas alternativas e, assim, melhorar as possibilidades de inovação do produto.

Ocorre, entretanto, que estruturas de funções alternativas são mais facilmente obtidas (embora isso não possa ser considerado como uma regra) quando se consideram as grandezas de entrada e de saída de cada função, pois, daí, é possível verificar e manter a consistência do fluxo de grandezas necessário nas estruturas alternativas.

No caso em questão, como não se está considerando o fluxo de grandezas na representação e no arranjo das funções, esta recomendação será desconsiderada, embora isso não signifique que arranjos alternativos não possam ser promovidos. As possibilidades de inovação do produto serão consideradas sob as diferentes alternativas de princípios de solução, que podem ser estabelecidos ou criados para cada função, conforme será discutido no item que se segue.

Antes de proceder à busca ou desenvolvimento de princípios de solução para cada função do produto e à combinação destes em concepções alternativas para o produto, deve-se verificar se a estrutura de funções resultante é adequada para os problemas em questão. Deve-se, portanto, avaliar a estrutura de funções resultante, confrontando-a, em parte, com as necessidades e os requisitos de projeto e verificar suas características gerais.

Em parte, essa avaliação é realizada na medida em que as funções do produto estão sendo identificadas a partir das necessidades e/ou dos requisitos de projeto. Entretanto, demais funções poderão surgir durante o arranjo das funções do produto ou por outros meios, incluindo-se, aí, a experiência dos projetistas, julgamento próprio, pesquisa ou análise de sistemas existentes. Portanto, deve-se, ao final do arranjo das funções do produto, proceder à avaliação da estrutura de funções sob os seguintes critérios:

- **representatividade:** verificar se a estrutura de funções resultante representa os principais problemas estabelecidos nas declarações de necessidades e de requisitos de projeto; neste caso, um indicativo de representatividade é o número de funções da estrutura que são diretamente relacionadas com os atributos das declarações de necessidades e de requisitos de projeto;
- **clareza:** verificar se a estrutura de funções resultante expressa adequadamente os problemas a serem resolvidos; um indicativo de clareza da estrutura de funções consiste no entendimento de cada uma das funções da estrutura pelos projetistas;
- **completeza:** embora difícil de determinar, deve-se verificar se o número e o grau de detalhamento das funções da estrutura resultante são suficientes para se iniciar a pesquisa de princípios de solução para o produto; indicativos de completeza da estrutura de funções são o número de níveis da estrutura e o número de funções em cada nível; e
- **aceitabilidade:** verificar se a estrutura de funções resultante é aceita como tarefa de projeto; indicativos de aceitabilidade da estrutura de funções são a satisfação dos critérios de representatividade, clareza, completeza e o acordo, em comum, para resolver os problemas prescritos em cada função do produto.

Embora os critérios anteriores e seus indicativos sejam qualitativos e de difícil mensuração, eles orientam a equipe de projeto no sentido de avaliar sistematicamente a estrutura de funções resultante. Demais procedimentos de avaliação podem ser conduzidos, iterativamente, à medida que forem sendo considerados os princípios de solução para cada função do produto, retornando à estrutura de funções e promovendo as alterações que se façam necessárias.

5.3.4 - Matriz morfológica

As funções do produto e sua estrutura estabelecem uma solução particular para o produto caracterizada pela sua generalidade e abstração. Pretende-se, desta maneira, estimular o desenvolvimento de soluções alternativas inovadoras para o produto, evitando, desde o início do projeto, soluções pré-concebidas.

Assim, seguindo a síntese de funções, a metodologia de projeto deve prescrever determinados procedimentos para orientar o desenvolvimento de soluções alternativas para o produto. Tais procedimentos têm sido estabelecidos, em parte, pelo **método morfológico** (PAHL & BEITZ [12]; BACK [3]).

O método morfológico, operacionalizado através da matriz morfológica, consiste num conjunto de procedimentos que auxiliam na sistematização de **princípios de solução** para cada função do produto numa matriz e na combinação desses princípios em uma ou mais **concepções**.

Os princípios de solução podem ser obtidos através da pesquisa sistemática na literatura ou de sistemas existentes ou, ainda, desenvolvidos com auxílio de outros métodos de criatividade (*brainstorming*, analogias, etc.). As concepções para o produto, por sua vez, são configuradas pela combinação dos princípios de solução pesquisados ou desenvolvidos sob a orientação da estrutura de funções e dos requisitos de projeto. Constitui-se, portanto, sob este método, o processo de **estabelecimento das concepções para o produto**, conforme a FIGURA 5.14, cujas entradas principais são as funções do produto e os requisitos de projeto, e a saída, um conjunto de concepções alternativas para o produto.

De acordo com a FIGURA 5.14, o método morfológico prescreve, em primeiro lugar, a organização das funções do produto numa matriz que consiste na preparação inicial da matriz morfológica para a sistematização dos princípios de solução. Essa organização sugere a seguinte questão: qual deve ser o formato ou a maneira pela qual as funções do produto serão organizadas na matriz?, uma lista?, uma estrutura hierárquica?, entre outros.

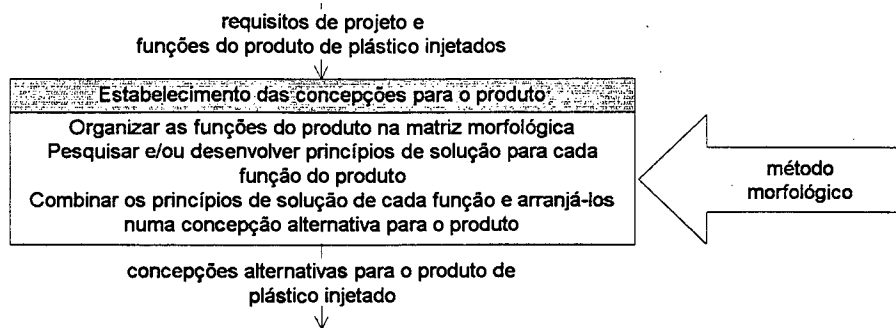


Figura 5.14 - Processo de estabelecimento das concepções do produto sob o método morfológico.

De acordo com o item anterior, estabeleceu-se que as funções do gabinete devem ser arranjadas numa estrutura hierárquica, a partir dos elementos que têm relações com o gabinete (componentes internos, usuário do produto, ambiente do produto e demais sistemas técnicos). Sob esta base de estruturação, as funções identificadas através dos "ícones de projeto" e aquelas consideradas necessárias durante a estruturação são arranjadas em níveis hierárquicos, dependendo das relações entre elas. Dessa maneira, a estrutura de funções resultante pode ser constituída de um ou mais níveis hierárquicos, conforme exemplo da FIGURA 5.13.

Sob esta forma de estruturação das funções do produto, questiona-se: todas as funções da estrutura resultante deverão ser enumeradas na matriz, ou somente aquelas funções dos níveis mais inferiores? Em outras palavras, devem ser desenvolvidos ou pesquisados princípios de solução para todas as funções da estrutura, ou somente para aquelas funções dos níveis mais inferiores?

Nas proposições clássicas (veja APÊNDICE A, por exemplo), em geral, recomenda-se que a pesquisa e o desenvolvimento de princípios de solução sejam conduzidos para aquelas funções de menor complexidade (funções elementares ou operações básicas). Nesse caso, entretanto, está-se tratando de uma estrutura de funções na forma de transformação, ou de fluxo, de grandezas do sistema técnico, onde aquelas de complexidade menor constituem-se no desdobramento daquelas de complexidade maior (função técnica total → funções parciais → funções elementares ou operações básicas, por exemplo).

Na presente tese, por outro lado, considerando que as funções do produto não estão sendo identificadas e/ou definidas, de acordo com o fluxo de grandezas do gabinete, não se pode admitir que as funções de níveis mais inferiores (embora isso possa acontecer em alguns casos) sejam representativas do gabinete como um todo ou das funções de níveis superiores. Nesse caso, a pesquisa e/ou desenvolvimento de princípios de solução para o produto devem ser conduzidos para cada uma das funções estabelecidas na estrutura.

Sob tais observações, a organização das funções do produto na matriz deve ser realizada na forma de um lista, considerando como base de organização os elementos do domínio que têm relações com o gabinete, conforme mostrado no exemplo da FIGURA 5.15.




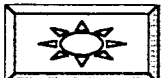

Matriz morfológica para gabinetes de plástico injetados.				
Elementos do domínio	Funções do gabinete	Princípios de solução		
Componentes internos	enclausurar componentes internos 			
	fixar componentes internos  etc.			
Usuários do produto	informar o usuário do produto  etc.			
	Ambiente do produto	vedar contra influências nocivas do ambiente  etc.		
Demais sistemas técnicos	combinar com outros produtos  etc.			

Figura 5.15 - Exemplo parcial de organização das funções do produto na matriz morfológica.

Após a organização das funções do produto na matriz morfológica, o procedimento que se segue consiste na pesquisa e/ou desenvolvimento de princípios de solução para cada função do produto. Esse procedimento pressupõe, em parte, a sistematização de um conjunto de princípios de solução para os produtos do domínio; no caso, para gabinetes de plástico injetados.

Como orientação inicial à sistematização desses princípios podem ser empregadas as típicas funções de produtos de plástico injetados, conforme propostas na TABELA 5.1. Antes disso, entretanto, cabe aqui uma discussão em maiores detalhes sobre o significado de um princípio de solução para produtos de plástico injetados, ou sobre como tais princípios podem ser caracterizados, para então proceder na sistematização de um conjunto de princípios de solução adequado à concepção de gabinetes moldados por injeção de plástico.

Na literatura clássica de projeto de engenharia (ver APÊNDICE A, por exemplo), um princípio de solução para o produto é considerado, em geral, na forma de **efeitos** associados a **portadores de efeitos**. Isso também pode ser verificado nos trabalhos de FIOD [10] e FERREIRA [77]. Os efeitos representam as leis físicas que governam as quantidades envolvidas no princípio de solução, tais como o efeito do atrito, descrito pela lei de Coulomb: $F_F = \mu \cdot F_N$

(Força de Fricção (F_F) = Coeficiente de Atrito (μ) x Força Normal (F_N)), entre outros [12]. Já os portadores de efeitos representam, qualitativamente, as entidades físicas da solução, incluindo características tais como tipos de elementos, geometria, material, arranjo, formas, posição, número de elementos, etc. Sob tais definições, um princípio de solução pode ser representado conforme o exemplo da FIGURA 5.16.

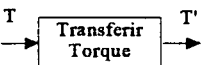
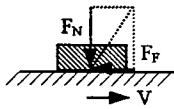
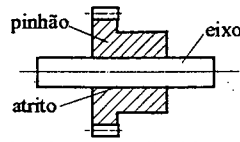
Função	Efeito	Portadores de efeito	Princípio de solução
	<p><i>Atrito</i></p>  <p>Lei de Coulomb: $F_F = \mu \cdot F_N$</p>	<p><i>Eixo / pinhão</i></p>  <p>geometria dos elementos: cilíndrica; material dos elementos: aço; número de elementos: dois; arranjo dos elementos: eixo concêntrico com pinhão; etc.</p>	<p>Transmissão de torque entre eixo/pinhão</p>

Figura 5.16 - Características gerais de um princípio de solução sob as abordagens clássicas de projeto de engenharia (adaptado de PAHL & BEITZ [12]).

No caso de produtos de plástico injetados, como vem sendo considerado na presente tese, a aplicação das definições clássicas de princípios de solução encontra algumas dificuldades. Em primeiro lugar, as funções do produto não estão sendo consideradas na forma de transformação de grandezas de entrada em grandezas de saída, o que dificulta a identificação de algum efeito conhecido. Em segundo lugar, considerando que os produtos de plástico são configurados, em geral, na forma de um único componente, caracterizado através de vários elementos, tais como paredes, nervuras, ressaltos, furos, aberturas, etc., decorrentes, em parte, das características do processo de injeção, não é muito fácil e parece pouco natural "visualizar" a associação de efeitos com os elementos do componente. Por exemplo, qual é o efeito associado a uma nervura num dado componente de plástico, conforme exemplificado na FIGURA 5.17? forças interatômicas?, adesão?, coesão?, outro?.

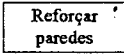
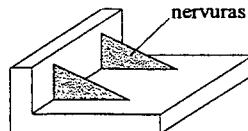
Função	Efeito	Portadores de efeito	Princípio de solução
	<p>???</p> <p>Forças interatômicas?</p> <p>Adesão?</p> <p>Coesão?</p>	<p><i>nervuras</i></p>  <p>geometria dos elementos: prismática; material dos elementos: plástico ABS; número de elementos: dois; arranjo dos elementos: uniformemente espaçadas; etc.</p>	<p>Reforço com nervuras</p>

Figura 5.17 - Dificuldades na configuração clássica de um princípio de solução para o elemento nervura de um componente de plástico injetado.

Conforme se observa na FIGURA 5.17, apesar das dificuldades em associar efeitos com os elementos normalmente encontrados em componentes de plástico injetados, essas dificuldades não são as mesmas sob o conceito de portadores de efeitos. Em outras palavras, as características dos portadores de efeitos podem ser empregadas para caracterizar princípios de solução de produtos de plástico injetados.

Por outro lado, na literatura de projeto de produtos de plástico injetados, as soluções para componentes moldados por injeção têm sido consideradas, em geral, sob o conceito de *features*, o qual se apresenta sob diferentes definições. Uma *feature* pode ser entendida, por exemplo, conforme *Grayer* (1970) apud HOUNSELL [78], como "formas e atributos tecnológicos associados com ferramentas e operações de manufatura". Um exemplo de *feature*, sob esta definição, pode ser observado na FIGURA 5.18.

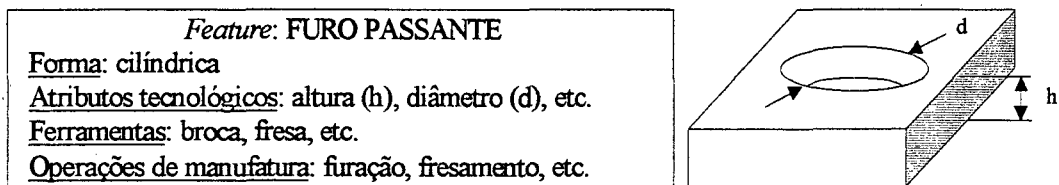


Figura 5.18 - Exemplo de *feature*, conforme a definição de *Grayer* (1970) apud HOUNSELL [78].

A definição anterior de *feature* parece estar entre aquelas primeiras propostas sobre o assunto e reflete, através de seus elementos, interesses sob o enfoque da manufatura de produtos, ou seja, a utilização de *features* para a programação automática de máquinas de comando numérico através do reconhecimento automático de *features* em arquivos de CAD.

Na evolução dessa definição, e sob diferentes interesses, surgiu uma série de outras abordagens, resultando no surgimento de diferentes tipos de *features*. Conforme HOUNSELL [78], alguns tipos de *features* encontrados são: *features* funcionais, estruturais, físicas, geométricas ou de forma, de precisão, de material, de referência, de fixação, tecnológicas, de montagem, de manufaturabilidade, entre outras.

Sem considerar maiores detalhes sobre cada um destes tipos de *features*, nota-se, em síntese, que uma *feature* pode ser entendida como "um conjunto particular de propriedades que descrevem uma dada entidade, definidas conforme os interesses sobre esta entidade". Dessa maneira, por exemplo, uma *feature* funcional trata das propriedades funcionais de determinada entidade, tais como as grandezas de entrada e de saída da função, a natureza da transformação realizada pela função, as relações entre funções, etc. Já uma *feature* geométrica ou de forma trata

das propriedades geométricas e da forma de determinada entidade, tais como o tipo de geometria, a origem da geometria, os parâmetros da geometria, etc. Uma representação gráfica e genérica deste entendimento é mostrada na FIGURA 5.19, onde cada "parcela particular de propriedades" da entidade "x" pode ser entendida na forma de uma *feature*.

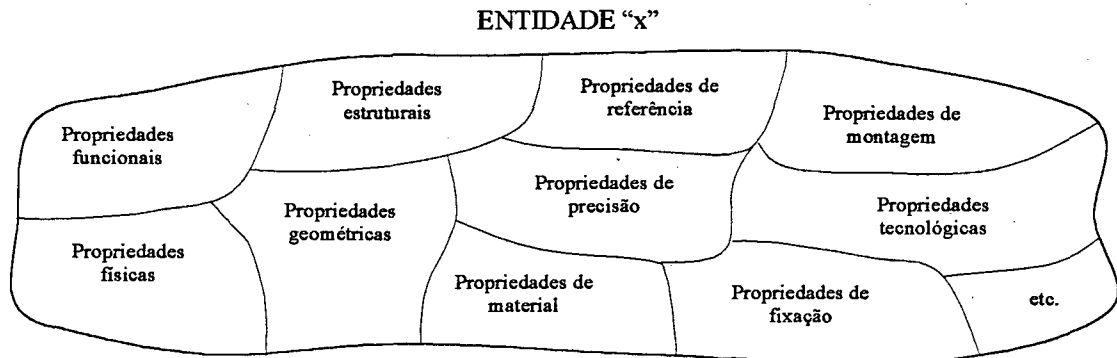


Figura 5.19 - Entendimento genérico dos diferentes tipos de *features*.

Sob tal entendimento, em princípio, parece não haver qualquer problema na utilização do conceito de *feature* para representar princípios de solução de produtos de plástico injetados. Deve-se considerar, entretanto, um conjunto adequado de propriedades para caracterizar cada princípio, evitando, por exemplo, detalhes específicos de projeto ou de manufatura que vinculem o princípio a soluções pré-concebidas.

Considerando as definições clássicas de princípios de solução e aquelas sob o conceito de *feature*, nota-se que a definição de um princípio de solução para produtos de plástico injetados passa, em primeiro lugar, pela definição de quais serão os atributos ou as características consideradas para caracterizá-lo e, ainda, sob quais interesses tais atributos serão definidos.

No projeto conceitual de produtos de plástico injetados, seguindo a síntese funcional do produto, está-se interessado em resolver cada uma das funções, as quais se apresentam na forma de par verbo/substantivo, sob os seguintes interesses gerais:

- preservar a natureza qualitativa das soluções de projeto;
- promover uma abordagem natural para a solução das funções do produto, usando conceitos de elementos conhecidos na prática, tais como nervuras, ressaltos, aberturas, etc.;
- incluir representações gráficas para facilitar o entendimento do princípio de solução e a tomada de decisão diante dos mesmos;
- levar em conta a natureza dos gabinetes injetados e suas relações com os demais elementos do contexto; e
- levar em conta as características das fases do ciclo de vida de produtos de plástico injetados para apoiar a escolha ou descarte de determinado princípio.

Sob tais considerações propõe-se uma estrutura inicial de atributos para a definição de um princípio de solução de produtos de plástico injetados, conforme o modelo da FIGURA 5.20.

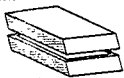
Princípio de solução		
Categorias de atributos	Tipos de atributos	Exemplos de valores
Atributos de identificação	Nome	gabinete bipartido
	Representação (símbolo)	
	Descrição	este princípio considera o enclausuramento dos componentes de sistemas técnicos através de um gabinete bipartido onde ambas as partes são unidas por <i>snaps</i> . (...)
Atributos funcionais	Funções associadas	enclausurar
	Elementos associados	componentes internos
Atributos do ciclo de vida	Qualidades no ciclo de vida	competitividade: descreve a maior ou menor habilidade da solução proposta fazer frente à concorrência e satisfazer os compradores do produto; funcionalidade: descreve a maior ou menor habilidade da solução satisfazer à(s) função(ões) a que foi proposta; projetabilidade: descreve a habilidade de a solução proposta ser desenvolvida, em detalhes, dentro dos prazos para o projeto do produto; compatibilidade: descreve a maior ou menor habilidade de a solução proposta ser compatível com outras soluções de projeto; moldabilidade: descreve a maior ou menor habilidade de a solução proposta ser moldada sem problemas, custos adicionais ou tecnologias especiais; montabilidade: descreve a maior ou menor habilidade de a solução proposta ser montada com os demais elementos do sistema técnico; vendabilidade: descreve a maior ou menor habilidade de a solução proposta apresentar atrativos para o comprador do produto; utilizabilidade: descreve a maior ou menor habilidade de a solução proposta satisfazer às típicas necessidades e requisitos durante a utilização do produto; manutenibilidade: descreve a maior ou menor habilidade de a solução proposta ser facilmente manipulada durante a manutenção e serviço sobre o produto; desativabilidade: descreve a maior ou menor habilidade de a solução proposta ser desativada após a vida útil do produto; etc.

Figura 5.20 - Modelo de informações para definir e caracterizar princípios de solução de produtos de plástico injetados.

Sob o modelo da FIGURA 5.20 e considerando as funções definidas na TABELA 5.1 como base de classificação, propõe-se um conjunto inicial de princípios de solução para produtos de plástico injetados, com enfoque no projeto de gabinetes, conforme o APÊNDICE E. A evolução das características de um princípio de solução e a extensão dos princípios propostos no APÊNDICE E deverão ser considerados em trabalhos futuros.

De particular importância no projeto de produtos moldados, incluem-se os aspectos relacionados à moldagem do componente, ao molde e aos materiais plásticos, os quais poderão ser decisivos para o sucesso do produto. Esses aspectos têm sido considerados, em geral, na forma de recomendações ou regras de projeto para a manufatura (veja item 5.2.4).

Ocorre, entretanto, que muitas daquelas recomendações pressupõem detalhes ou características específicas, seja sobre a geometria do componente, parâmetros do processo, características do molde ou propriedades dos materiais. Assim, por exemplo, conforme PERERA [55], "todas as transições de paredes devem apresentar raios de arredondamento > 0,5 mm"; "as paredes ou elementos perpendiculares à linha de partição do molde devem ter ângulos de saída >

0,5 graus"; "entre furos sucessivos e entre um furo e uma parede, pelo menos a distância equivalente ao diâmetro do furo deve ser promovida"; "componentes de parede fina requerem uma taxa de preenchimento rápida para evitar o resfriamento do material"; "a utilização de canais de injeção (*sprue gate*) para materiais sensíveis à temperatura, de alta viscosidade, em componentes de alta qualidade e com seções grandes, resultam em dimensões exatas e de alta qualidade, porém, requerem pós-operação de remoção do canal e deixam marcas visíveis na superfície da peça"; "materiais de baixa viscosidade podem ser usados para componentes com espessuras de paredes menores"; "a resistência das linhas de solda pode ser melhorada através de uma boa ventilação do molde, altas velocidades de injeção e apropriadas temperaturas do molde e do polímero de injeção", etc., são típicas regras de projeto de componentes injetados, cujos termos sublinhados representam características que não estão sendo consideradas no projeto conceitual do produto. Essas características têm sido consideradas, em geral, no projeto preliminar e detalhado do componente. Portanto, a questão que se formula aqui é: como considerar os aspectos da manufatura na fase do projeto conceitual, onde as informações sobre o componente ainda se encontram bastante abstratas e qualitativas?

Conforme considerado em 5.2.4, admitiu-se que as recomendações e regras para o projeto de produtos de plástico injetados fossem consideradas como "soluções conceituais" para o produto, satisfazendo determinadas "funções especiais" de projeto. Essas funções são propostas da seguinte maneira: "função processo", "função molde" e "função material". A "função processo" considera todas aquelas regras ou recomendações cujos parâmetros levam em conta as características do processo e equipamento de injeção, tais como velocidade de injeção, pressão de injeção, ciclo de injeção, entre outros. Da mesma forma, a "função molde" e a "função material" consideram todas aquelas regras ou recomendações cujos parâmetros tratam das características do molde e dos materiais, respectivamente. Essas "funções especiais" de projeto devem ser consideradas em toda a matriz morfológica de um dado componente de plástico, independentemente de suas funções.

Além das regras de projeto, podem ser considerados, sob as "funções especiais" de projeto, "princípios de solução" relacionados ao processo, molde e materiais. Como "princípio de solução" do processo, entendem-se aquelas informações qualitativas sobre o tipo de processo e suas principais características, as quais dependem, em parte, do equipamento de moldagem. Sobre o molde, por sua vez, entendem-se como "princípio de solução" aquelas informações qualitativas sobre o tipo de molde, seu princípio de funcionamento, principais elementos, sistema de refrigeração, entre outros. Por último, como "princípios de solução" para os materiais

plásticos entendem-se aquelas informações qualitativas sobre a classe principal do material, suas principais características, aplicações, etc. Exemplos típicos de "princípios de solução" sob estes enfoques são mostrados na TABELA 5.7.

Tabela 5.7 - Exemplos de "princípios de solução" para os elementos da manufatura do produto.

Elementos da manufatura	Típicos "princípios de solução"
Processo de moldagem	<ul style="list-style-type: none"> • Tipo de processo: injeção • Equipamento: <ul style="list-style-type: none"> • alimentação ajustável; • acionamento hidráulico; • alta pressão de injeção; • alta velocidade de injeção; etc.
Ferramenta de moldagem	<ul style="list-style-type: none"> • Tipo de molde: molde de duas placas; • Sistema de ejeção por pinos; • Sistema de refrigeração com água; etc.
Material de moldagem	<ul style="list-style-type: none"> • Poli (Cloro de Vinila); • Nome comercial: PVC; • Resistente à água; • Adaptável a formas complexas; • Aplicações comuns: conexões hidráulicas, tubulação, caixas de gordura; etc.

Diante das proposições anteriores, considera-se haver um amplo campo de pesquisa e de sistematização de informações para o projeto conceitual de produtos de plástico injetados, que consiste no levantamento, organização e caracterização qualitativa dos vários processos de moldagem, dos diferentes tipos de molde e dos mais variados tipos de materiais, além das regras ou recomendações associadas à manufatura dos componentes injetados. Devido a essa abrangência, não será considerada, na presente tese, a sistematização de "princípios de solução" para as "funções especiais" de gabinetes moldados por injeção. Essa sistematização deverá ser conduzida em trabalhos futuros.

Sob a base de princípios de solução para produtos de plástico injetados, conforme proposta no APÊNDICE E, a pesquisa por princípios de solução, para satisfazer as funções do produto, se dá através das funções associadas a cada princípio. Entretanto, a configuração de um "campo de soluções" para o produto, na matriz morfológica, prevê, também, a utilização de demais métodos de estímulo à criatividade dos projetistas para gerarem novos princípios de solução para as funções em questão. Nesse caso, devem ser empregadas as recomendações normalmente apresentadas, na literatura, sobre estes métodos ([3], [12]).

Após o estabelecimento dos princípios de solução na matriz morfológica, deve-se proceder no sentido de combiná-los em concepções para o produto. Essa combinação tem sido proposta, em geral, sob a consideração de critérios técnicos e econômicos para o desenvolvimento do produto, ou sob determinadas estratégias de combinação. Nesse sentido, a

questão, sob tal procedimento, no caso de produtos de plástico injetados é: quais serão as estratégias para a combinação de princípios de solução na matriz morfológica?

Conforme se observa na proposição do modelo de informações de um dado princípio de solução (FIGURA 5.20), considerou-se uma categoria de atributos denominada de "qualidades no ciclo de vida", cujos valores expressam como aquele princípio é considerado em determinadas fases do ciclo de vida do produto. Assim, por exemplo, dado princípio pode ter uma funcionalidade boa, uma moldabilidade boa, mas apresentar uma vendabilidade ruim. A atribuição destes valores deve ser conduzida sistematicamente com base na experiência de profissionais relacionados a cada fase do ciclo de vida do produto.

Nota-se que essas qualidades expressam, em parte, de maneira qualitativa, os aspectos técnicos e/ou econômicos do produto, mesmo que seja sob cada princípio individual. Se se considera, por exemplo, uma concepção cujos princípios individuais têm vendabilidade ruim, então, no conjunto, a concepção também terá uma vendabilidade ruim, embora, para alguns princípios, esta qualidade possa não fazer sentido (vendabilidade de um resalto, por exemplo).

Agora, se cada uma das qualidades no ciclo de vida do princípio for configurada sob uma dada escala de valoração, tal como, por exemplo, qualidade boa = 5, qualidade média = 3 e qualidade ruim = 1, pode-se estabelecer algumas estratégias para facilitar a geração de concepções para o produto. Essas estratégias podem ser estabelecidas de duas maneiras: de eliminação de princípios (ROOZENBURG & EEKELS [1]) e de combinação de princípios.

As estratégias de eliminação visam eliminar da matriz aqueles princípios que não satisfazem a determinados valores para as qualidades, ou conjunto delas. Assim, por exemplo, pode-se eliminar da matriz todos os princípios cuja funcionalidade seja média ou ruim (≤ 3). Noutra forma, pode-se eliminar da matriz todos aqueles princípios cuja soma das qualidades é inferior à metade do máximo valor possível para o princípio.

Sob essas estratégias a questão que permanece é: como definir quais são os interesses sobre as qualidades dos princípios de solução? Propõe-se, neste sentido, a utilização da lista de necessidades de projeto, resultante da "casa da qualidade", como meio de auxílio a essa definição. Em outras palavras, dependendo das necessidades consideradas para o projeto, estabelecem-se as qualidades desejadas para o produto (veja exemplo na FIGURA 5.21).

Sob a aplicação da proposta anterior haverá, em princípio, uma redução do número de princípios de solução a serem combinados, permanecendo aqueles de interesse, sob as qualidades desejadas. Deve-se, a partir daí, proceder na combinação dos princípios resultantes, para a qual estratégias de combinação devem ser estabelecidas.

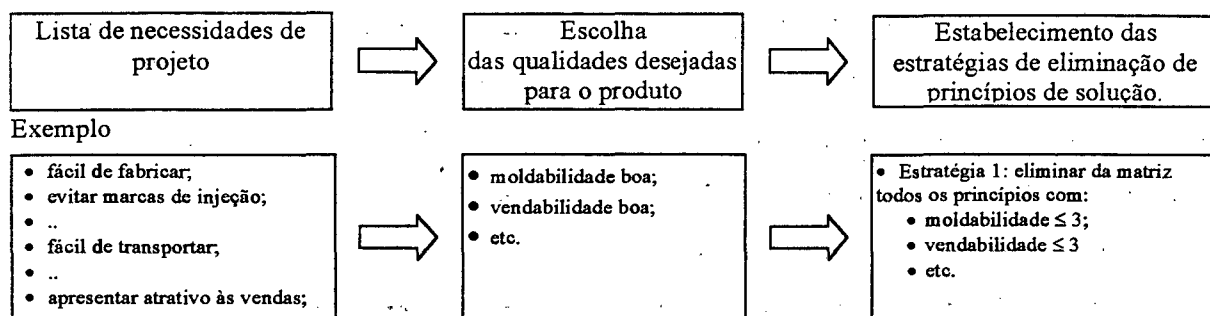


Figura 5.21 - Representação gráfica do enfoque para a determinação das qualidades desejadas numa concepção do produto.

Como estratégia de combinação de princípios de solução, considera-se aquela que utiliza os requisitos de projeto como critérios de combinação. Em outras palavras, cada decisão de combinação é confrontada com cada requisito de projeto. Essa estratégia, apesar de completa, pode tornar-se um tanto morosa e impraticável, dependendo do número de princípios de solução restantes na matriz e do número de requisitos de projeto. Uma simples matriz de duas funções vs. dois princípios de solução para cada função (quatro combinações possíveis) confrontada com uma lista de 30 requisitos de projeto levaria, pelo menos, a 120 processos de análise e de tomada de decisão.

Uma maneira de reduzir esses processos de análise e decisão, considerando os requisitos de projeto, consiste em agrupar os requisitos em categorias de interesse. Em outras palavras, ao invés de utilizar os requisitos de projeto, individualmente, utilizar-se-iam categorias ou grupos de requisitos de projeto como critérios de análise das possíveis combinações. Confia-se, dessa maneira, na capacidade de síntese do projetista sob determinado grupo de requisitos de projeto, ou seja, como ele percebe determinado grupo de requisitos nas combinações sendo analisadas.

Como orientação, nesse sentido, recomenda-se a utilização das categorias principais de requisitos de projeto, conforme propostas na TABELA 5.6, como critérios para analisar as possíveis combinações entre os princípios de solução da matriz. Assim, por exemplo, dada combinação de princípios será confrontada com relação à geometria, estrutura, desempenho técnico, aparência, desempenho econômico do componente, etc. Nota-se, sob esta orientação, que, além da redução do número de critérios de análise, muitos deles poderão ser desconsiderados em dada combinação, o que reduz ainda mais o processo de análise das combinações possíveis.

Diante da matriz morfológica e das estratégias anteriores, tem-se a oportunidade de gerar um conjunto de concepções alternativas para o componente de plástico. Nesse caso, a inovação do componente poderá ser obtida considerando-se a variação e/ou inovação das alternativas de

solução individuais para cada função do componente. Os resultados da matriz morfológica serão apresentados na forma de estruturas de princípios de solução para o produto, conforme o exemplo da FIGURA 5.22, associadas aos "princípios de solução" para as "funções especiais", representando um conceito global para o componente, conceitos de suas partes, ou elementos, individuais e conceitos da manufatura do componente.





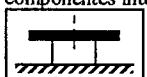
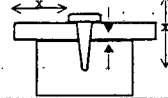
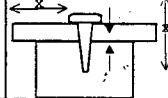
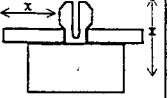

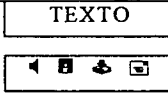
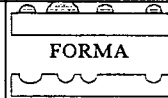
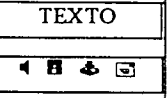

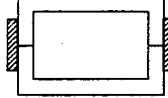

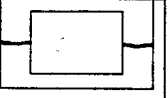

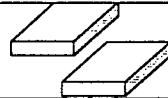
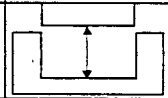
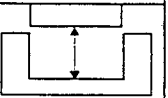
Elementos do domínio	Funções do gabinete	Concepções alternativas		
		Concepção 1	Concepção 2	Concepção n
Componentes internos	enclausurar componentes internos 			
	fixar componentes internos 			
	etc.			
Usuários do produto	informar o usuário do produto 	TEXTO 	FORMA 	TEXTO 
	etc.			
Ambiente do produto	vedar contra influências nocivas do ambiente 			
	etc.			
Demais sistema técnicos	combinar com outros produtos 			
	etc.			
Funções especiais	função processo			
	função molde			
	função material			

Figura 5.22 - Exemplo parcial dos resultados obtidos na matriz morfológica.

5.3.5 - Valoração das concepções alternativas do produto

O estabelecimento de um conjunto de concepções para o produto, conforme o item anterior, não implica o término do projeto conceitual. Muitas concepções geradas, sob o método morfológico, podem não ser, no conjunto, promissoras para as demais fases do desenvolvimento. É necessário estabelecer aquela mais adequada para, então, conduzir o projeto preliminar e detalhado do produto. Nesse caso, a metodologia de projeto deve prescrever determinados procedimentos sob os quais as concepções estabelecidas possam ser avaliadas e valoradas.

Em parte, a avaliação de concepções do produto ocorre durante a combinação de princípios de solução na matriz morfológica. Entretanto, foram considerados, lá, os princípios de solução individuais. Aqui, pretende-se avaliar as concepções alternativas do produto no seu conjunto.

Para tal, têm sido propostos vários métodos levando-se em conta as informações de natureza qualitativa, limitadas e abstratas das concepções do produto. ULLMAN [29], por exemplo, propõe que as concepções do produto sejam avaliadas sob o julgamento da viabilidade (baseado na experiência dos projetistas), disponibilidade tecnológica (baseada no estado da técnica), exame "passa/não passa" (baseado na comparação das características de cada concepção do produto contra as necessidades de projeto: "passa/não passa") e através da matriz de decisão ou método de *Pugh* (baseado na obtenção de escores para cada concepção do produto, comparados com as necessidades de projeto e levando-se em conta uma concepção de referência: aquela de preferência dos projetistas). Demais métodos de avaliação são descritos em PAHL & BEITZ [12] e BACK [3], considerando o confronto das características de cada concepção alternativa contra determinados critérios de avaliação (geralmente os requisitos de projeto).

Em algumas dessas abordagens, entretanto, não fica muito claro, ou explícito, quais são as características das concepções geradas que estão sendo confrontadas com os critérios de avaliação. Em outras, ainda, as características consideradas encontram-se num nível de detalhamento nem sempre obtido na fase do projeto conceitual do produto.

Na matriz de decisão, por exemplo, conforme ULLMAN [29], os itens que são comparados com os critérios de avaliação são as diferentes idéias desenvolvidas para o produto (projeto de uma pára-lama de bicicleta, por exemplo) representadas, conforme a FIGURA 5.23, na forma de esquemas. Estes indicam a natureza da solução proposta, seus principais elementos e as relações entre esses elementos. Nesse caso, conforme se observa, as características das soluções sendo avaliadas não são explícitas. Será o número de elementos da solução?, serão os tipos de elementos? ou serão os princípios de funcionamento das soluções? Estas características dependem, em parte, do entendimento ou da percepção do projetista sobre cada uma das soluções propostas. Dessa maneira, como as soluções são de diferentes naturezas e não existe uma "base de comparação" explícita e comum, muitas características poderão ser desconsideradas, ou relegadas, no processo de avaliação.

Nas propostas de BACK [3] e PAHL & BEITZ [12], por sua vez, sob o método da matriz de avaliação, embora se configure uma base de características para confrontar as soluções geradas com os critérios de avaliação, conforme exemplo mostrado na FIGURA 5.24, estas características são consideradas sob um nível de informação que nem sempre é possível estabelecer na fase de concepção do produto. São características mais apropriadas para a avaliação na fase do projeto preliminar do produto.

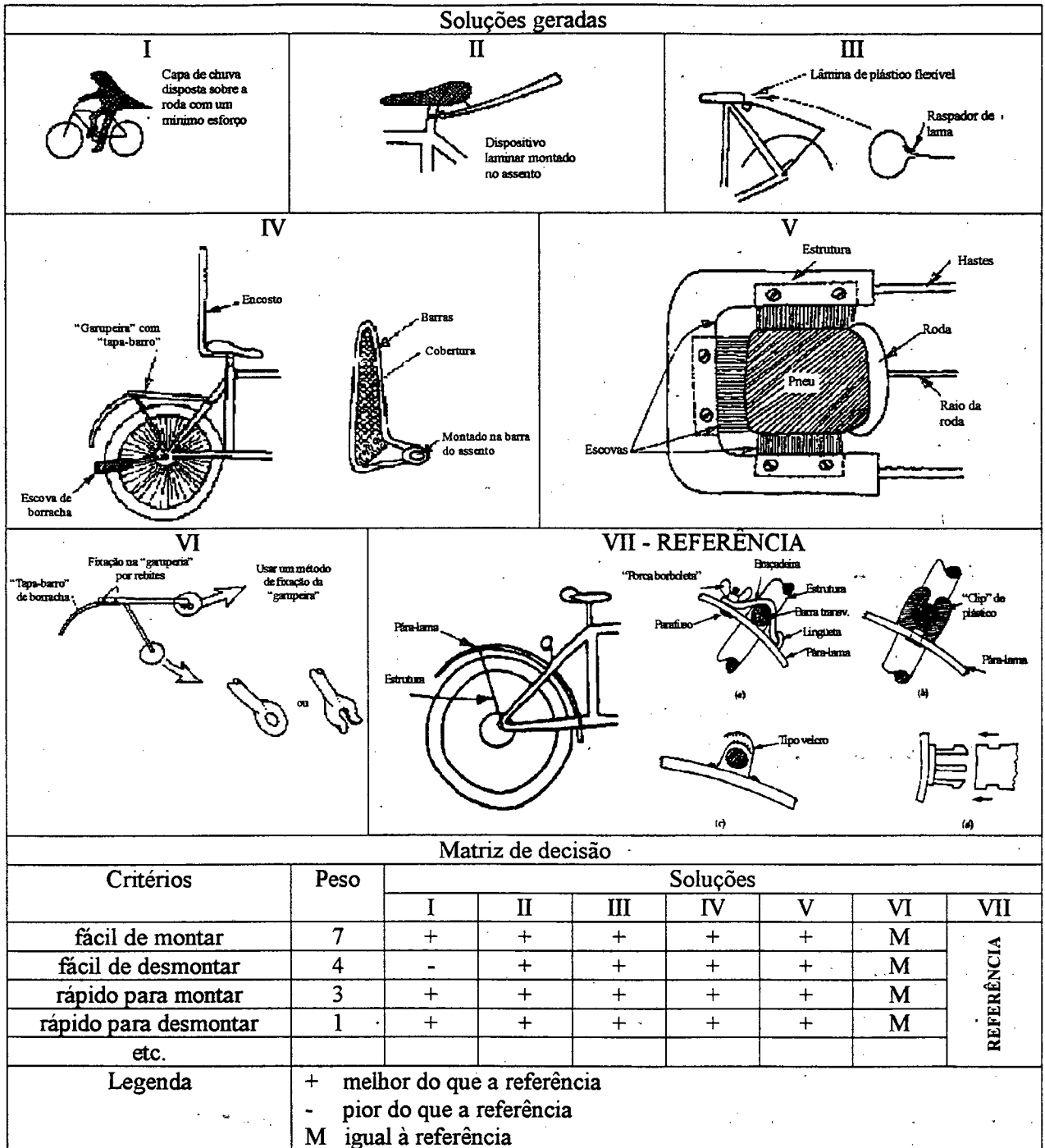


Figura 5.23 - Exemplo parcial de uma matriz de decisão (adaptado de ULLMAN [29]).

Conforme vem sendo considerado na presente tese, cada concepção do produto é constituída por uma estrutura de princípios de solução. Cada princípio de solução, por sua vez, é caracterizado por um conjunto de qualidades. Dessa maneira, cada concepção do produto será caracterizada pelo conjunto das qualidades e pelas respectivas somas de valores, em cada um de seus princípios de solução, conforme exemplo mostrado na FIGURA 5.25.

Base de comparação ou de confronto com os critérios de avaliação		Solução S1				Solução S2			
		consumo de combustível (g/kwh)	relação peso/potência (kg/kw)	facilidade de fundição das peças	vida (km)	consumo de combustível (g/kwh)	relação peso/potência (kg/kw)	facilidade de fundição das peças	vida (km)
Critérios de avaliação	Peso (p _i)	240	1,7	regular	80.000	300	2,7	bom	95.000
pequeno consumo de combustível	0,30	v ₁₁ = 3				v ₁₂ = 2			
baixo peso	0,15		4				2		
fácil fabricação	0,10			1				1	
vida longa	0,20				2				3
etc.	p _n								
	∑ p _i v _{ij}	(3 x 0,30) + (4 x 0,15) + (1 x 0,10) + (2 x 0,20) = 2			(2 x 0,30) + (2 x 0,15) + (1 x 0,10) + (3 x 0,20) = 1,6				

Figura 5.24 - Exemplo de uma matriz de avaliação (adaptado de BACK [3]).

Sob a estrutura de caracterização, conforme a FIGURA 5.25, verifica-se que é possível estabelecer um valor global para cada concepção do produto. Esse valor, denominado aqui de VGC (Valor Global da Concepção), é determinado conforme a EQUAÇÃO 5.1, a seguir.

$$VGC^i = \sum_{j=1}^{nQ} (\sum_{k=1}^{nPS} VQ_{jk}^i) \tag{5.1}$$

onde

- VGCⁱ = valor global da concepção i;
- VQⁱ_{jk} = valor da qualidade j, do princípio de solução k, da concepção i;
- nQ = número de qualidades do princípio de solução k, e
- nPS = número de princípios de solução da concepção i.

Como exemplo de aplicação da EQUAÇÃO 5.1, considerando a FIGURA 5.25, o Valor Global da Concepção 1 será dado por:

$$\begin{aligned}
 VGC^1 &= ((VQ^1_{11} + VQ^1_{12} + VQ^1_{13}) + (VQ^1_{21} + VQ^1_{22} + VQ^1_{23}) + (VQ^1_{31} + VQ^1_{32} + VQ^1_{33}) + (VQ^1_{41} + \\
 &VQ^1_{42} + VQ^1_{43}) + (VQ^1_{51} + VQ^1_{52} + VQ^1_{53}) + (VQ^1_{61} + VQ^1_{62} + VQ^1_{63}) + (VQ^1_{71} + VQ^1_{72} + \\
 &VQ^1_{73}) + (VQ^1_{81} + VQ^1_{82} + VQ^1_{83}) + (VQ^1_{91} + VQ^1_{92} + VQ^1_{93}) + (VQ^1_{101} + VQ^1_{102} + VQ^1_{103})) = \\
 &((5 + 0 + 0) + (5 + 5 + 1) + (5 + 5 + 1) + (5 + 5 + 5) + (0 + 0 + 5) + (0 + 0 + 0) + (0 + 0 + 0) + (0 + 0 \\
 &+ 0) + (0 + 0 + 0) + (0 + 0 + 0)) = 47
 \end{aligned}$$

Diante dos valores globais de cada concepção do produto parece adequado afirmar que a concepção 1 (VGC¹ = 47) será mais adequada para o projeto do que a concepção 2 (VGC² = 46). De fato, isso será verdade se não houver diferenças nos pesos das qualidades desejadas para o produto final e nos pesos relativos das qualidades de cada concepção.

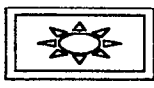
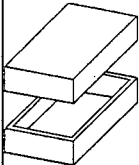
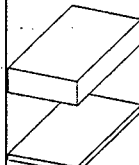
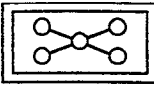


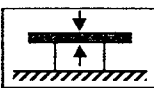
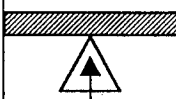
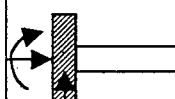
Funções	Concepção 1	Concepção 2																																																
enclausurar componentes internos 	 <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">PS₁₁</th> </tr> <tr> <th>qualidades do princípio PS₁₁</th> <th>Valor VQ¹_{jk}</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>competitividade</td><td>VQ¹₁₁ = 5</td></tr> <tr><td>funcionalidade</td><td>VQ¹₂₁ = 5</td></tr> <tr><td>projetabilidade</td><td>VQ¹₃₁ = 5</td></tr> <tr><td>compatibilidade</td><td>VQ¹₄₁ = 5</td></tr> <tr><td>moldabilidade</td><td>VQ¹₅₁ = 0</td></tr> <tr><td>montabilidade</td><td>VQ¹₆₁ = 0</td></tr> <tr><td>vendabilidade</td><td>VQ¹₇₁ = 0</td></tr> <tr><td>utilizabilidade</td><td>VQ¹₈₁ = 0</td></tr> <tr><td>manutenabilidade</td><td>VQ¹₉₁ = 0</td></tr> <tr><td>desativabilidade</td><td>VQ¹₁₀₁ = 0</td></tr> </tbody> </table>	PS ₁₁		qualidades do princípio PS ₁₁	Valor VQ ¹ _{jk}	competitividade	VQ ¹ ₁₁ = 5	funcionalidade	VQ ¹ ₂₁ = 5	projetabilidade	VQ ¹ ₃₁ = 5	compatibilidade	VQ ¹ ₄₁ = 5	moldabilidade	VQ ¹ ₅₁ = 0	montabilidade	VQ ¹ ₆₁ = 0	vendabilidade	VQ ¹ ₇₁ = 0	utilizabilidade	VQ ¹ ₈₁ = 0	manutenabilidade	VQ ¹ ₉₁ = 0	desativabilidade	VQ ¹ ₁₀₁ = 0	 <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">PS₁₂</th> </tr> <tr> <th>qualidades do princípio PS₁₂</th> <th>Valor VQ²_{jk}</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>competitividade</td><td>VQ²₁₁ = 5</td></tr> <tr><td>funcionalidade</td><td>VQ²₂₁ = 5</td></tr> <tr><td>projetabilidade</td><td>VQ²₃₁ = 5</td></tr> <tr><td>compatibilidade</td><td>VQ²₄₁ = 3</td></tr> <tr><td>moldabilidade</td><td>VQ²₅₁ = 0</td></tr> <tr><td>montabilidade</td><td>VQ²₆₁ = 0</td></tr> <tr><td>vendabilidade</td><td>VQ²₇₁ = 0</td></tr> <tr><td>utilizabilidade</td><td>VQ²₈₁ = 0</td></tr> <tr><td>manutenabilidade</td><td>VQ²₉₁ = 0</td></tr> <tr><td>desativabilidade</td><td>VQ²₁₀₁ = 0</td></tr> </tbody> </table>	PS ₁₂		qualidades do princípio PS ₁₂	Valor VQ ² _{jk}	competitividade	VQ ² ₁₁ = 5	funcionalidade	VQ ² ₂₁ = 5	projetabilidade	VQ ² ₃₁ = 5	compatibilidade	VQ ² ₄₁ = 3	moldabilidade	VQ ² ₅₁ = 0	montabilidade	VQ ² ₆₁ = 0	vendabilidade	VQ ² ₇₁ = 0	utilizabilidade	VQ ² ₈₁ = 0	manutenabilidade	VQ ² ₉₁ = 0	desativabilidade	VQ ² ₁₀₁ = 0
PS ₁₁																																																		
qualidades do princípio PS ₁₁	Valor VQ ¹ _{jk}																																																	
competitividade	VQ ¹ ₁₁ = 5																																																	
funcionalidade	VQ ¹ ₂₁ = 5																																																	
projetabilidade	VQ ¹ ₃₁ = 5																																																	
compatibilidade	VQ ¹ ₄₁ = 5																																																	
moldabilidade	VQ ¹ ₅₁ = 0																																																	
montabilidade	VQ ¹ ₆₁ = 0																																																	
vendabilidade	VQ ¹ ₇₁ = 0																																																	
utilizabilidade	VQ ¹ ₈₁ = 0																																																	
manutenabilidade	VQ ¹ ₉₁ = 0																																																	
desativabilidade	VQ ¹ ₁₀₁ = 0																																																	
PS ₁₂																																																		
qualidades do princípio PS ₁₂	Valor VQ ² _{jk}																																																	
competitividade	VQ ² ₁₁ = 5																																																	
funcionalidade	VQ ² ₂₁ = 5																																																	
projetabilidade	VQ ² ₃₁ = 5																																																	
compatibilidade	VQ ² ₄₁ = 3																																																	
moldabilidade	VQ ² ₅₁ = 0																																																	
montabilidade	VQ ² ₆₁ = 0																																																	
vendabilidade	VQ ² ₇₁ = 0																																																	
utilizabilidade	VQ ² ₈₁ = 0																																																	
manutenabilidade	VQ ² ₉₁ = 0																																																	
desativabilidade	VQ ² ₁₀₁ = 0																																																	
arranjar componentes internos 	 <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">PS₂₁</th> </tr> <tr> <th>qualidades do princípio PS₂₁</th> <th>Valor VQ¹_{jk}</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>competitividade</td><td>VQ¹₁₂ = 0</td></tr> <tr><td>funcionalidade</td><td>VQ¹₂₂ = 5</td></tr> <tr><td>projetabilidade</td><td>VQ¹₃₂ = 5</td></tr> <tr><td>compatibilidade</td><td>VQ¹₄₂ = 5</td></tr> <tr><td>moldabilidade</td><td>VQ¹₅₂ = 0</td></tr> <tr><td>montabilidade</td><td>VQ¹₆₂ = 0</td></tr> <tr><td>vendabilidade</td><td>VQ¹₇₂ = 0</td></tr> <tr><td>utilizabilidade</td><td>VQ¹₈₂ = 0</td></tr> <tr><td>manutenabilidade</td><td>VQ¹₉₂ = 0</td></tr> <tr><td>desativabilidade</td><td>VQ¹₁₀₂ = 0</td></tr> </tbody> </table>	PS ₂₁		qualidades do princípio PS ₂₁	Valor VQ ¹ _{jk}	competitividade	VQ ¹ ₁₂ = 0	funcionalidade	VQ ¹ ₂₂ = 5	projetabilidade	VQ ¹ ₃₂ = 5	compatibilidade	VQ ¹ ₄₂ = 5	moldabilidade	VQ ¹ ₅₂ = 0	montabilidade	VQ ¹ ₆₂ = 0	vendabilidade	VQ ¹ ₇₂ = 0	utilizabilidade	VQ ¹ ₈₂ = 0	manutenabilidade	VQ ¹ ₉₂ = 0	desativabilidade	VQ ¹ ₁₀₂ = 0	 <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">PS₂₂</th> </tr> <tr> <th>qualidades do princípio PS₂₂</th> <th>Valor VQ²_{jk}</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>competitividade</td><td>VQ²₁₂ = 0</td></tr> <tr><td>funcionalidade</td><td>VQ²₂₂ = 5</td></tr> <tr><td>projetabilidade</td><td>VQ²₃₂ = 3</td></tr> <tr><td>compatibilidade</td><td>VQ²₄₂ = 3</td></tr> <tr><td>moldabilidade</td><td>VQ²₅₂ = 0</td></tr> <tr><td>montabilidade</td><td>VQ²₆₂ = 3</td></tr> <tr><td>vendabilidade</td><td>VQ²₇₂ = 0</td></tr> <tr><td>utilizabilidade</td><td>VQ²₈₂ = 0</td></tr> <tr><td>manutenabilidade</td><td>VQ²₉₂ = 0</td></tr> <tr><td>desativabilidade</td><td>VQ²₁₀₂ = 0</td></tr> </tbody> </table>	PS ₂₂		qualidades do princípio PS ₂₂	Valor VQ ² _{jk}	competitividade	VQ ² ₁₂ = 0	funcionalidade	VQ ² ₂₂ = 5	projetabilidade	VQ ² ₃₂ = 3	compatibilidade	VQ ² ₄₂ = 3	moldabilidade	VQ ² ₅₂ = 0	montabilidade	VQ ² ₆₂ = 3	vendabilidade	VQ ² ₇₂ = 0	utilizabilidade	VQ ² ₈₂ = 0	manutenabilidade	VQ ² ₉₂ = 0	desativabilidade	VQ ² ₁₀₂ = 0
PS ₂₁																																																		
qualidades do princípio PS ₂₁	Valor VQ ¹ _{jk}																																																	
competitividade	VQ ¹ ₁₂ = 0																																																	
funcionalidade	VQ ¹ ₂₂ = 5																																																	
projetabilidade	VQ ¹ ₃₂ = 5																																																	
compatibilidade	VQ ¹ ₄₂ = 5																																																	
moldabilidade	VQ ¹ ₅₂ = 0																																																	
montabilidade	VQ ¹ ₆₂ = 0																																																	
vendabilidade	VQ ¹ ₇₂ = 0																																																	
utilizabilidade	VQ ¹ ₈₂ = 0																																																	
manutenabilidade	VQ ¹ ₉₂ = 0																																																	
desativabilidade	VQ ¹ ₁₀₂ = 0																																																	
PS ₂₂																																																		
qualidades do princípio PS ₂₂	Valor VQ ² _{jk}																																																	
competitividade	VQ ² ₁₂ = 0																																																	
funcionalidade	VQ ² ₂₂ = 5																																																	
projetabilidade	VQ ² ₃₂ = 3																																																	
compatibilidade	VQ ² ₄₂ = 3																																																	
moldabilidade	VQ ² ₅₂ = 0																																																	
montabilidade	VQ ² ₆₂ = 3																																																	
vendabilidade	VQ ² ₇₂ = 0																																																	
utilizabilidade	VQ ² ₈₂ = 0																																																	
manutenabilidade	VQ ² ₉₂ = 0																																																	
desativabilidade	VQ ² ₁₀₂ = 0																																																	
suportar componentes internos 	 <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">PS₃₁</th> </tr> <tr> <th>qualidades do princípio PS₃₁</th> <th>Valor VQ¹_{jk}</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>competitividade</td><td>VQ¹₁₃ = 0</td></tr> <tr><td>funcionalidade</td><td>VQ¹₂₃ = 1</td></tr> <tr><td>projetabilidade</td><td>VQ¹₃₃ = 1</td></tr> <tr><td>compatibilidade</td><td>VQ¹₄₃ = 5</td></tr> <tr><td>moldabilidade</td><td>VQ¹₅₃ = 5</td></tr> <tr><td>montabilidade</td><td>VQ¹₆₃ = 0</td></tr> <tr><td>vendabilidade</td><td>VQ¹₇₃ = 0</td></tr> <tr><td>utilizabilidade</td><td>VQ¹₈₃ = 0</td></tr> <tr><td>manutenabilidade</td><td>VQ¹₉₃ = 0</td></tr> <tr><td>desativabilidade</td><td>VQ¹₁₀₃ = 0</td></tr> </tbody> </table>	PS ₃₁		qualidades do princípio PS ₃₁	Valor VQ ¹ _{jk}	competitividade	VQ ¹ ₁₃ = 0	funcionalidade	VQ ¹ ₂₃ = 1	projetabilidade	VQ ¹ ₃₃ = 1	compatibilidade	VQ ¹ ₄₃ = 5	moldabilidade	VQ ¹ ₅₃ = 5	montabilidade	VQ ¹ ₆₃ = 0	vendabilidade	VQ ¹ ₇₃ = 0	utilizabilidade	VQ ¹ ₈₃ = 0	manutenabilidade	VQ ¹ ₉₃ = 0	desativabilidade	VQ ¹ ₁₀₃ = 0	 <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">PS₃₂</th> </tr> <tr> <th>qualidades do princípio PS₃₂</th> <th>Valor VQ²_{jk}</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>competitividade</td><td>VQ²₁₃ = 0</td></tr> <tr><td>funcionalidade</td><td>VQ²₂₃ = 5</td></tr> <tr><td>projetabilidade</td><td>VQ²₃₃ = 3</td></tr> <tr><td>compatibilidade</td><td>VQ²₄₃ = 3</td></tr> <tr><td>moldabilidade</td><td>VQ²₅₃ = 3</td></tr> <tr><td>montabilidade</td><td>VQ²₆₃ = 0</td></tr> <tr><td>vendabilidade</td><td>VQ²₇₃ = 0</td></tr> <tr><td>utilizabilidade</td><td>VQ²₈₃ = 0</td></tr> <tr><td>manutenabilidade</td><td>VQ²₉₃ = 0</td></tr> <tr><td>desativabilidade</td><td>VQ²₁₀₃ = 0</td></tr> </tbody> </table>	PS ₃₂		qualidades do princípio PS ₃₂	Valor VQ ² _{jk}	competitividade	VQ ² ₁₃ = 0	funcionalidade	VQ ² ₂₃ = 5	projetabilidade	VQ ² ₃₃ = 3	compatibilidade	VQ ² ₄₃ = 3	moldabilidade	VQ ² ₅₃ = 3	montabilidade	VQ ² ₆₃ = 0	vendabilidade	VQ ² ₇₃ = 0	utilizabilidade	VQ ² ₈₃ = 0	manutenabilidade	VQ ² ₉₃ = 0	desativabilidade	VQ ² ₁₀₃ = 0
PS ₃₁																																																		
qualidades do princípio PS ₃₁	Valor VQ ¹ _{jk}																																																	
competitividade	VQ ¹ ₁₃ = 0																																																	
funcionalidade	VQ ¹ ₂₃ = 1																																																	
projetabilidade	VQ ¹ ₃₃ = 1																																																	
compatibilidade	VQ ¹ ₄₃ = 5																																																	
moldabilidade	VQ ¹ ₅₃ = 5																																																	
montabilidade	VQ ¹ ₆₃ = 0																																																	
vendabilidade	VQ ¹ ₇₃ = 0																																																	
utilizabilidade	VQ ¹ ₈₃ = 0																																																	
manutenabilidade	VQ ¹ ₉₃ = 0																																																	
desativabilidade	VQ ¹ ₁₀₃ = 0																																																	
PS ₃₂																																																		
qualidades do princípio PS ₃₂	Valor VQ ² _{jk}																																																	
competitividade	VQ ² ₁₃ = 0																																																	
funcionalidade	VQ ² ₂₃ = 5																																																	
projetabilidade	VQ ² ₃₃ = 3																																																	
compatibilidade	VQ ² ₄₃ = 3																																																	
moldabilidade	VQ ² ₅₃ = 3																																																	
montabilidade	VQ ² ₆₃ = 0																																																	
vendabilidade	VQ ² ₇₃ = 0																																																	
utilizabilidade	VQ ² ₈₃ = 0																																																	
manutenabilidade	VQ ² ₉₃ = 0																																																	
desativabilidade	VQ ² ₁₀₃ = 0																																																	
etc.	PS _{k1}	PS _{k2}																																																
Características das concepções	<table border="1"> <thead> <tr> <th>qualidades da concepção 1</th> <th>Valor <math>\sum VQ¹_{jk}</math></th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>competitividade</td><td>5+0+0</td></tr> <tr><td>funcionalidade</td><td>5+5+1</td></tr> <tr><td>projetabilidade</td><td>5+5+1</td></tr> <tr><td>compatibilidade</td><td>5+5+5</td></tr> <tr><td>moldabilidade</td><td>0+0+5</td></tr> <tr><td>montabilidade</td><td>0+0+0</td></tr> <tr><td>vendabilidade</td><td>0+0+0</td></tr> <tr><td>utilizabilidade</td><td>0+0+0</td></tr> <tr><td>manutenabilidade</td><td>0+0+0</td></tr> <tr><td>desativabilidade</td><td>0+0+0</td></tr> <tr><td>VGC¹</td><td>47</td></tr> </tbody> </table>	qualidades da concepção 1	Valor $\sum VQ1jk$	competitividade	5+0+0	funcionalidade	5+5+1	projetabilidade	5+5+1	compatibilidade	5+5+5	moldabilidade	0+0+5	montabilidade	0+0+0	vendabilidade	0+0+0	utilizabilidade	0+0+0	manutenabilidade	0+0+0	desativabilidade	0+0+0	VGC ¹	47	<table border="1"> <thead> <tr> <th>qualidades da concepção 1</th> <th>Valor <math>\sum VQ²_{jk}</math></th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>competitividade</td><td>5+0+0</td></tr> <tr><td>funcionalidade</td><td>5+5+5</td></tr> <tr><td>projetabilidade</td><td>5+3+3</td></tr> <tr><td>compatibilidade</td><td>3+3+3</td></tr> <tr><td>moldabilidade</td><td>0+0+3</td></tr> <tr><td>montabilidade</td><td>0+3+0</td></tr> <tr><td>vendabilidade</td><td>0+0+0</td></tr> <tr><td>utilizabilidade</td><td>0+0+0</td></tr> <tr><td>manutenabilidade</td><td>0+0+0</td></tr> <tr><td>desativabilidade</td><td>0+0+0</td></tr> <tr><td>VGC²</td><td>46</td></tr> </tbody> </table>	qualidades da concepção 1	Valor $\sum VQ2jk$	competitividade	5+0+0	funcionalidade	5+5+5	projetabilidade	5+3+3	compatibilidade	3+3+3	moldabilidade	0+0+3	montabilidade	0+3+0	vendabilidade	0+0+0	utilizabilidade	0+0+0	manutenabilidade	0+0+0	desativabilidade	0+0+0	VGC ²	46
qualidades da concepção 1	Valor $\sum VQ1jk$																																																	
competitividade	5+0+0																																																	
funcionalidade	5+5+1																																																	
projetabilidade	5+5+1																																																	
compatibilidade	5+5+5																																																	
moldabilidade	0+0+5																																																	
montabilidade	0+0+0																																																	
vendabilidade	0+0+0																																																	
utilizabilidade	0+0+0																																																	
manutenabilidade	0+0+0																																																	
desativabilidade	0+0+0																																																	
VGC ¹	47																																																	
qualidades da concepção 1	Valor $\sum VQ2jk$																																																	
competitividade	5+0+0																																																	
funcionalidade	5+5+5																																																	
projetabilidade	5+3+3																																																	
compatibilidade	3+3+3																																																	
moldabilidade	0+0+3																																																	
montabilidade	0+3+0																																																	
vendabilidade	0+0+0																																																	
utilizabilidade	0+0+0																																																	
manutenabilidade	0+0+0																																																	
desativabilidade	0+0+0																																																	
VGC ²	46																																																	

Figura 5.25 - Exemplo parcial da caracterização qualitativa das concepções do produto.

No primeiro caso, dependendo dos requisitos de projeto, algumas qualidades poderão ter maior peso para o produto final em detrimento de outras. Nesse caso, o resultado da avaliação de cada concepção poderá ser diferente daquele indicado apenas pelo valor global da concepção.

A determinação das qualidades desejadas para o produto final, e seus respectivos pesos de importância, pode ser obtida relacionando-se os requisitos de projeto com as qualidades que caracterizam as concepções do produto, sob as seguintes considerações:

- se um dado requisito de projeto relaciona-se com uma dada qualidade, significa que esta qualidade será desejada e terá um peso maior do que aquelas que não apresentam relacionamentos com aquele requisito;
- os relacionamentos entre os requisitos e as qualidades podem ser estabelecidos sob a seguinte escala de valores: relacionamento forte = 5; relacionamento médio = 3 e relacionamento fraco = 1;
- a relação entre um dado requisito e uma dada qualidade expressa o quanto o requisito é dependente da qualidade para ser satisfeito. Assim, por exemplo, **menor tempo de injeção** (requisito) é dependente da **moldabilidade** (qualidade) do produto. Em outras palavras, se o produto tem uma moldabilidade adequada, ele satisfaz a um menor tempo de injeção.

Sob os relacionamentos entre os requisitos de projeto e as qualidades que caracterizam as concepções, conforme as considerações anteriores, pode-se estabelecer os pesos de importância das qualidades desejadas para o produto pela soma dos graus de relacionamentos de cada qualidade com os requisitos de projeto. Esse peso é denominado, aqui, de **Peso da Qualidade Desejada para o Produto (PQDP)**.

O **Peso da Qualidade Desejada para o Produto** poderá ser refinado, ainda, se cada requisito de projeto for considerado sob sua posição na classificação estabelecida na “casa da qualidade”. Para tal, é necessário um **Fator de Classificação do Requisito (FCR)** que estabelecerá um peso de importância para cada requisito de projeto.

Sob tais considerações, o **Peso das Qualidades Desejadas para o Produto (PQDP)** pode ser determinado, conforme a **EQUAÇÃO 5.2**, a seguir.

$$PQDP_j = \sum_{n=1}^{nR} FCR_n * grRQ_{nj} \quad (5.2)$$

onde:

$PQDP_j$ = peso da qualidade j desejada para o produto;
 FCR_n = fator de classificação do requisito n ;
 $grRQ_{nj}$ = grau de relacionamento entre o requisito n e a qualidade j ; e
 nR = número de requisitos de projeto.

Nesse caso, o fator de classificação do requisito n é dado conforme a **EQUAÇÃO 5.3**, a seguir.

$$FCR_n = \frac{nR - (pRC_n - 1)}{nR} \quad (5.3)$$

onde

pRC_n = posição do requisito n na classificação da “casa da qualidade”.

Um exemplo de aplicação das equações 5.2 e 5.3 é mostrado na FIGURA 5.26.

Escala de relacionamento: 5 - relacionamento forte 3 - relacionamento médio 1 - relacionamento fraco			Qualidades que caracterizam as concepções							
			Posição dos requisitos na classificação da “casa da qualidade” (pRC_n)	Fator de classificação do requisito (FCR_n)	Q_1 competitividade	Q_2 funcionalidade	Q_3 projetabilidade	Q_4 compatibilidade	Q_5 moldabilidade	Q_6 montabilidade
Requisitos de projeto	$R_1 = (-)$ custo do produto	$pRC_1 = 1^\circ$	$FCR_1 = 1$	5		5	1	3	3	-
	$R_2 = (-)$ peso do produto	$pRC_2 = 2^\circ$	$FCR_2 = 4/5$	-	5	3	1			-
	$R_3 = (-)$ tempo de injeção	$pRC_3 = 3^\circ$	$FCR_3 = 3/5$	-		5	-	5		-
	$R_4 = (-)$ tempo de montagem	$pRC_4 = 4^\circ$	$FCR_4 = 2/5$	3	5	5	5	1	5	-
	$R_5 = (+)$ aparência externa	$pRC_5 = 5^\circ$	$FCR_5 = 1/5$	5	3	5	-	5	-	-
	$R_n = etc.$	pRC_n	FCR_n	-	-	-	-	-	-	-
Peso das Qualidades Desejadas para o Produto (PQDP_j)				7,2	6,6	13,4	3,8	7,4	5,0	-

Exemplo de determinação do relacionamento

um produto de melhor aparência depende de sua competitividade? (sim - 5); ou um produto competitivo apresentará melhor aparência? (sim - 5).

Exemplo de determinação do relacionamento

um produto de menor custo dependerá de sua projetabilidade? (sim - 5); ou um produto de boa projetabilidade apresentará menor custo? (sim - 5).

$grRQ_{nj}$

Figura 5.26 - Exemplo parcial de valoração das qualidades desejadas para o produto.

De acordo com a FIGURA 5.26 e as equações 5.2 e 5.3, o Peso da Qualidade Desejada para o Produto, $PQDP_3$, por exemplo, é determinado conforme se vê a seguir.

$$PQDP_3 = (FCR_1 * grRQ_{13}) + (FCR_2 * grRQ_{23}) + (FCR_3 * grRQ_{33}) + (FCR_4 * grRQ_{43}) + (FCR_5 * grRQ_{53}) + (FCR_n * grRQ_{nj}) = (1 * 5) + (4/5 * 3) + (3/5 * 5) + (2/5 * 5) + (1/5 * 5) = 13,4.$$

Com relação ao peso relativo de cada qualidade na concepção, denominado, aqui, de PRQ_j^i , basta dividir o valor global de cada qualidade sobre o valor global da concepção, conforme a equação 5.4, a seguir.

$$PRQ_j^i = \frac{\sum_{k=1}^{nPS} VQ_{jk}^i}{VGC^i} \tag{5.4}$$

onde:

PRQ_j^i = peso relativo da qualidade j , na concepção i ;
 VQ_{jk}^i = valor da qualidade j , do princípio de solução k , da concepção i ;
 nPS = número de princípios de solução da concepção i ; e
 VGC^i = valor global da concepção i , calculado pela equação 5.1.

Como exemplos de aplicação da EQUAÇÃO 5.4, levando-se em conta os dados da FIGURA 5.25, os pesos relativos da **funcionalidade**, na concepção 1 e na concepção 2, serão dados por:

$$PRQ_2^1 = (VQ_{21}^1 + VQ_{22}^1 + VQ_{23}^1) / VGC^1 = (5 + 5 + 1) / 47 = 0,23$$

ou, aproximadamente, 23%.

$$PRQ_2^2 = (VQ_{21}^2 + VQ_{22}^2 + VQ_{23}^2) / VGC^2 = (5 + 5 + 5) / 46 = 0,32$$

ou, aproximadamente, 32%.

Sob os exemplos anteriores verifica-se que, se a **funcionalidade** for estabelecida como uma qualidade desejada para o produto final, em detrimento das demais, então a concepção 2, independentemente de seu valor global, tornar-se-á, comparada à concepção 1, aquela mais indicada como solução de projeto. Entretanto, poderão existir outras qualidades desejadas para o produto, com pesos maiores do que a funcionalidade e também com pesos relativos, na concepção, diferentes, que poderão influenciar sobre qual será a concepção mais apropriada para o problema. Dessa maneira, parece adequado determinar um valor para cada concepção do produto, combinando os pesos das qualidades desejadas com os pesos relativos de cada qualidade na concepção. Esse valor, denominado aqui de VC (Valor da Concepção), é estabelecido conforme a EQUAÇÃO 5.5, a seguir.

$$VC^i = \sum_{j=1}^{nQ} PQDP_j * PRQ_j^i \quad (5.5)$$

onde:

VC^i = valor da concepção i ;
 $PQDP_j$ = peso da qualidade desejada para o produto j (determinado pelas equações 5.2 e 5.3);
 PRQ_j^i = peso relativo da qualidade j na concepção i (determinado pela equação 5.4); e
 nQ = número de qualidades na concepção i .

Diante da EQUAÇÃO 5.5 e considerando os exemplos das FIGURAS 5.25 e 5.26, as concepções alternativas do produto podem ser valoradas conforme mostrado a seguir.

$$\begin{aligned}
 VC^1 &= (PDQP_1 * PRQ^1_1) + (PDQP_2 * PRQ^1_2) + (PDQP_3 * PRQ^1_3) + (PDQP_4 * PRQ^1_4) + (PDQP_5 * PRQ^1_5) \\
 &+ (PDQP_6 * PRQ^1_6) + (PDQP_7 * PRQ^1_7) + (PDQP_8 * PRQ^1_8) + (PDQP_9 * PRQ^1_9) + \\
 &(PDQP_{10} * PRQ^1_{10}) = (7,2 * 5/47) + (6,6 * 11/47) + (13,4 * 11/47) + (3,8 * 15/47) + (7,4 * 5/47) \\
 &+ (5,0 * 0/47) + (0,0 * 0/47) + (0,0 * 0/47) + (0,0 * 0/47) + (0,0 * 0/47) = (0,76) + (1,54) + (3,14) \\
 &+ (1,21) + (0,79) + (0) + (0) + (0) + (0) + (0) \\
 &= 7,44; e
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 VC^2 &= (PDQP_1 * PRQ^2_1) + (PDQP_2 * PRQ^2_2) + (PDQP_3 * PRQ^2_3) + (PDQP_4 * PRQ^2_4) + (PDQP_5 * PRQ^2_5) \\
 &+ (PDQP_6 * PRQ^2_6) + (PDQP_7 * PRQ^2_7) + (PDQP_8 * PRQ^2_8) + (PDQP_9 * PRQ^2_9) + \\
 &(PDQP_{10} * PRQ^2_{10}) = (7,2 * 5/46) + (6,6 * 15/46) + (13,4 * 11/46) + (3,8 * 9/46) + (7,4 * 3/46) + \\
 &(5,0 * 3/46) + (0,0 * 0/46) + (0,0 * 0/46) + (0,0 * 0/46) + (0,0 * 0/46) = (0,78) + (2,15) + (3,20) + \\
 &(0,74) + (0,48) + (0,32) + (0) + (0) + (0) + (0) \\
 &= 7,67.
 \end{aligned}$$

De acordo com o resultado da valoração nota-se que a concepção 2 será aquela mais indicada para o projeto, considerando a combinação dos pesos das qualidades desejadas para o produto e os pesos relativos das qualidades de cada concepção.

Sob o método de valoração proposto, que se constitui, em essência, numa extensão daquele apresentado por BACK [3] e PAHL & BEITZ [12], estabelece-se, então, o processo de **avaliação das concepções do produto**, cujos principais procedimentos são descritos na FIGURA 5.27. As entradas principais desse processo serão os requisitos de projeto e as concepções alternativas do produto (suas características), e a saída será dada pelas concepções do produto categorizadas pelas suas valorações.

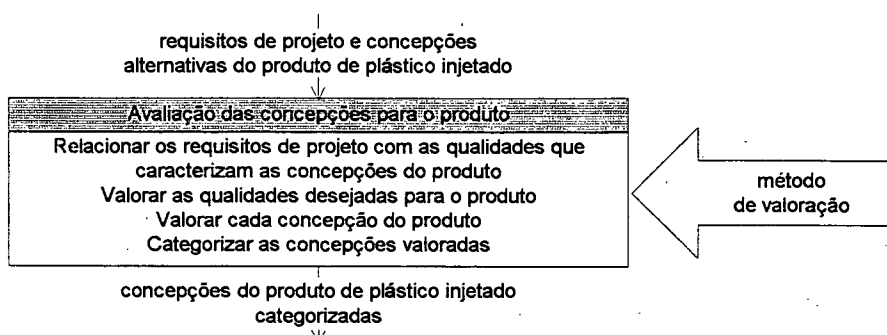


Figura 5.27 - Processo de avaliação das concepções do produto.

Sob o processo de avaliação proposto na FIGURA 5.27, pretende-se estabelecer uma comparação relativa entre as concepções alternativas do produto, através de um valor que leva em conta as qualidades desejadas para o produto e as qualidades de cada concepção alternativa. Entende-se, dessa maneira, que a concepção cujas qualidades de maior peso relativo apresentam um maior número de graus de relacionamento com os requisitos de projeto (aquelas mais

desejadas para o produto) será aquela mais adequada, dentre as alternativas existentes, para a solução do problema. Nesse sentido, o valor de cada concepção do produto (VC) estabelece um indicativo para que a equipe decida sobre qual concepção será conduzida nas demais fases do desenvolvimento do produto.

5.3.6 - Síntese dos métodos de projeto

Os métodos estabelecidos nos parágrafos anteriores são métodos clássicos de apoio ao projeto de produtos, normalmente recomendados na literatura, e de caráter geral, ou seja, se aplicam a diferentes domínios ou problemas. Sob um domínio particular e sob o enfoque de ferramentas computacionais, entretanto, o desenvolvimento e a implementação daqueles métodos visando à prática efetiva do projeto conceitual de produtos demanda desenvolvimentos adicionais. Alguns destes desenvolvimentos foram propostos na descrição de cada método adotado; outros, porém, deverão ser considerados em trabalhos futuros.

Uma síntese dos métodos adotados, levando-se em conta seus principais procedimentos, é mostrada na TABELA 5.8, que se constitui numa forma de sistematização do projeto conceitual de produtos de plástico injetados e forma base para a implementação de funcionalidades em ferramentas computacionais de apoio ao projeto desses produtos.

Ainda, sob os métodos estabelecidos, caracterizando a metodologia de projeto, definem-se, também, as principais características do processo de projeto conceitual de produtos de plástico injetados. Em outras palavras, sob a metodologia estabelecida, define-se a morfologia do processo de projeto conceitual de produtos de plástico injetados, conforme pode ser observado na FIGURA 5.28.

De acordo com a FIGURA 5.28, o processo de projeto conceitual de produtos de plástico injetados inicia-se com o estabelecimento das necessidades e requisitos de projeto que, em conjunto, especificam os principais problemas a serem resolvidos. O processo de solução, por sua vez, inicia-se com a determinação das funções do produto, as quais orientarão na pesquisa e no desenvolvimento de princípios de solução para o produto. Sob tais princípios são desenvolvidas as concepções alternativas de produtos de plástico injetados que, ao final, são valoradas, considerando cada um dos requisitos de projeto. Sob tal lógica ter-se-á, ao final, um conjunto avaliado de concepções alternativas de produtos de plástico injetados, sobre o qual a equipe de projeto decidirá quanto à continuidade, ou não, do desenvolvimento do produto e considerará aquela mais adequada para o desenvolvimento.

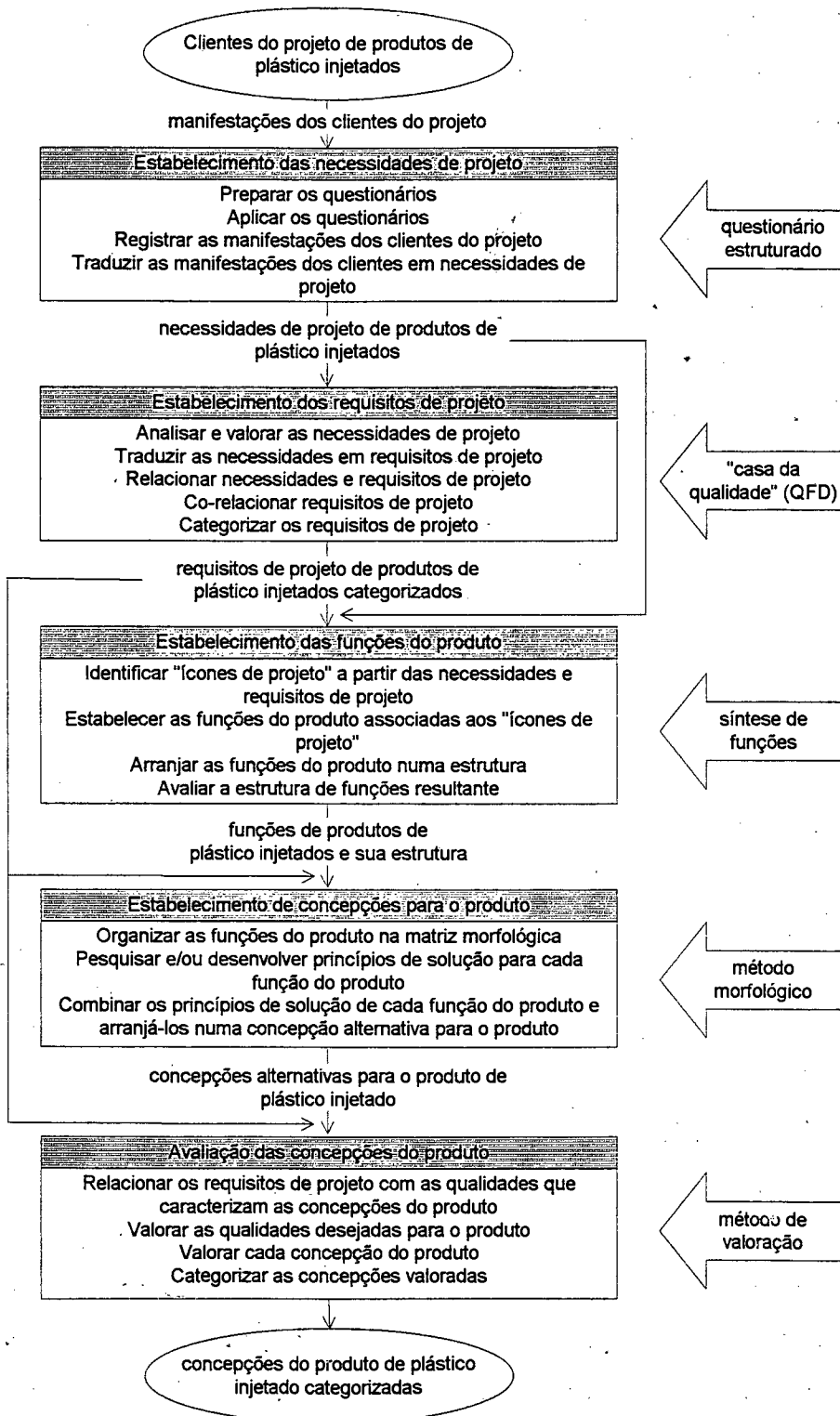


Figura 5.28 - Morfologia do processo de projeto conceitual de produtos de plástico injetados.

Tabela 5.8 - Sistematização do projeto conceitual de produtos de plástico injetados, visando à implementação de auxílios computacionais.

<p>Constatações gerais:</p> <ul style="list-style-type: none"> • as metodologias de projeto não estão devidamente preparadas para a informatização das fases iniciais do desenvolvimento do produto (CAPÍTULO 2) 		<p>Proposições gerais:</p> <ul style="list-style-type: none"> • para a implementação de ferramentas facilitadoras do processo deve-se sistematizar os procedimentos de cada método de projeto ou instrumento prescrito na metodologia e sistematizar as informações manipuladas sob tais métodos, visando à implementação de ambientes computacionais e base de dados de apoio ao projeto (CAPÍTULO 2) • para a implementação de sistemas especialistas deve-se sistematizar os conhecimentos heurísticos associados aos procedimentos prescritos em cada método de projeto adotado ou desenvolvido para a concepção do produto (CAPÍTULO 2) • as diretrizes gerais para a implementação de ferramentas computacionais para a concepção de produtos são (CAPÍTULO 3): <ul style="list-style-type: none"> • caracterizar as informações e os meios de projeto sob dado domínio de aplicação; • as informações de projeto devem ser caracterizadas com base nas características do ambiente de desenvolvimento de produtos do domínio considerado; • conceber e implementar, inicialmente, ferramentas facilitadoras do processo, na forma de ambiente computacionais e base de dados de projeto; • evoluir as ferramentas facilitadoras na forma de sistemas especialistas, através dos conhecimentos heurísticos do domínio de aplicação 	
<ul style="list-style-type: none"> • o projeto conceitual de produtos de plástico injetados é pouco assistido, seja em metodologia de projeto ou em ferramentas computacionais (CAPÍTULO 4) 		<ul style="list-style-type: none"> • sistematização do projeto conceitual de produtos de plástico injetados, com enfoque no projeto de gabinetes, empregando-se métodos clássicos de projeto para as fases iniciais do desenvolvimento do produto (CAPÍTULO 5) 	
<p>Proposições específicas do domínio de aplicação:</p> <ul style="list-style-type: none"> • classificação geral de produtos de plástico injetados (FIGURA 5.1) • caracterização da natureza do projeto de gabinetes (FIGURA 5.3) • modelo de relacionamento de um dado gabinete com os elementos de seu contexto (FIGURA 5.5) • sistematização de um conjunto inicial de funções de gabinetes (TABELA 5.1) • consideração das recomendações e regras de projeto de produtos de plástico injetados (FIGURA 5.7) • modelo genérico para o ciclo de vida de produtos de plástico injetados (TABELAS 5.3 e 5.4) • caracterização dos clientes do projeto de produtos de plástico injetados (TABELAS 5.3 e 5.4) 			
<p>Proposições específicas da metodologia de projeto:</p>			
<p>Método de projeto</p>	<p>Processo de projeto</p>	<p>Procedimentos de Projeto</p>	<p>Proposições</p>
	<p>estabelecimento das necessidades de projeto</p>	<ul style="list-style-type: none"> • preparar os questionários • aplicar os questionários • registrar as manifestações dos clientes do projeto • traduzir as manifestações dos clientes do projeto em necessidades de projeto 	<ul style="list-style-type: none"> • conjunto de questões de projeto caracterizadas e critérios para selecionar as questões mais adequadas para dado projeto (APÊNDICE B) • meios para a aplicação de questionários (TABELA 5.4) • através de meios computacionais: arquivos ou base de dados. • "fragmentar" os interesses dos clientes na forma de declarações de necessidades simples, considerando um assunto principal em cada declaração • prever a possibilidade de declarações técnicas e registrá-las na forma de requisitos de projeto
<p>questionário estruturado</p>			

Tabela 5.8 - Continuação.

<p>"casa da qualidade" (QFD)</p>	<p>estabelecimento dos requisitos de projeto</p>	<ul style="list-style-type: none"> • analisar e valorar as necessidades de projeto • traduzir as necessidades em requisitos de projeto • relacionar as necessidades e requisitos de projeto • correlacionar requisitos de projeto • categorizar os requisitos de projeto 	<ul style="list-style-type: none"> • diretrizes para a valoração (APÊNDICE C, item C.3.2) • estrutura de atributos do domínio de aplicação, com enfoque no objeto gabinete (TABELA 5.5) • comparar os elementos das declarações de necessidades com os atributos gerais (categorias e/ou subcategorias) da TABELA 5.5 • ambientes computacionais para a edição e registro dos relacionamentos • ambientes computacionais para a edição e registro dos relacionamentos • mecanismo para corrigir a classificação tradicional dos requisitos de projeto, levando em conta os co-relacionamentos dos requisitos de projeto ("telhado") (FIGURA C.9, APÊNDICE C)
<p>síntese de funções</p>	<p>estabelecimento das funções do produto</p>	<ul style="list-style-type: none"> • identificar "ícones de projeto" a partir das necessidades e requisitos de projeto • estabelecer as funções do produto associadas aos "ícones de projeto" • arranjar as funções do produto numa estrutura • avaliar a estrutura de funções resultante • organizar as funções do produto na matriz 	<ul style="list-style-type: none"> • sistematização de um conjunto inicial de funções para gabinetes (TABELA 5.1) • proposição do conceito de "ícones de projeto" (APÊNDICE A, item A.5) • base inicial de "ícones de projeto" associados às funções de gabinetes (APÊNDICE D) • identificação automática de parte das funções do produto, através dos "ícones de projeto" identificados • arranjar as funções do produto numa hierarquia • regras gerais para arranjar as funções (item 5.3.3) • critérios para avaliar a estrutura de funções resultante (item 5.3.3)
<p>método morfológico (matriz morfológica)</p>	<p>estabelecimento das concepções para o produto</p>	<ul style="list-style-type: none"> • pesquisar e/ou desenvolver princípios de solução para cada função do produto • combinar os princípios de solução de cada função e arranjá-los numa concepção alternativa para o produto 	<ul style="list-style-type: none"> • considerar todas as funções da estrutura, na forma de uma lista • utilizar os elementos do domínio como base para organizar as funções na matriz (FIGURA 5.12) • sistematização de um conjunto inicial de princípios de solução para gabinetes (APÊNDICE E) • estrutura de atributos para caracterizar princípios de solução de produtos de plástico (FIGURA 5.20) • proposição do conceito de "funções especiais" de projeto, satisfeitas por "soluções conceituais" da manufatura: recomendações de projeto, regras de projeto e soluções qualitativas para o processo, molde e materiais (desenvolvimento futuro) • estratégias para a eliminação e combinação de princípios de solução: <ul style="list-style-type: none"> • estratégias de eliminação: selecionar qualidades para o produto a partir das necessidades de projeto; • estratégias de combinação: avaliar cada combinação de princípio contra grupos ou categorias de requisitos de projeto • ambiente computacional para os relacionamentos entre requisitos e qualidades
<p>avaliação</p>	<p>avaliação das concepções do produto</p>	<ul style="list-style-type: none"> • relacionar os requisitos de projeto com as qualidades que caracterizam as concepções do produto • valorar as qualidades desejadas para o produto • valorar cada concepção do produto • categorizar as concepções valoradas 	<ul style="list-style-type: none"> • calcular o PQDP (Peso da Qualidade Desejada para o Produto), conforme as equações (5.2) e (5.3) • calcular o VC (Valor da Concepção), conforme as equações (5.2), (5.4), (5.5) e os resultados do procedimento anterior • apresentar graficamente as concepções valoradas e ordenadas

CAPÍTULO 6 - IMPLEMENTAÇÃO DE FERRAMENTAS COMPUTACIONAIS DE APOIO AO PROJETO CONCEITUAL DE COMPONENTES DE PLÁSTICO INJETADOS

6.1 - Introdução

No CAPÍTULO 5 estabeleceu-se uma sistemática para o projeto conceitual de produtos de plástico injetados em que foram caracterizados os procedimentos de cada método adotado e apresentadas algumas propostas de sistematização de informações de projeto, com enfoque no projeto conceitual de gabinetes moldados por injeção. Sob os resultados obtidos, conforme a síntese da TABELA 5.8, mostra-se, no presente capítulo, a implementação das ferramentas computacionais que "traduzem" as proposições metodológicas e configuram o SACPRO (Sistema de Apoio à Concepção de PRODutos).

O SACPRO, conforme será visto, é constituído de cinco módulos principais, na forma de protótipos de desenvolvimento, estabelecidos sob as seguintes denominações:

- DEFNEC (programa de auxílio à DEFinição de NECessidades de projeto);
- QFD (programa de auxílio ao estabelecimento dos requisitos de projeto (Quality Function Deployment));
- PRODEF (PROgrama de auxílio à DEFinição das Funções do produto);
- MMORF (programa de auxílio ao estabelecimento das concepções do produto (Matriz MORFológica)); e
- MAVAL (programa de auxílio à avaliação das concepções do produto (Matriz de AVAliação)).

Esses programas caracterizam-se na forma de ferramentas facilitadoras do processo, ou seja, na forma de ambientes computacionais e de base de dados de projeto que simulam os procedimentos de determinados métodos de projeto, promovendo auxílios gerais aos projetistas, na forma de:

- armazenamento e recuperação de informações de projeto;
- edição de informações de projeto;
- representação simbólica de informações de projeto;
- edição de relacionamentos entre informações de projeto; e
- computação de escores para classificar informações de projeto.

Considerando as diretrizes para a implementação computacional, conforme os estudos do CAPÍTULO 3, apresentam-se, inicialmente, as principais *funcionalidades*¹ de cada um dos programas desenvolvidos, estabelecendo as relações entre as proposições metodológicas, conforme a TABELA 5.8, e as proposições aplicadas da presente tese.

¹ O termo *funcionalidade*, em itálico, corresponde ao conjunto de funções das ferramentas computacionais.

Segue-se, então, uma descrição individual dos programas desenvolvidos, mostrando suas principais características, potencialidades, estado atual de desenvolvimento e perspectivas futuras para algumas das ferramentas implementadas.

6.2 - Proposições para a implementação computacional do SACPRO

Conforme vem sendo considerado, a implementação de ferramentas computacionais de apoio ao projeto conceitual de produtos deve ser estabelecida a partir de métodos de projeto adotados e/ou desenvolvidos para as fases iniciais do desenvolvimento de produto, iniciando-se pela implementação de ferramentas facilitadoras do processo e evoluindo na forma de sistemas especialistas.

As ferramentas facilitadoras do processo caracterizam-se por simularem ou traduzirem, na forma de ambientes computacionais, as prescrições de cada método de projeto, auxiliando o projetista através de *funcionalidades* que ampliam suas capacidades para a recuperação, manipulação e armazenamento de informações de projeto.

Em outras palavras, através de ambientes computacionais dedicados aos métodos de projeto, o projetista terá a oportunidade de considerar, efetivamente, a aplicação de dada metodologia de projeto na solução de seus problemas e terá a oportunidade de manipular um maior número de informações de projeto, dificilmente consideradas na execução "manual" do projeto. Pretende-se, dessa maneira, que, além de efetivo, o processo de projeto conceitual de produtos seja eficiente e econômico, produzindo resultados eficazes.

Além das potencialidades metodológicas destacadas, as ferramentas computacionais propostas e implementadas estão entre aquelas primeiras dedicadas à concepção de produtos de plástico injetados. Conforme o estado da técnica (CAPÍTULO 4), os trabalhos em curso tratam mais de auxílios computacionais para as fases de modelamento geométrico, simulação e análise de componentes de plástico injetados, com pouco enfoque no desenvolvimento de conceitos para o componente, considerando as necessidades e os requisitos de projeto. Pretende-se, dessa maneira, que, antes da modelagem geométrica do componente, o projetista possa explorar, desenvolver e avaliar concepções alternativas, considerando funções e princípios de solução para produtos de plástico injetados. Entende-se que as possibilidades de inovação ou melhoramento dos componentes serão ampliadas e os possíveis problemas das fases posteriores do ciclo de vida, minimizados.

Sob tais perspectivas mostram-se, na TABELA 6.1, as principais proposições aplicadas

Tabela 6.1 - Estrutura para a implementação do SACPRO.

MÉTODOLOGIA DE PROJETO		SACPRO (SISTEMA DE APOIO À CONCEPÇÃO DE PRODUTOS)	
Método de projeto	Procedimentos de projeto	Proposições teóricas	Imp. Comp.
questionário estruturado	<ul style="list-style-type: none"> preparar os questionários 	<ul style="list-style-type: none"> conjunto de questões de projeto caracterizadas e critérios para selecionar as questões mais apropriadas para dado projeto (APÊNDICE B) 	<ul style="list-style-type: none"> base de dados de questões de projeto (editar, armazenar questões de projeto) <i>funções</i>² para a exibição das questões de projeto da base de dados <i>funções</i> para a seleção (manual e automática) de questões de projeto para configurar os questionários estruturados <i>funções</i> para enviar os questionários via e-mail <i>funções</i> para responder os questionários <i>on-line</i> <i>funções</i> para preparar o questionário em documento escrito <i>funções</i> para indicar o meio de aplicação das questões selecionadas <i>funções</i> para editar e armazenar as respostas dos clientes de projeto
	<ul style="list-style-type: none"> aplicar os questionários registrar as manifestações dos clientes do projeto 	<ul style="list-style-type: none"> meios para a aplicação de questionários (TABELA 5.4) através de meios computacionais: arquivos ou base de dados 	
"casa da qualidade" (QFD)	<ul style="list-style-type: none"> traduzir as manifestações dos clientes do projeto em necessidades de projeto 	<ul style="list-style-type: none"> "fragmentar" os interesses dos clientes na forma de declarações de necessidades simples, considerando um assunto principal em cada declaração prever a possibilidade de declarações técnicas e registrá-las na forma de requisitos de projeto 	<ul style="list-style-type: none"> <i>funções</i> para recuperar e visualizar as respostas dos clientes do projeto <i>funções</i> para editar e armazenar declarações de necessidades e de requisitos de projeto base de dados de necessidades e requisitos típicos de projeto do domínio de produtos de plástico injetados <i>funções</i> para editar os valores para as necessidades de projeto
	<ul style="list-style-type: none"> analisar e valorar as necessidades de projeto traduzir as necessidades em requisitos de projeto 	<ul style="list-style-type: none"> diretrizes para a valoração (APÊNDICE C, item C.3.2) estrutura de atributos do domínio de aplicação, com enfoque no objeto gabinete (TABELA 5.6) comparar os elementos das declarações de necessidades com os atributos gerais (categorias e/ou subcategorias) da TABELA 5.6 	
"casa da qualidade" (QFD)	<ul style="list-style-type: none"> relacionar as necessidades e requisitos de projeto 	<ul style="list-style-type: none"> ambientes computacionais para a edição e registro dos relacionamentos 	<ul style="list-style-type: none"> <i>funções</i> para importar e editar as necessidades de projeto <i>funções</i> para importar e editar os requisitos de projeto base de dados de atributos do domínio de produtos de plástico injetados <i>funções</i> para visualizar necessidades e atributos do domínio durante a tradução <i>funções</i> de busca automática dos requisitos de projeto <i>funções</i> para a edição e registro dos relacionamentos; <i>funções</i> para registrar e recuperar as justificativas de cada relacionamento efetuado <i>funções</i> para a edição e registro dos relacionamentos <i>funções</i> para registrar e recuperar as justificativas de cada relacionamento efetuado <i>funções</i> para computar a classificação dos requisitos de projeto pelo método tradicional <i>funções</i> para computar a classificação dos requisitos considerando os relacionamentos do "telhado"
	<ul style="list-style-type: none"> correlacionar requisitos de projeto categorizar os requisitos de projeto 	<ul style="list-style-type: none"> ambientes computacionais para a edição e registro dos relacionamentos mecanismo para corrigir a classificação tradicional dos requisitos de projeto, levando em conta os correlacionamentos dos requisitos de projeto ("telhado") (FIGURA C.9, APÊNDICE C) 	

² O termo *funções*, em itálico, corresponde às funções das ferramentas computacionais.

Tabela 6.1 - Continuação.

METODOLOGIA DE PROJETO		SACPRO (SISTEMA DE APOIO À CONCEPÇÃO DE PRODUTOS)		
síntese de funções	<ul style="list-style-type: none"> identificar "ícones de projeto" a partir das necessidades e requisitos de projeto estabelecer as funções do produto associadas aos "ícones de projeto" arranjar as funções do produto numa estrutura avaliar a estrutura de funções resultante organizar as funções do produto na matriz 	<ul style="list-style-type: none"> sistematização de um conjunto inicial de funções para gabinetes (TABELA 5.1) proposição do conceito de "ícones de projeto" (APÊNDICE A, item A.5) base inicial de "ícones de projeto" associados às funções de gabinetes (APÊNDICE D) identificação automática de parte das funções do produto, através dos "ícones de projeto" identificados arranjar as funções do produto numa hierarquia regras gerais para arranjar as funções (item 5.3.3) critérios para avaliar a estrutura de funções resultante (item 5.3.3) considerar todas as funções da estrutura, na forma de uma lista utilizar os elementos do domínio como base para organizar as funções na matriz (FIGURA 5.15) 	<ul style="list-style-type: none"> base de dados de funções de gabinetes de plástico injetados base de dados de "ícones de projeto" do domínio de produtos de plástico injetados atributo para cadastrar as funções do gabinete, cujos valores são os "ícones de projeto" funções para selecionar os "ícones de projeto" a partir das necessidades e requisitos de projeto funções para selecionar e apresentar automaticamente as funções do produto a partir dos "ícones de projeto" selecionados" funções para a edição gráfica das funções do produto e sua estrutura base de dados de recomendações para arranjar as funções do produto base de dados de critérios para avaliar a estrutura de funções do produto 	PRODEF
	<ul style="list-style-type: none"> pesquisar e/ou desenvolver princípios de solução para cada função do produto combinar os princípios de solução de cada função e arranjá-los numa concepção alternativa para o produto relacionar os requisitos de projeto com as qualidades que caracterizam as concepções do produto valorar as qualidades desejadas para o produto valorar cada concepção do produto categorizar as concepções valoradas 	<ul style="list-style-type: none"> sistematização de um conjunto inicial de princípios de solução para gabinetes (APÊNDICE E) estrutura de atributos para caracterizar princípios de solução de produtos de plástico (FIGURA 5.24) proposição do conceito de "funções especiais" de projeto, satisfeitas por "soluções conceituais" da manufatura: recomendações de projeto, regras de projeto e soluções qualitativas para o processo, molde e materiais (desenvolvimento futuro) estratégias para a eliminação e combinação de princípios de solução estratégias de eliminação: selecionar qualidades para o produto a partir das necessidades de projeto estratégias de combinação: avaliar cada combinação de princípio contra grupos ou categorias de requisitos de projeto ambiente computacional para os relacionamentos entre requisitos e qualidade calcular o PQDP (Peso da Qualidade Desejada para o Produto), conforme as equações (5.2) e (5.3) calcular o VC (Valor da Concepção), conforme as equações (5.2), (5.4), (5.5) e os resultados do procedimento anterior apresentar graficamente as concepções valoradas e ordenadas 	<ul style="list-style-type: none"> funções para representar uma matriz morfológica funções para importar as funções do produto geradas no módulo PRODEF funções para organizar as funções do produto na matriz morfológica base de dados de princípios de solução do domínio de produtos de plástico injetados funções para inserir/remover princípios de solução na matriz funções para eliminar princípios de solução, segundo determinados critérios funções para auxiliar na combinação de princípios de solução na matriz morfológica funções para visualizar as concepções geradas para o produto funções para importar os requisitos de projeto e as características (qualidades) das concepções geradas para o produto funções para relacionar os requisitos de projeto com as qualidades das concepções do produto funções (algoritmos) para calcular o Peso da Qualidade Desejada para o Produto funções (algoritmos) para calcular o Valor da Concepção funções para a exibição gráfica e ordenação das concepções do produto, conforme seus VCs (Valor da Concepção) 	MMORF
avaliação	<ul style="list-style-type: none"> relacionar os requisitos de projeto com as qualidades que caracterizam as concepções do produto valorar as qualidades desejadas para o produto valorar cada concepção do produto categorizar as concepções valoradas 	<ul style="list-style-type: none"> ambiente computacional para os relacionamentos entre requisitos e qualidade calcular o PQDP (Peso da Qualidade Desejada para o Produto), conforme as equações (5.2) e (5.3) calcular o VC (Valor da Concepção), conforme as equações (5.2), (5.4), (5.5) e os resultados do procedimento anterior apresentar graficamente as concepções valoradas e ordenadas 	<ul style="list-style-type: none"> funções para importar os requisitos de projeto e as características (qualidades) das concepções geradas para o produto funções para relacionar os requisitos de projeto com as qualidades das concepções do produto funções (algoritmos) para calcular o Peso da Qualidade Desejada para o Produto funções (algoritmos) para calcular o Valor da Concepção funções para a exibição gráfica e ordenação das concepções do produto, conforme seus VCs (Valor da Concepção) 	MAVAL

da presente tese, sob as quais o SACPRO foi desenvolvido. Tais proposições tratam de *funções* e tipos de base de dados necessários para traduzir os procedimentos da metodologia de projeto proposta em ferramentas computacionais. Trata-se, em síntese, da concepção do SACPRO, cujos resultados da implementação serão apresentados nos itens que se seguem.

6.3 - Apresentação das ferramentas computacionais implementadas

6.3.1 - DEFNEC

Conforme a TABELA 6.1, o DEFNEC implementa o método de questionário estruturado para auxiliar no estabelecimento das necessidades de projeto. De acordo com as *funcionalidades* propostas, o DEFNEC caracteriza-se como uma base de dados de questões de projeto associado a recursos para preparar e aplicar questionários, registrar respostas e editar necessidades (ou requisitos) de projeto, em função das respostas obtidas para cada questão aplicada. Sob tais características, pretende-se que a equipe de projeto utilize, efetivamente, procedimentos sistemáticos para obter os interesses dos clientes do projeto, explorando uma gama variada de temas relacionados ao domínio de projeto, através do conjunto de questões disponíveis na base de dados.

A utilização do DEFNEC se dá, inicialmente, através da interface de entrada no programa, conforme a FIGURA 6.1, onde são inseridos os dados sobre o diretório do projeto (diretório de trabalho) e o domínio do projeto. O diretório de projeto consiste no local onde as informações geradas com a utilização do DEFNEC, tais como as necessidades e os requisitos, serão armazenadas para reutilização. A escolha do domínio de projeto, por sua vez, consiste na habilitação das questões cadastradas na base de dados para aquele domínio. No caso do cadastro de novas questões, pode-se, ainda, escolher o domínio (novo domínio) sob o qual elas deverão ser consideradas na aplicação do programa.

Definidos o diretório de trabalho e o domínio de aplicação, o DEFNEC conta com recursos para cadastrar informações gerais sobre o projeto sendo realizado, conforme pode ser observado na FIGURA 6.2. Essas informações tratam sobre a identificação do projeto, um breve resumo sobre o projeto e uma agenda simples para estabelecer as principais atividades do projeto. Elas poderão ser impressas e utilizadas para referenciar o projeto sendo realizado.

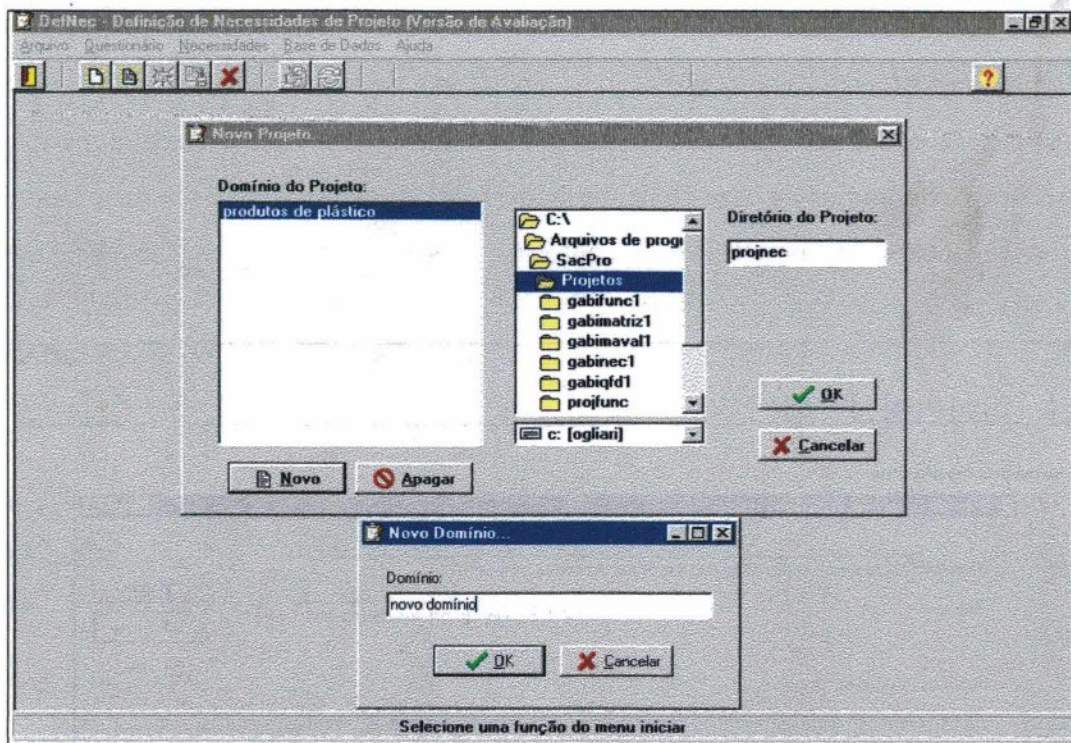


Figura 6.1 - Interface de entrada no programa DEFNEC.

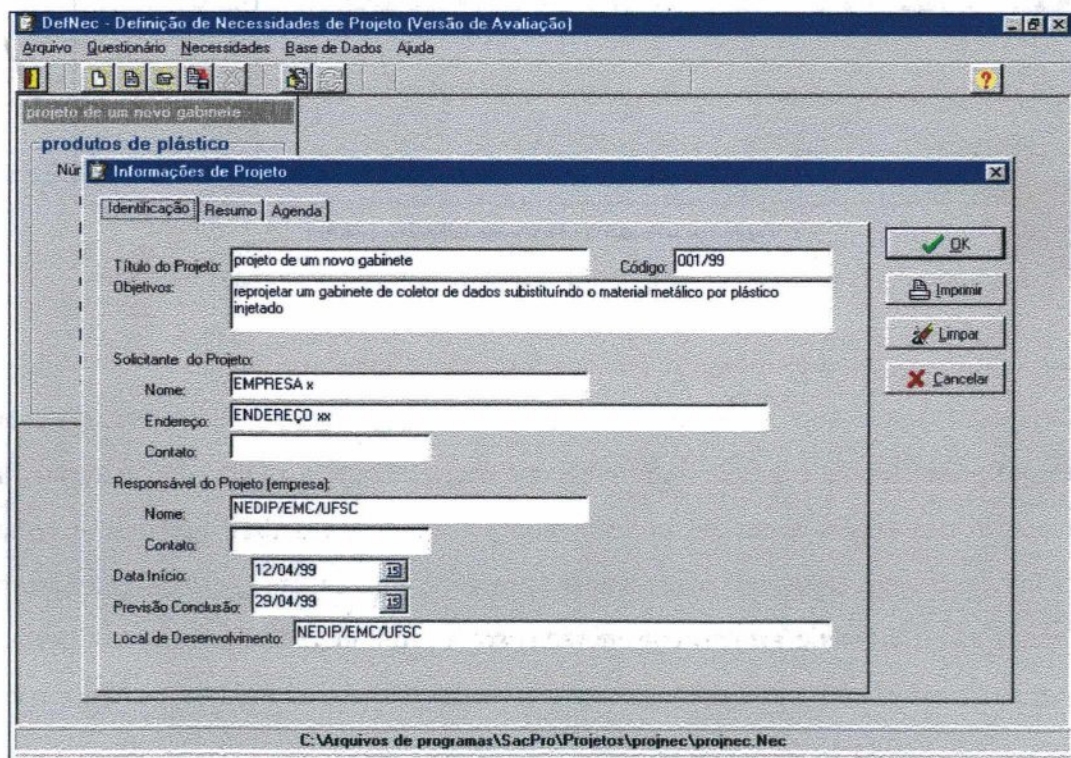


Figura 6.2 - Recursos para o cadastro de informações gerais sobre o projeto sendo realizado.

Seguindo-se à entrada inicial de dados, conforme os recursos anteriores, há dois caminhos principais na utilização do DEFNEC. Um deles trata do cadastro de questões de projeto, e o outro, da formulação e aplicação dos questionários. No cadastro de questões,

conforme a FIGURA 6.3, sob a opção “Questões”, em “Base de Dados”, no menu principal, o usuário do programa (neste caso, quem está promovendo a manutenção da base de dados) conta com recursos para editar cada uma das questões de projeto, junto com seus atributos e valores. Sob tais recursos configura-se a base de dados de questões de projeto. Os atributos e valores para cadastrar cada questão de projeto estão conforme aqueles estabelecidos no APÊNDICE B, TABELA B.1.

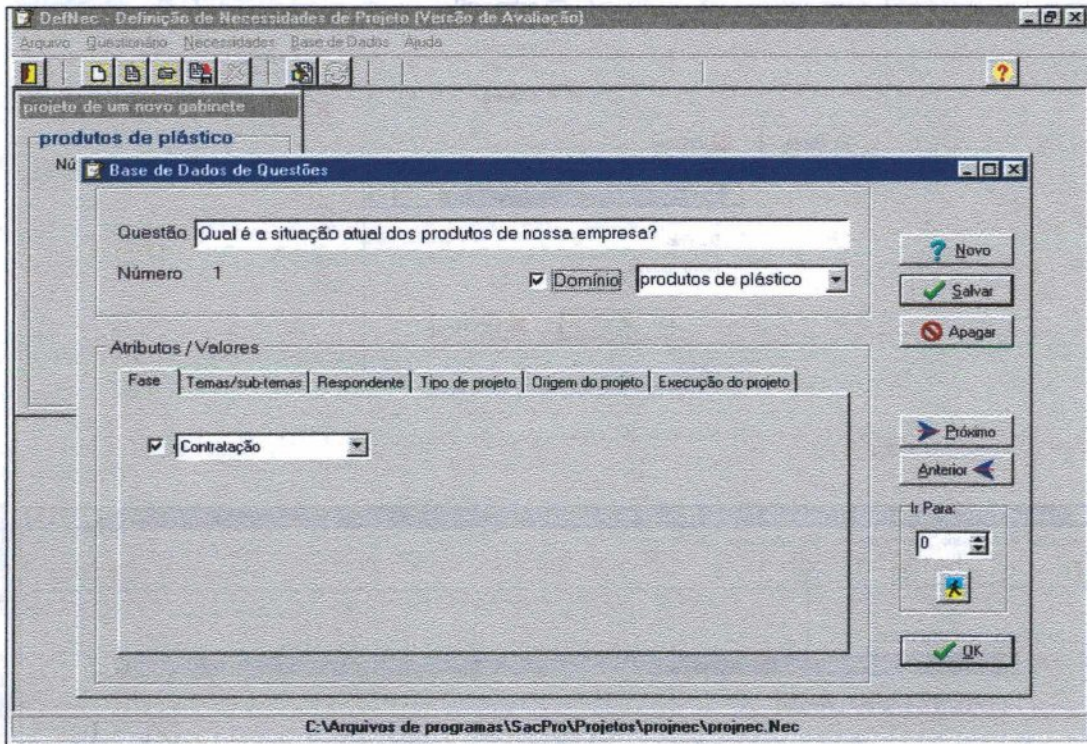


Figura 6.3 - Recursos para cadastrar questões de projeto na base de dados.

Na aplicação dos questionários, por sua vez, sob a interface mostrada na FIGURA 6.4 (opção “Aplicar Questionário”, em “Questionário”, no menu principal), o usuário do programa (neste caso, o projetista ou a equipe de projeto que está utilizando o DEFNEC para auxiliar no estabelecimento das necessidades de projeto) conta com recursos para preparar e aplicar os questionários de projeto. Para tal, o programa apresenta, inicialmente, organizadas através de "pastas" todas as questões de projeto consideradas sob o domínio selecionado. As "pastas" que classificam as questões de projeto correspondem às fases do ciclo de vida do produto, conforme definidas no CAPÍTULO 5.

A preparação dos questionários pode ser realizada de diferentes maneiras. Primeiro, o projetista pode selecionar, manualmente, cada uma das questões de interesse, indicando na coluna "Aplicar" o modo de aplicação daquela questão, que pode ser, *on-line*, *e-mail* ou “relatório”. Essa indicação implica que a questão foi selecionada para configurar o questionário.

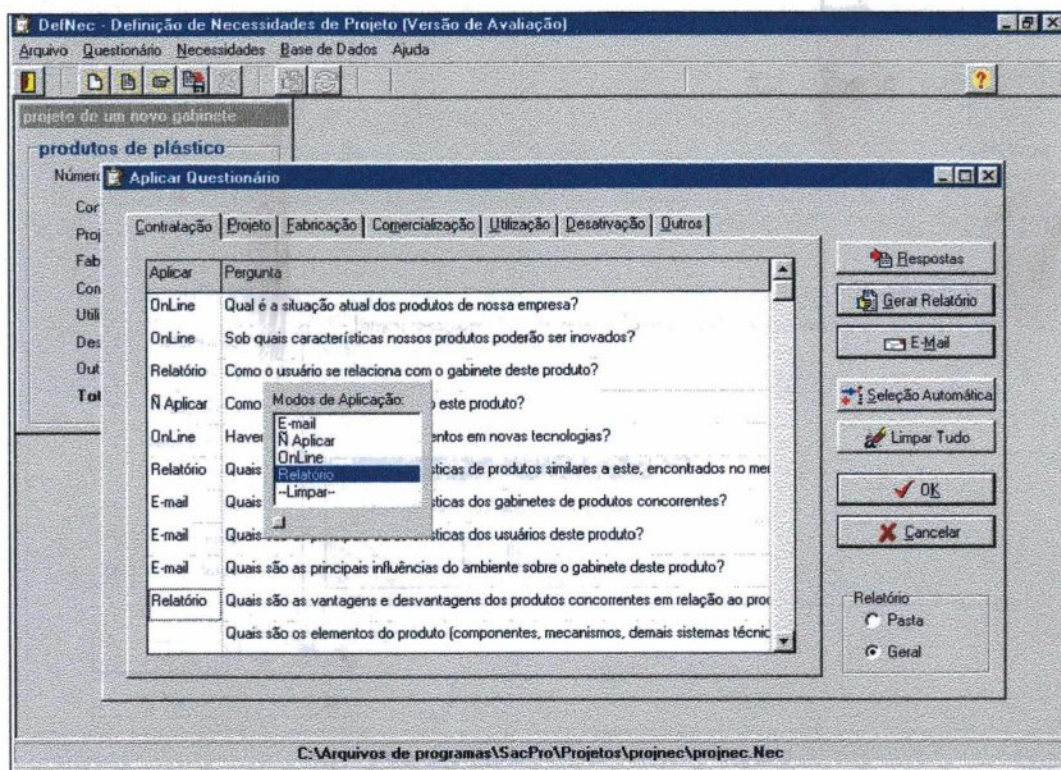


Figura 6.4 - Recursos para a preparação e aplicação dos questionários de projeto.

Outra maneira para selecionar as questões de projeto consiste na busca automática de questões na base de dados (opção “Seleção Automática”, na FIGURA 6.4), segundo alguns critérios, os quais poderão ser estabelecidos conforme os recursos mostrados na FIGURA 6.5. Nesse caso, o projetista escolhe, manualmente, quais são os atributos/valores para as questões de interesse.

As questões de projeto selecionadas pela busca automática serão apresentadas na interface de aplicação do questionário (FIGURA 6.4) sob o indicador "Busca", na coluna “Aplicar”. Deve-se estabelecer, em seguida, qual será o modo de aplicação para essas questões.

Diante das questões selecionadas e considerando-se aquelas designadas para respondentes que se encontram em diferentes locais de trabalho, pode-se submetê-las sob duas opções principais: “E-Mail” ou “Gerar Relatório”.

Na opção "E-Mail" (opções na FIGURA 6.4), cada uma das questões designadas por "e-mail", na coluna “Aplicar”, serão recuperadas, conforme indicado na FIGURA 6.6, num aplicativo para o envio de mensagens por correio eletrônico, onde, ainda, poderão ser efetuadas aquelas edições de interesse, tais como uma breve explicação sobre o questionário sendo aplicado, inclusão/exclusão de questões, entre outras.

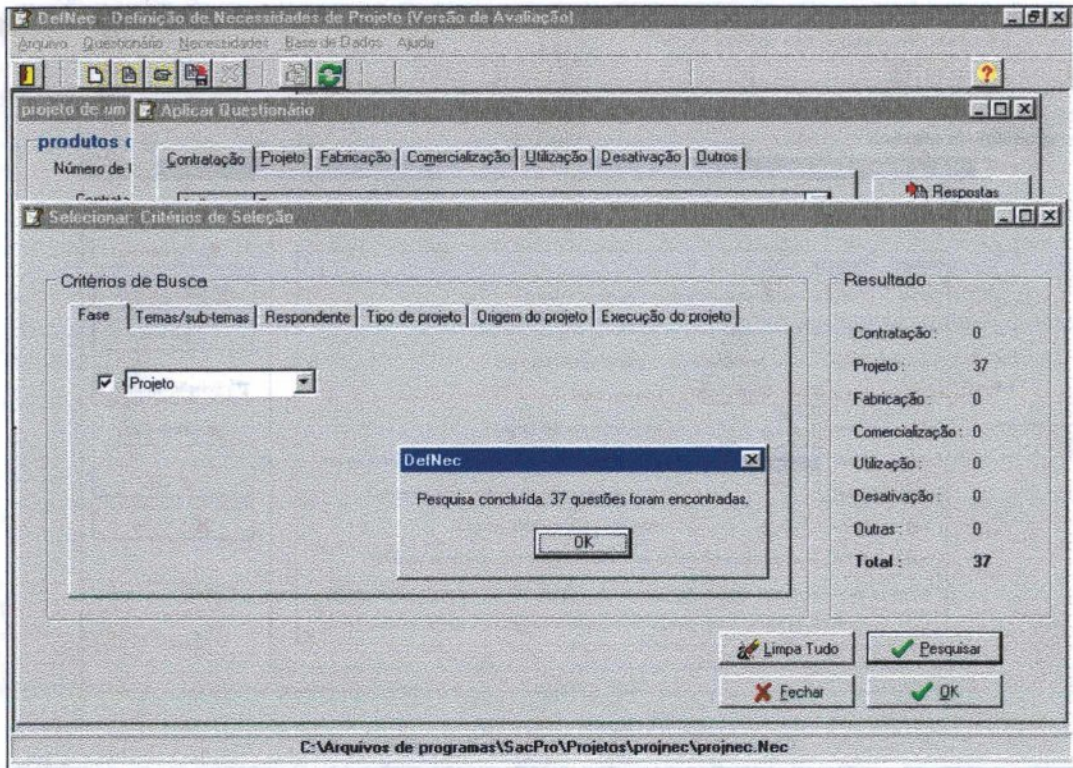


Figura 6.5 - Recursos para a definição de critérios para a busca automática de questões de projeto.

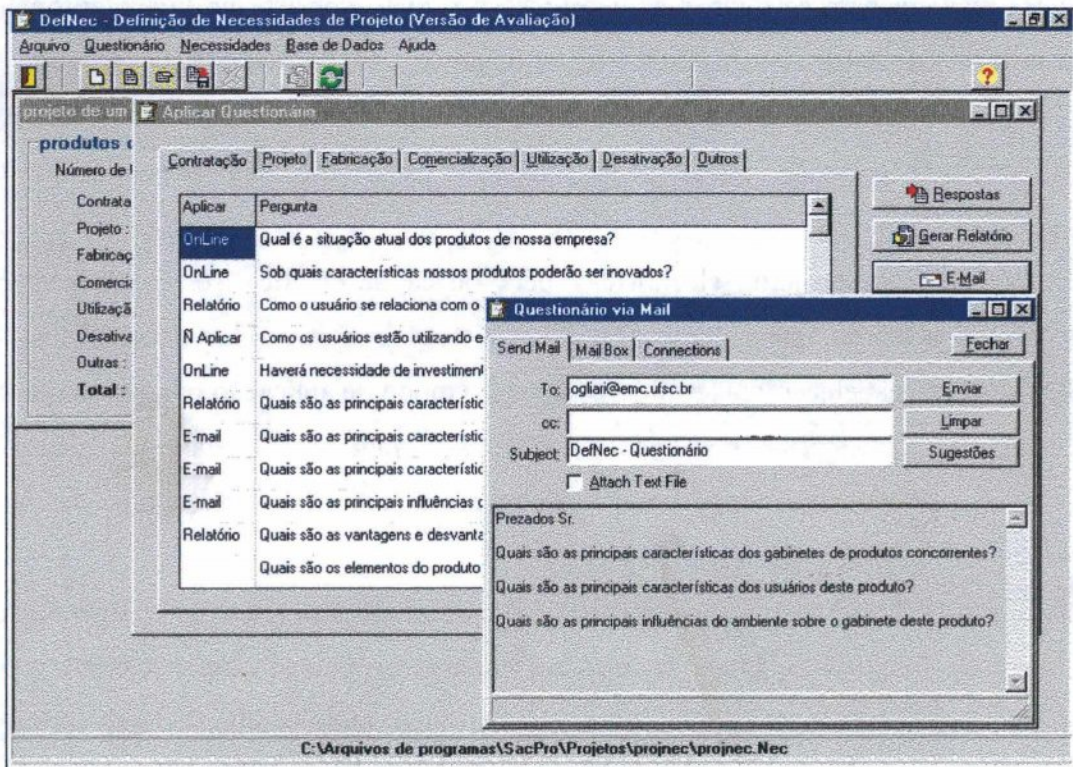


Figura 6.6 - Recursos para submeter questões via e-mail.

Noutra forma, as questões designadas sob a opção "Relatório", na coluna "Aplicar", serão recuperadas em aplicativo (opção "Visualizar" na FIGURA 6.7) que possibilita a impressão de

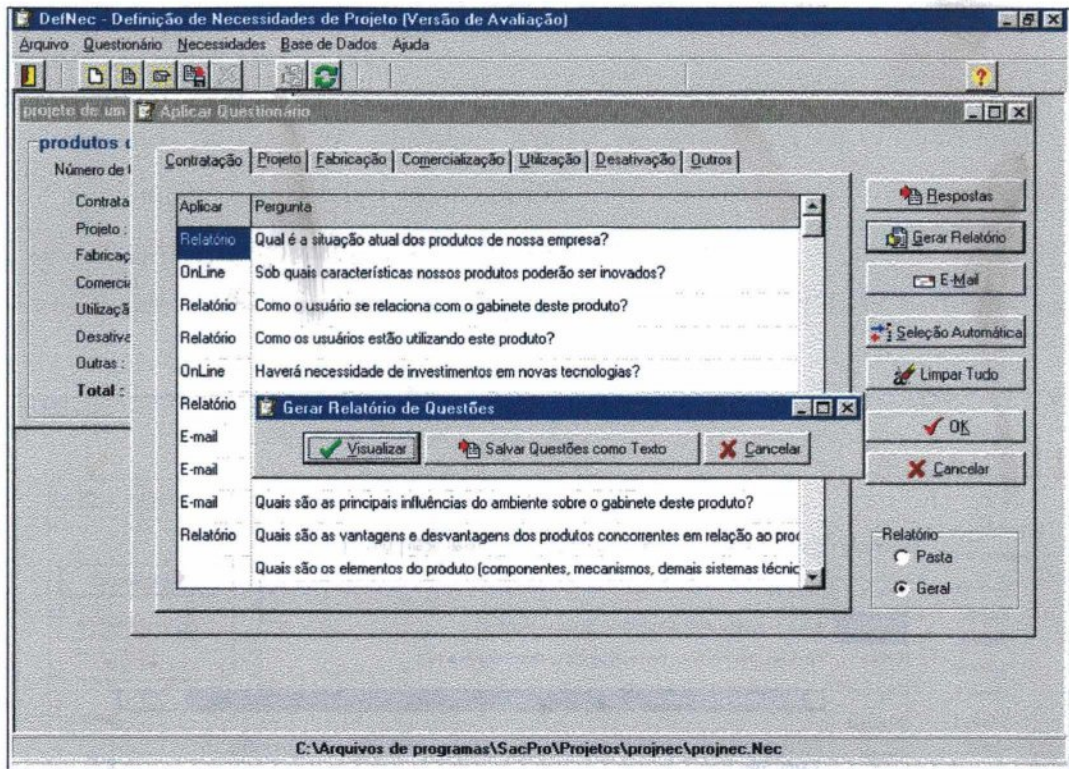


Figura 6.7 - Recursos para gerar relatório das questões selecionadas.

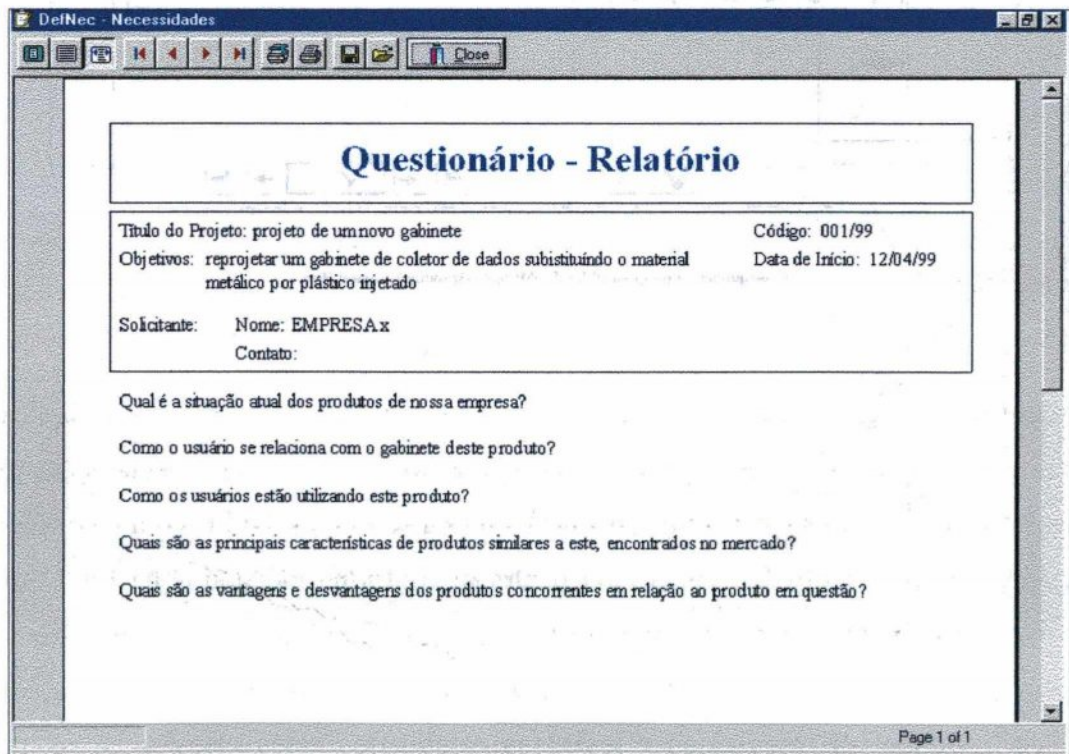


Figura 6.8 - Recursos para a impressão de questionário.

documento a ser submetido, via correio ou fax, aos respectivos respondentes (FIGURA 6.8).

Por último, as questões de projeto designadas sob o modo de aplicação "OnLine", na

coluna “Aplicar” serão apresentadas ao projetista, ou equipe de projeto, sob a opção “Respostas”, conforme mostrado na FIGURA 6.9, onde as manifestações ou informações sob cada uma delas deverão ser registradas no “campo” indicado. As respostas correspondentes aos questionários enviados por "e-mail", ou documentos (relatórios), assim que estiverem disponíveis para a equipe de projeto, deverão ser cadastradas ou registradas pela mesma interface, conforme a FIGURA 6.9, onde todas as questões que foram selecionadas, conforme os modos de aplicação mencionados, serão recuperadas.

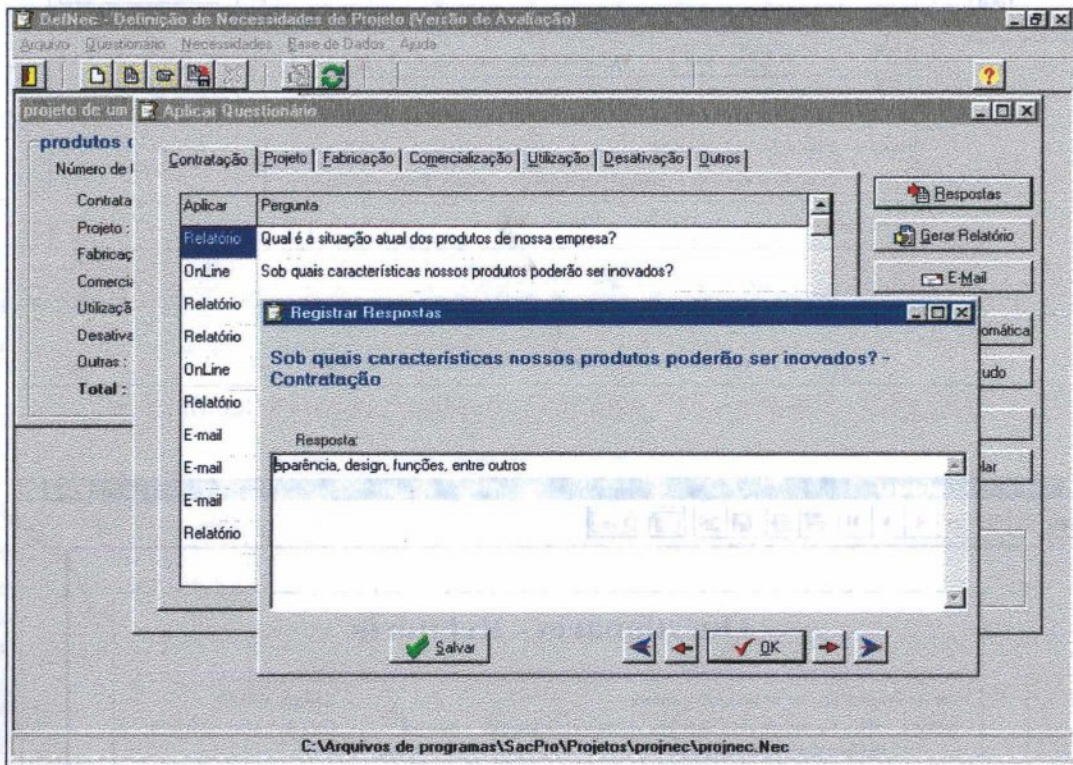


Figura 6.9 - Recursos para a aplicação "on-line" de questionário.

Segue-se ao registro das respostas, para cada uma das questões de projeto aplicadas, o estabelecimento das necessidades de projeto, ou seja, a definição daquelas declarações gerais e qualitativas que irão representar os principais problemas a serem resolvidos com a concepção do produto. Nesse caso, o DEFNEC conta com recursos, conforme mostrados na FIGURA 6.10, pelos quais cada uma das questões, e suas respectivas respostas, são apresentadas à equipe de projeto para que se proceda à análise, discussão e definição das declarações de necessidades para o problema (“campo de necessidades”). Há possibilidade, ainda, conforme se observa, dependendo do conteúdo das respostas, ou das manifestações dos clientes do projeto, de editar possíveis requisitos para o problema (“campo de requisitos”), caso se configure, nessa fase do desenvolvimento, algum interesse técnico, ou específico, para o projeto em questão.

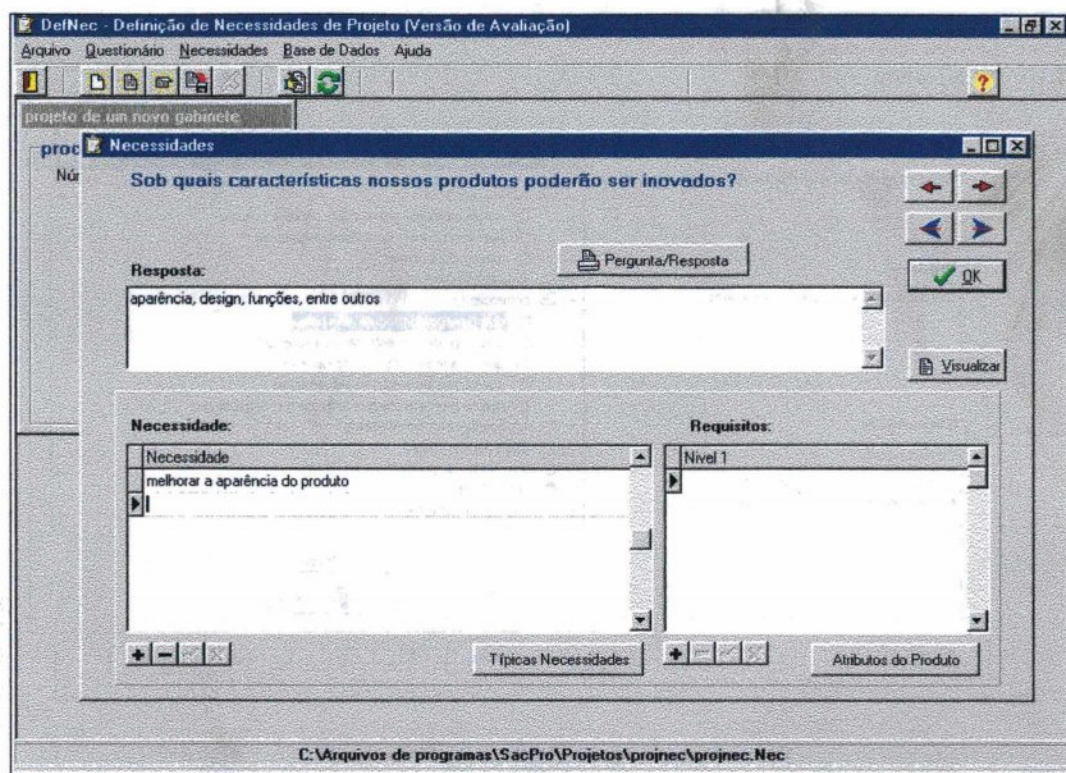


Figura 6.10 - Recursos para auxiliar no estabelecimento das necessidades (ou requisitos) de projeto.

Para auxiliar no estabelecimento das necessidades (ou requisitos), o projetista conta, ainda, sob as opções “Típicas Necessidades” e “Atributos do Produto”, na FIGURA 6.10, com uma base de dados de típicas necessidades dos clientes de projeto de produtos de plástico injetados (TABELA 5.3, em 5.2.6) e típicos atributos do produto, conforme TABELA 5.6, em 5.3.2, respectivamente. Essas informações serão disponibilizadas conforme a estrutura mostrada na FIGURA 6.11 e poderão ser inseridas na lista de necessidades ou de requisitos, através da opção "Inserir".

Encerrado o estabelecimento das necessidades (ou requisitos), sob a utilização dos recursos anteriores, fica disponibilizada, para utilização futura, a lista de declarações de necessidades, de requisitos e dos interesses ou manifestações dos clientes do projeto, conforme as questões aplicadas. Os arquivos correspondentes às necessidades e requisitos de projeto serão utilizados no programa QFD, conforme será visto no item que se segue. Eles serão armazenados no diretório de projeto, criado conforme os recursos mostrados na FIGURA 6.1.

Embora simples em sua concepção e recursos, o DEFNEC possibilita, através de suas *funcionalidades*, que a equipe de projeto explore, sistematicamente, durante o desenvolvimento inicial do produto, vários temas importantes para seu desenvolvimento. Esses temas são propostos na forma de questões de projeto caracterizadas sob vários critérios.

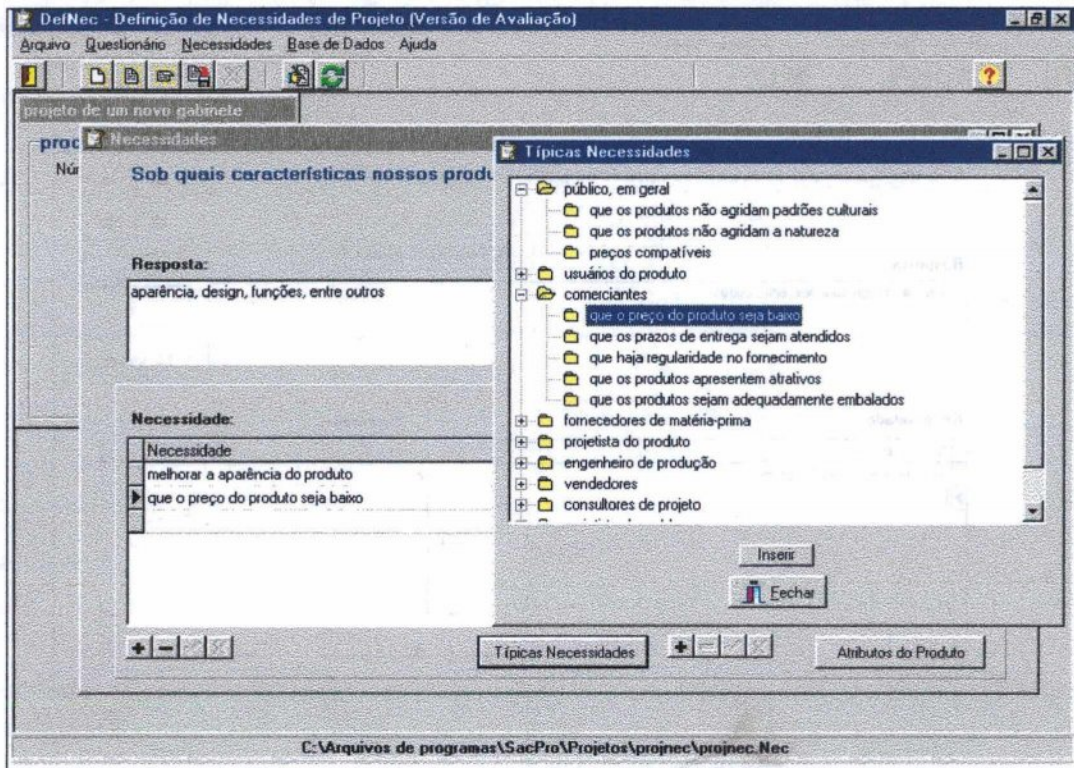


Figura 6.11 - Recursos dedicados para auxiliar no estabelecimento de necessidades de projeto (típicas necessidades de projeto).

Da maneira como se apresenta, o DEFNEC constitui-se num protótipo de desenvolvimento, sob o qual foram propostas, implementadas e testadas diferentes *funções* para auxiliar a equipe de projeto no processo de estabelecimento das necessidades de projeto. Esse programa foi implementado utilizando-se o compilador Borland Delphi 3.0 [79], que constitui um ambiente de desenvolvimento de aplicativos para sistema operacional *Windows*, baseado numa série de ferramentas predefinidas para a criação de interfaces e de base de dados. Sua linguagem de programação é o *Pascal*.

O DEFNEC, por si só, não estabelece as necessidades de projeto; esta atribuição é designada aos membros da equipe de projeto. Entretanto, o DEFNEC é configurado sob um conjunto de procedimentos que orientam a equipe de projeto na obtenção e organização das informações de projeto e registro daquelas necessidades mais representativas para o problema em questão.

Na fase inicial do desenvolvimento de produtos é comum ocorrerem indagações sobre o que deve ser feito, que informações serão necessárias ao projeto, onde essas informações poderão ser obtidas, entre outras. Além disso, é comum a equipe de projeto considerar já, desde o início do projeto, soluções pré-concebidas ou de interesse pessoal, sem ao menos procurar identificar, explorar e analisar os principais problemas envolvidos com o produto em questão.

Sob o DEFNEC e natureza de seus recursos, pretende-se facilitar a investigação ampla do problema de projeto, descrevendo-o de maneira qualitativa, através das declarações de necessidades de projeto.

Certamente, várias outras *funcionalidades* poderão ser introduzidas no DEFNEC, e aquelas existentes, melhoradas. Para tal, dois caminhos principais poderão ser adotados. O primeiro deles leva em conta o refinamento do método de questionário estruturado, detalhando seus procedimentos, informações e conhecimentos para utilizá-lo. No segundo caso, novas *funcionalidades* poderão originar-se de outros métodos adotados para auxiliar no estabelecimento das necessidades de projeto, tais como: *brainstorming* e matriz produto x mercado (PAHL & BEITZ [12]) ou método do estilo de vida das pessoas e método KJ (BURR [80]), entre outros.

Ainda, as potencialidades do DEFNEC poderão ser ampliadas se a cada questão de projeto, ou grupo de questões, forem associadas cenas ou imagens correspondentes aos assuntos sendo investigados. Entende-se, dessa maneira, que os estímulos visuais proporcionados pelas imagens associadas às questões proporcionarão maior riqueza de detalhes na proposição de interesses ou manifestações sobre o produto sendo desenvolvido, além de tornar a utilização do programa mais agradável.

Demais recursos que poderão ser implementados no DEFNEC consistem na configuração especializada de questionários de projeto. Nesse caso, poderão ser predefinidos vários questionários de projeto com características específicas, dependendo do tipo de problema, tipo de produto, natureza da equipe de projeto, entre outros. Utilizando-se técnicas de sistemas especialistas, pode-se, através de regras de produção (*IF-THEN*), capturar os conhecimentos de especialistas, principalmente do setor de marketing, para selecionar os questionários mais indicados para determinadas situações de projeto. Um exemplo esquemático desta idéia é mostrado na FIGURA 6.12.

De acordo com a FIGURA 6.12, os questionários de projeto são organizados sob uma determinada estrutura de atributos e valores, através dos quais se configurarão as regras de produção baseadas nos conhecimentos de especialistas na elaboração e aplicação de questionários de projeto. Dependendo dos atributos e valores indicados para dado projeto, o sistema que implementa aquele conhecimento seleciona, automaticamente, os questionários mais indicados. Assim, por exemplo, conforme a FIGURA 6.12, "SE o tipo de projeto é novo E o tipo de produto é componente E a natureza da equipe é experiente, ENTÃO os tipos de questionários para esta situação são Q1, Q2 e Qk".

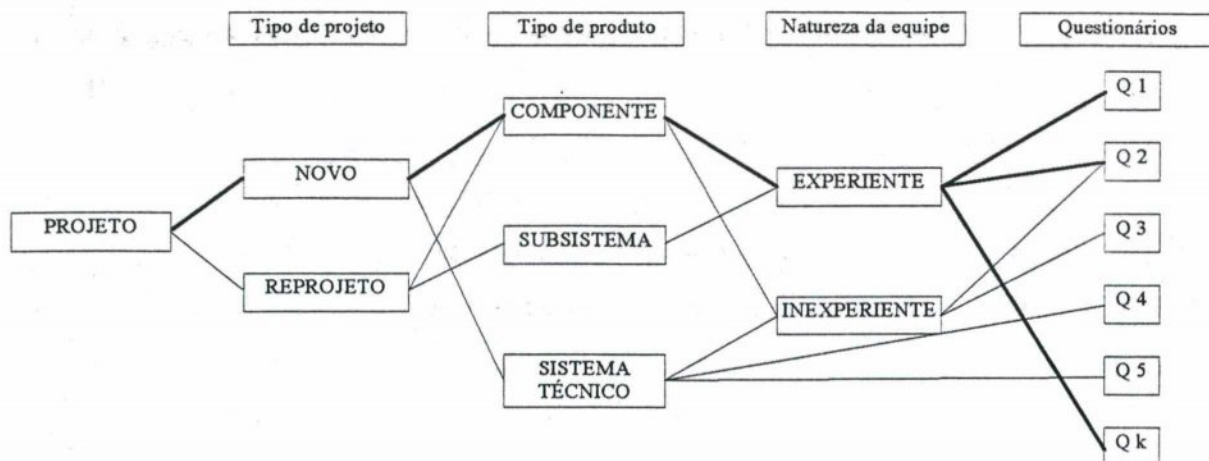


Figura 6.12 - Estrutura para configurar uma busca especializada de questionários estruturados.

6.3.2 - QFD

O QFD, conforme a TABELA 6.1, implementa o método da "casa da qualidade" para auxiliar no estabelecimento dos requisitos de projeto. Conforme se observa, grande parte das proposições aplicadas trata de *funções* para a construção da matriz da "casa da qualidade" e edição das informações de projeto consideradas sob esta ferramenta. Dessa maneira, em síntese, o programa QFD se apresenta, em primeiro lugar, como um editor da "casa da qualidade" com recursos adicionais, conforme será visto, para auxiliar na elaboração da lista de requisitos de projeto.

Sob tais características pretende-se que a equipe de projeto utilize, efetivamente, o método da "casa da qualidade", através de uma ferramenta simples e prática, para explorar, em maiores detalhes, as implicações técnicas no desenvolvimento do produto, oriundas das necessidades dos clientes do projeto. Entende-se, assim, que além das potencialidades gráficas oferecidas pelo programa, ter-se-á a oportunidade de, sistematicamente, estabelecer e registrar os principais problemas envolvidos na tarefa de projeto e suas importâncias.

A utilização do QFD se dá, inicialmente, através da interface de entrada no programa, conforme mostrado na FIGURA 6.13. Nesta, o usuário determina, a partir da opção "Novo Projeto", no menu principal, o nome do diretório de trabalho onde serão armazenadas as informações originadas no programa. A partir de então, o programa apresenta ao usuário, conforme mostrado na FIGURA 6.14, um *ícone* da matriz da "casa da qualidade" indicando os principais "campos" de informação da matriz. Os recursos do programa relativos a cada um destes "campos" podem ser acessados a partir daquele *ícone*, com um duplo *click* do *mouse* no "campo" de interesse, ou através da opção "Inserir", no menu principal.

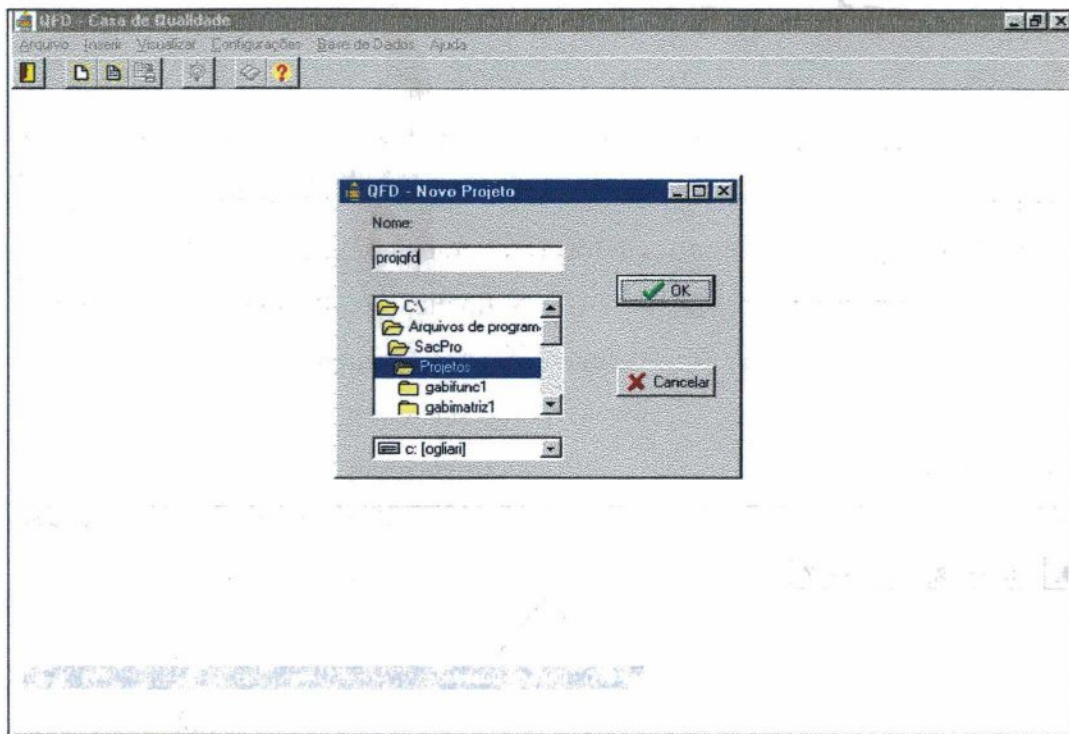


Figura 6.13 - Interface de entrada no programa QFD.

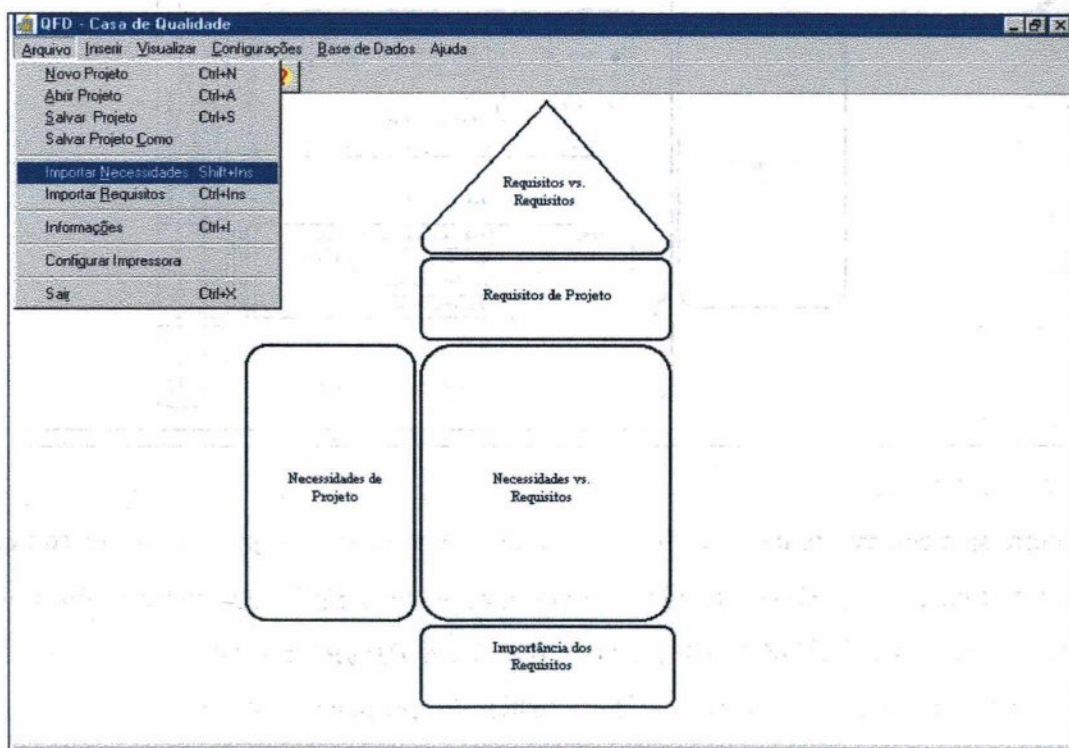


Figura 6.14 - Interface de operação do QFD.

Da maneira como esse programa foi concebido, ele pode ser utilizado de forma independente, ou não, do DEFNEC. Em outras palavras, o QFD tanto "lê" as necessidades e os requisitos gerados através do DEFNEC, quanto possibilita a edição de novas necessidades e

requisitos de projeto.

Considerando a utilização do DEFNEC, o QFD conta com recursos, conforme mostrado na FIGURA 6.14, para importar os arquivos de necessidades e requisitos gerados no DEFNEC. Esses arquivos estão armazenados no seguinte caminho: C:\Arquivos de programas\SacPro\Projetos(\"nome do diretório de trabalho criado no DEFNEC\"), sob as denominações de "OQues.DB" e "Comos.DB". A finalização das operações de importação é indicada no QFD através do "escurecimento" dos "campos" correspondentes àquelas informações no ícone da matriz, conforme pode ser observado na FIGURA 6.15, e as necessidades e os requisitos serão listados, respectivamente, nas linhas e colunas da matriz.

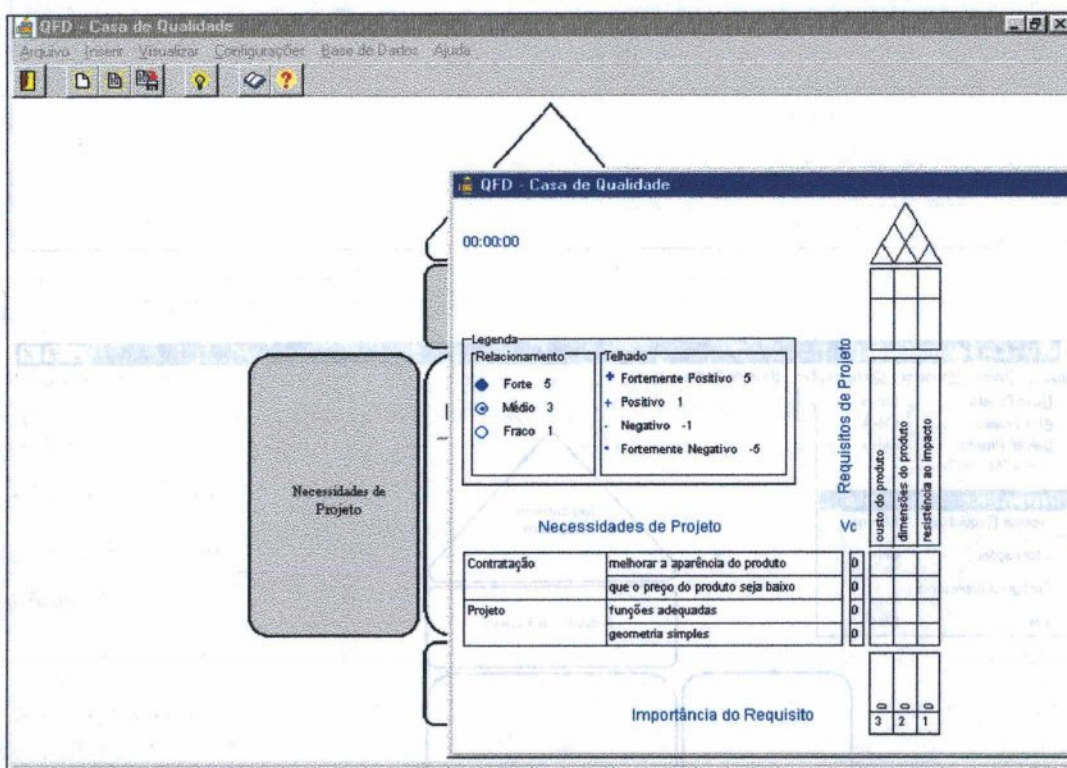


Figura 6.15 - Entrada de dados no QFD.

Segue-se à entrada de dados sobre necessidades e requisitos de projeto, de acordo com os recursos anteriores, a utilização do QFD, conforme as prescrições do método, descritas na TABELA 6.1. Para tal, o programa conta com vários recursos para a edição das necessidades, requisitos, relacionamentos e cálculo da importância dos requisitos de projeto.

Na FIGURA 6.16, por exemplo, mostram-se os recursos para a edição das necessidades de projeto e de seus valores. Nesse caso, o projetista poderá promover alterações que considerar necessárias na lista de necessidades oriundas do DEFNEC, bem como inserir novas necessidades de projeto. As necessidades de projeto poderão ser organizadas numa estrutura com três níveis de classificação, e somente aquelas do último nível serão consideradas nos relacionamentos com os

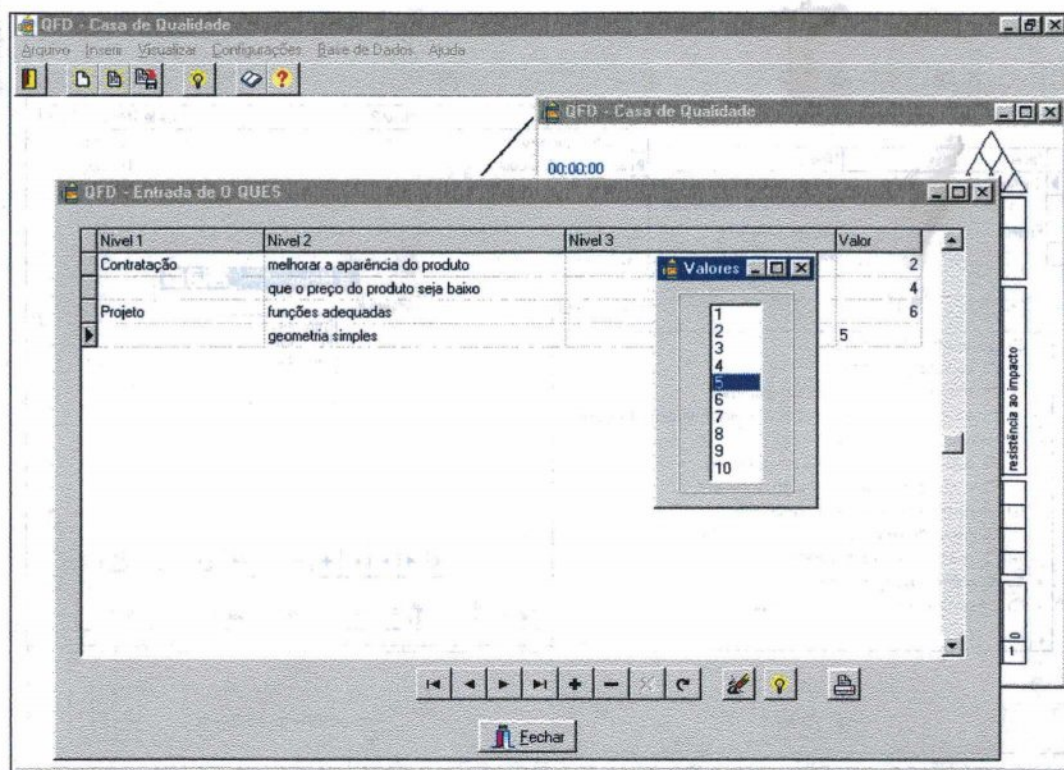


Figura 6.16 - Recursos para a edição de necessidades de projeto.

requisitos de projeto. Em outras palavras, os dois primeiros níveis têm propósitos organizacionais.

Semelhantes àqueles anteriores, na FIGURA 6.17, mostram-se os recursos do QFD para a edição dos requisitos de projeto. Nesse caso, além das facilidades de edição, o projetista conta com uma base de dados de atributos do domínio sob consideração para auxiliar na tradução das necessidades em requisitos de projeto. Esses atributos, conforme definidos na TABELA 5.6, tratam sobre típicos parâmetros ou variáveis que poderão ser considerados no projeto de gabinetes moldados por injeção, dependendo das necessidades de projeto. Da maneira como se apresentam, esses atributos configuram uma das parcelas do requisito de projeto. Sua configuração completa dependerá, ainda, da definição do valor desejado para o atributo e sua unidade, conforme os campos indicados na interface de edição dos requisitos de projeto.

Após a edição das necessidades e requisitos de projeto, sob os recursos anteriores, os resultados são apresentados, graficamente, na matriz, conforme a FIGURA 6.18. A partir dessa interface, sem a necessidade de voltar à tela principal do programa, grande parte das *funções* do QFD poderão ser acessadas, conforme o "pop menu" indicado na figura.

Entre estas *funções*, inclui-se aquela para a edição dos relacionamentos entre necessidades e requisitos de projeto, cujos recursos oferecidos pelo programa são mostrados na FIGURA 6.19. Nesse caso, conforme se observa, são listadas as necessidades e os requisitos de

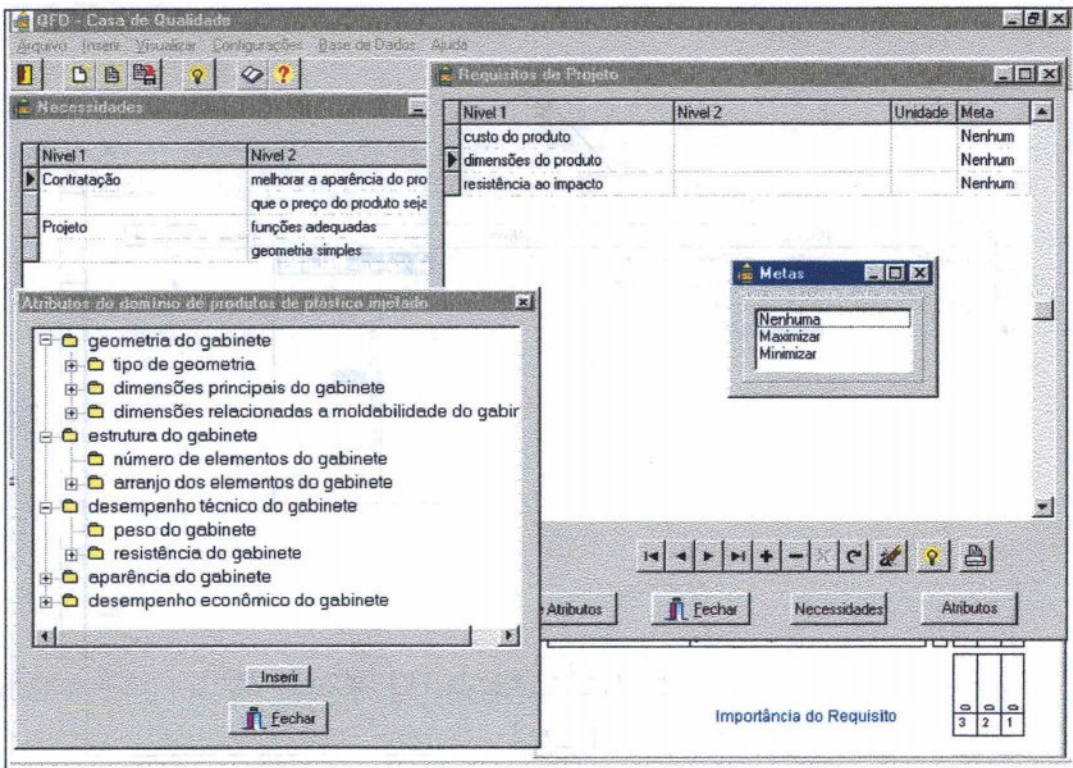


Figura 6.17 - Recursos para a edição dos requisitos de projeto.

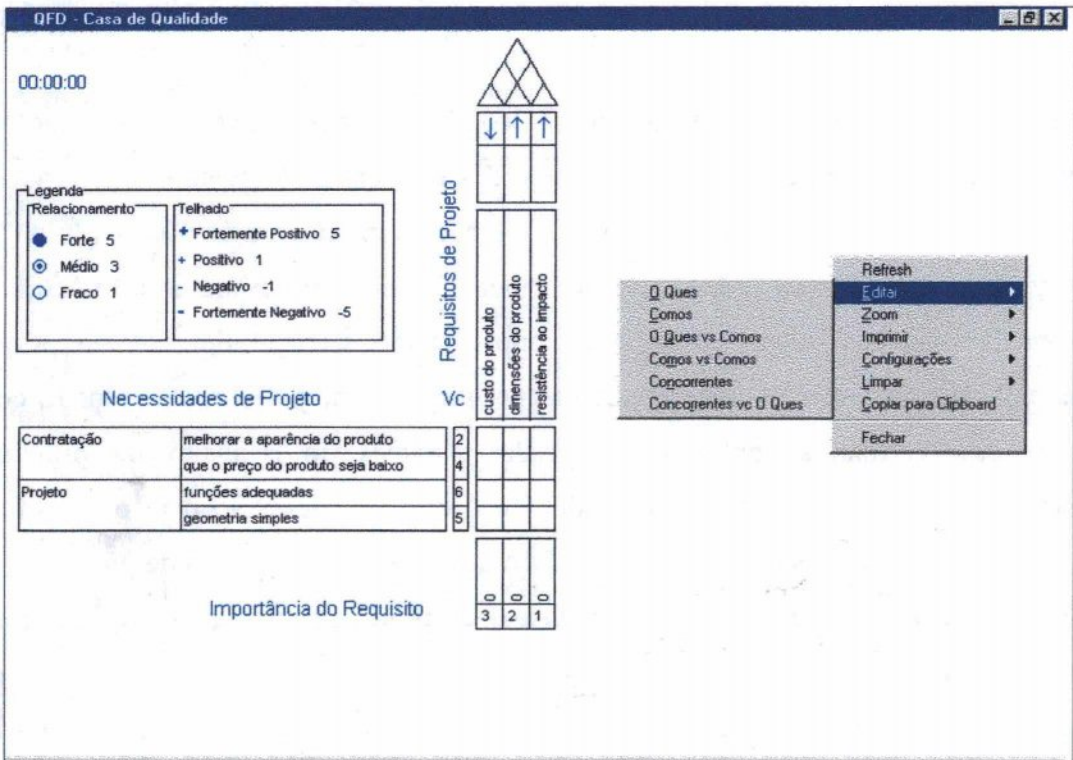


Figura 6.18 - Interface de apresentação gráfica dos resultados da "casa da qualidade".

projeto correspondentes aos últimos níveis da classificação estabelecida para estas informações. Para proceder no relacionamento, o projetista seleciona uma necessidade de interesse e percorre

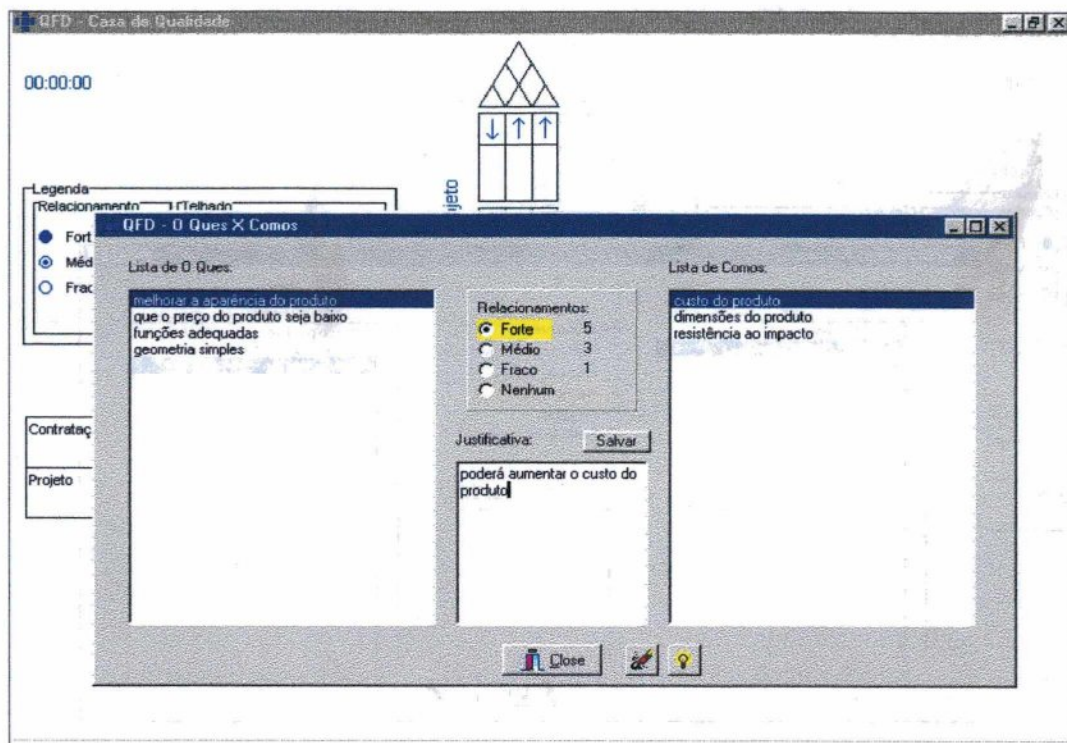


Figura 6.19 - Recursos para a edição dos relacionamentos entre necessidades e requisitos de projeto.

a lista de requisitos, indicando o tipo de relacionamento, conforme a escala mostrada. Inclui-se, também, um "campo" para a edição das justificativas, se houver, sobre dado relacionamento. Essas justificativas serão armazenadas numa base de dados, podendo-se recuperá-las, posteriormente, na forma de relatório.

Concluída a edição dos relacionamentos entre necessidades e requisitos de projeto, os resultados são mostrados na matriz através de símbolos correspondentes aos valores dos relacionamentos atribuídos, conforme a escala de valoração considerada. Os valores que correspondem aos símbolos indicados serão utilizados para o cálculo da importância de cada um dos requisitos de projeto, cujos resultados são mostrados na parte inferior da matriz. Esses resultados indicam o peso de importância do requisito de projeto e sua correspondente classificação, calculados conforme o método tradicional (veja AKAO [81], p. 60).

Segue-se à atribuição de relacionamentos entre necessidades e requisitos de projeto a atribuição dos relacionamentos entre os requisitos de projeto, ou seja, os relacionamentos do "telhado" da "casa da qualidade". Neste caso, os recursos do QFD são semelhantes àqueles anteriores e podem ser observados na FIGURA 6.20.

De acordo com a FIGURA 6.20, os requisitos de projeto, e suas respectivas metas (+ou-), serão apresentados ao usuário para que se proceda à seleção e atribuição dos graus de

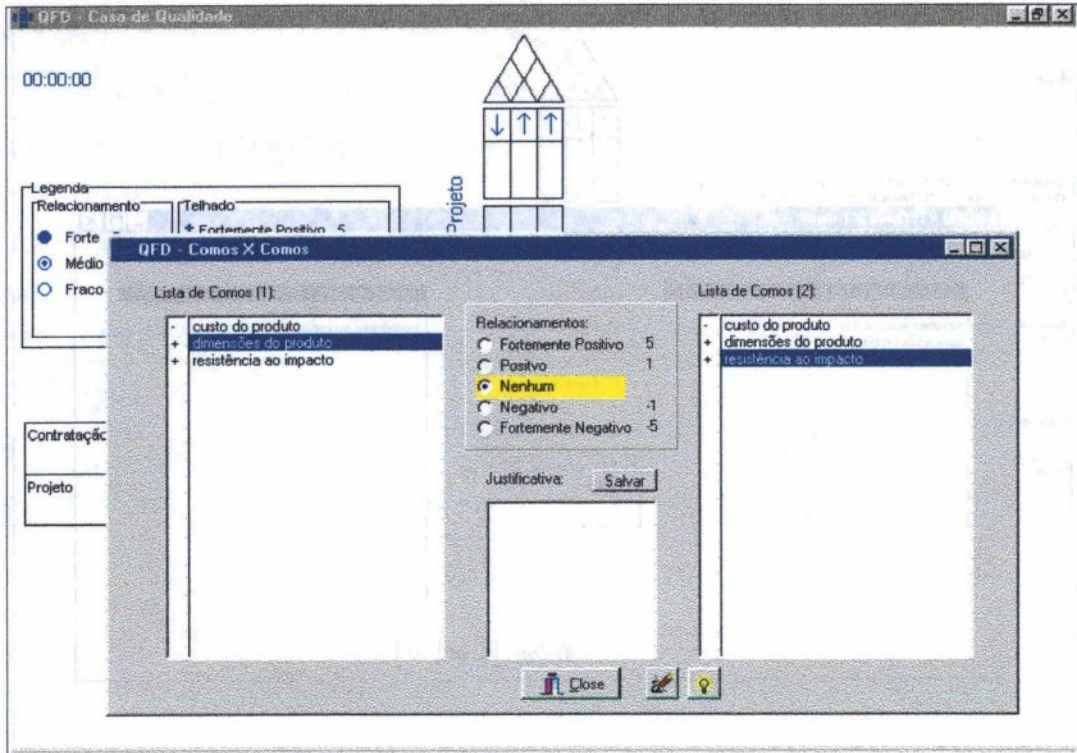


Figura 6.20 - Recursos para a atribuição dos relacionamentos entre os requisitos de projeto.

relacionamentos, conforme a escala indicada. Os relacionamentos atribuídos entre os requisitos também poderão ser justificados, conforme o "campo" de justificativas mostrado.

Concluída a atribuição dos relacionamentos entre os requisitos de projeto, os resultados são apresentados, graficamente, na matriz ("telhado"), e, a partir destes resultados, pode-se configurar, sob a opção "Configurações" do "pop menu" (veja FIGURA 6.18), o cálculo da importância dos requisitos de projeto, levando-se em conta os relacionamentos do "telhado". Os resultados dessa operação são apresentados na parte inferior da matriz, conforme a FIGURA 6.21, indicando a nova classificação dos requisitos de projeto, de acordo com a equação proposta no APÊNDICE C, FIGURA C.9.

A utilização dos recursos descritos anteriormente viabiliza a construção da "casa da qualidade" para determinado problema de projeto. Entre os resultados de saída do programa incluem-se a impressão da matriz resultante e a impressão dos relatórios sobre as justificativas para cada relacionamento atribuído na matriz (opção "Imprimir", no "pop menu").

De acordo com os recursos promovidos pelo programa QFD, a equipe de projeto tem a oportunidade de aplicar efetivamente o método da "casa da qualidade" e, assim, investigar, de maneira abrangente, os principais problemas a serem resolvidos, estabelecendo-os na forma de declarações de requisitos de projeto. Para tal, além das potencialidades gráficas do programa, a base de dados de atributos do domínio de aplicação proporciona, principalmente para aqueles

equivalentes em ambos os elementos de informação (declarações de necessidades e atributos do domínio). Sob os resultados dessa comparação, podem ser determinados graus de associação entre as declarações de necessidades e os atributos do domínio. Esses graus de associação estabelecerão, conforme uma determinada escala, indicativos sobre quais serão os prováveis atributos que representam as declarações de necessidades e poderão ser utilizados para configurar os requisitos do projeto. Sob essa idéia, as maiores dificuldades serão encontradas na elaboração das estruturas de atributos/valores para caracterizar as declarações de necessidades e os atributos do domínio, já que se trata de informações qualitativas e abrangentes. Além disso, o processo de caracterização das declarações de necessidades, sob dada estrutura de atributos/valores, poderá ser uma atividade bastante morosa, dependendo do número de necessidades e atribuições que se façam necessárias. Um exemplo hipotético dessa idéia é mostrado na FIGURA 6.22.

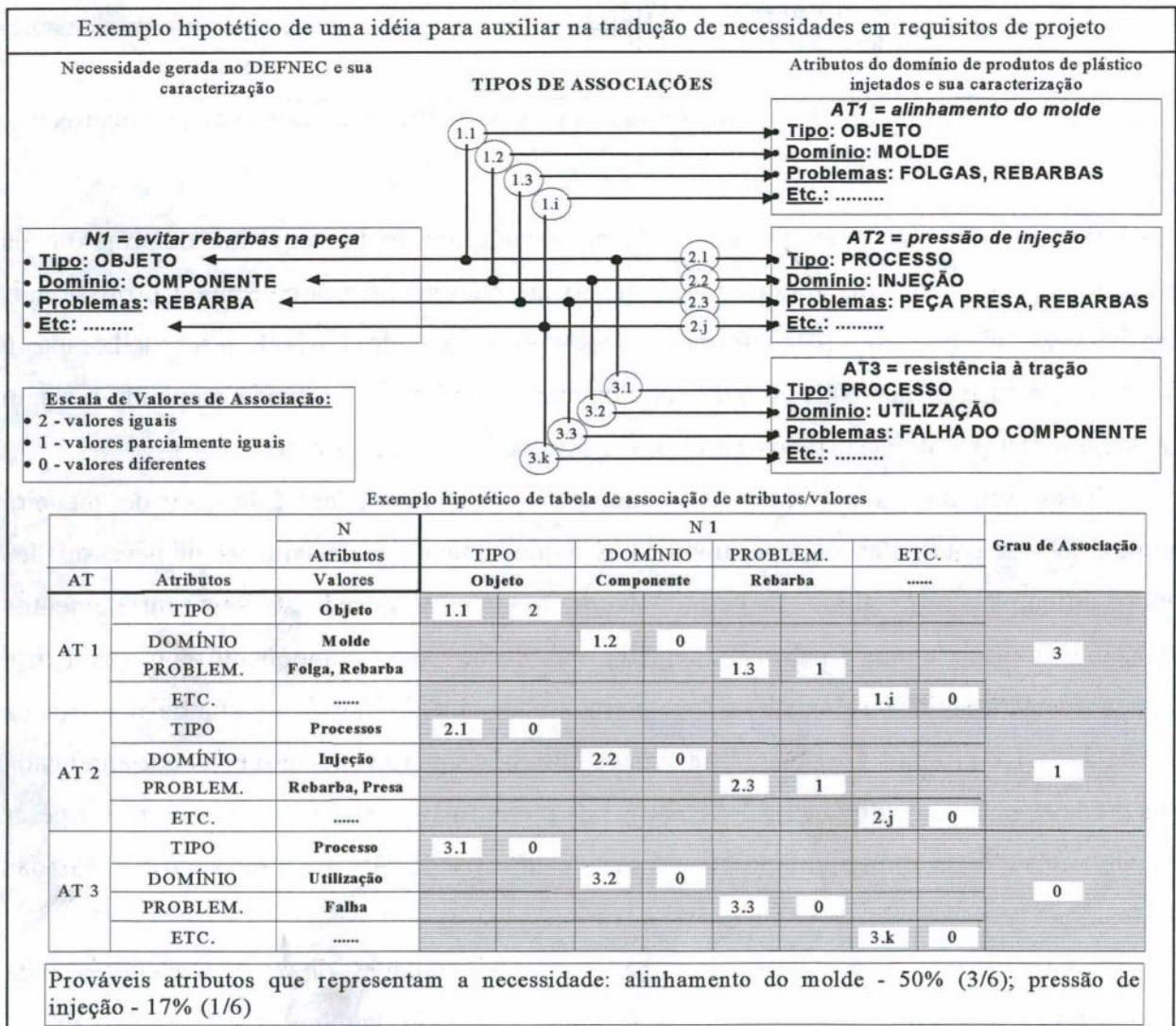


Figura 6.22 - Idéia para um mecanismo de auxílio à tradução de necessidades em requisitos de projeto.

Da maneira como se apresenta, o QFD constitui-se numa ferramenta prática de auxílio ao estabelecimento dos requisitos de projeto, minimizando o tempo necessário para a construção da matriz de "casa da qualidade" e viabilizando, através de sua base de dados, a pesquisa rápida de atributos úteis para auxiliar na configuração dos requisitos de projeto para o problema em questão. Essa ferramenta foi desenvolvida utilizando o Borland C++ Builder 1.0 [82], que se constitui num ambiente de desenvolvimento de aplicativos para sistema operacional *Windows*, similar ao Borland Delphi 3.0 [79], porém baseado na linguagem de programação C++.

6.3.3 - PRODEF

O programa PRODEF, conforme se observa na TABELA 6.1, implementa, através de suas *funcionalidades*, o método de síntese de funções do produto. Esse programa caracteriza-se como um editor gráfico das funções do produto e sua estrutura, associado a uma base de dados de funções, entre outras informações, com enfoque em gabinetes moldados por injeção. Sob tais características, o PRODEF apresenta recursos para criar funções durante o projeto, selecionar funções da base de dados, identificar funções automaticamente através dos "ícones de projeto", representar graficamente a estrutura de funções, visualizar as necessidades e os requisitos de projeto para auxiliar na seleção ou identificação de funções, atualizar a base de dados de funções, base de dados de símbolos de funções, base de dados de "ícones de projeto", entre outros.

Sob tais recursos, pretende-se que a equipe de projeto utilize efetivamente o método de síntese de funções para explorar, de maneira abrangente e sistemática, as implicações funcionais para o produto oriundas das necessidades e requisitos de projeto e estabelecê-las na forma de uma ou mais estruturas de funções. Entende-se, dessa maneira, que a equipe de projeto terá, através de uma ferramenta simples e prática, a oportunidade de inovar ou melhorar o produto sendo desenvolvido. Além disso, as funções do produto formam a base de informações para a pesquisa ou desenvolvimento de princípios de solução através do método morfológico.

A utilização do PRODEF se dá, inicialmente, através da interface de entrada no programa, conforme a FIGURA 6.23, na qual, através da opção "Arquivo", do menu principal, o usuário dispõe de recursos para escolher o domínio de projeto e definir o diretório de trabalho. Sob o domínio de projeto serão habilitadas as funções cadastradas para aquele domínio e, sob o diretório de trabalho, estabelece-se o local onde as informações geradas no programa serão armazenadas.

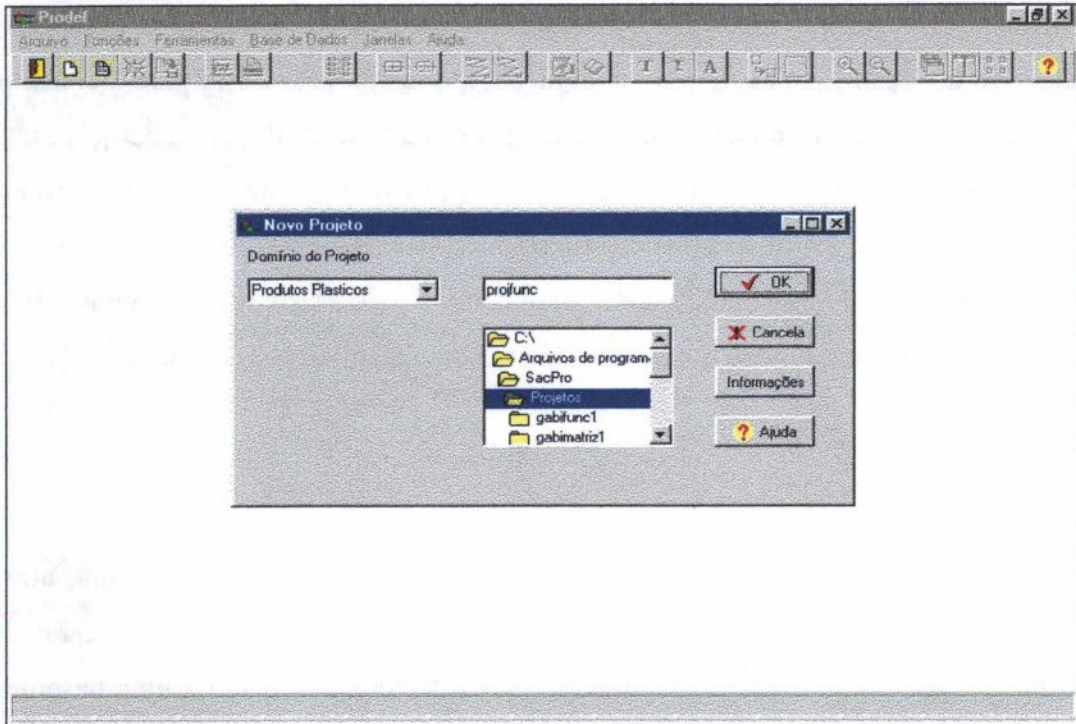


Figura 6.23 - Interface de entrada no programa PRODEF.

Concluída essa etapa, a utilização do PRODEF pode-se dar de duas maneiras principais. Uma delas trata da manutenção da base de dados; e a outra, da utilização propriamente dita do programa para auxiliar na elaboração da estrutura funcional do produto.

Na manutenção da base de dados, conforme se observa na FIGURA 6.24, incluem-se opções para cadastrar funções de produtos, cadastrar símbolos de funções, cadastrar "ícones de projeto" e cadastrar recomendações para auxiliar no arranjo das funções e avaliação da estrutura de funções desenvolvida.

As funções do produto são inseridas na base de dados do PRODEF sob a estrutura de informações mostrada na FIGURA 6.25. Nesse caso, conforme se observa, cada função é cadastrada sob os seguintes atributos:

- **Nome:** corresponde ao verbo que representa a função;
- **Símbolo:** corresponde ao símbolo da função;
- **Grandezas de entrada:** corresponde às grandezas de entrada da função (podem ser múltiplas grandezas de entrada);
- **Grandezas de saída:** corresponde às grandezas de saída da função (podem ser múltiplas grandezas de saída);
- **Ícones associados:** corresponde às parcelas de conhecimento (eventos, procedimentos, fatos, regras, entre outros) associados a cada função;
- **Elementos associados:** corresponde ao substantivo da função;
- **Classes de elementos associados:** identificador para categorizar a função na matriz morfológica;
- **Origem:** corresponde à natureza da função (derivada, associada, etc.); e
- **Descrição:** corresponde a uma síntese descritiva sobre a função.

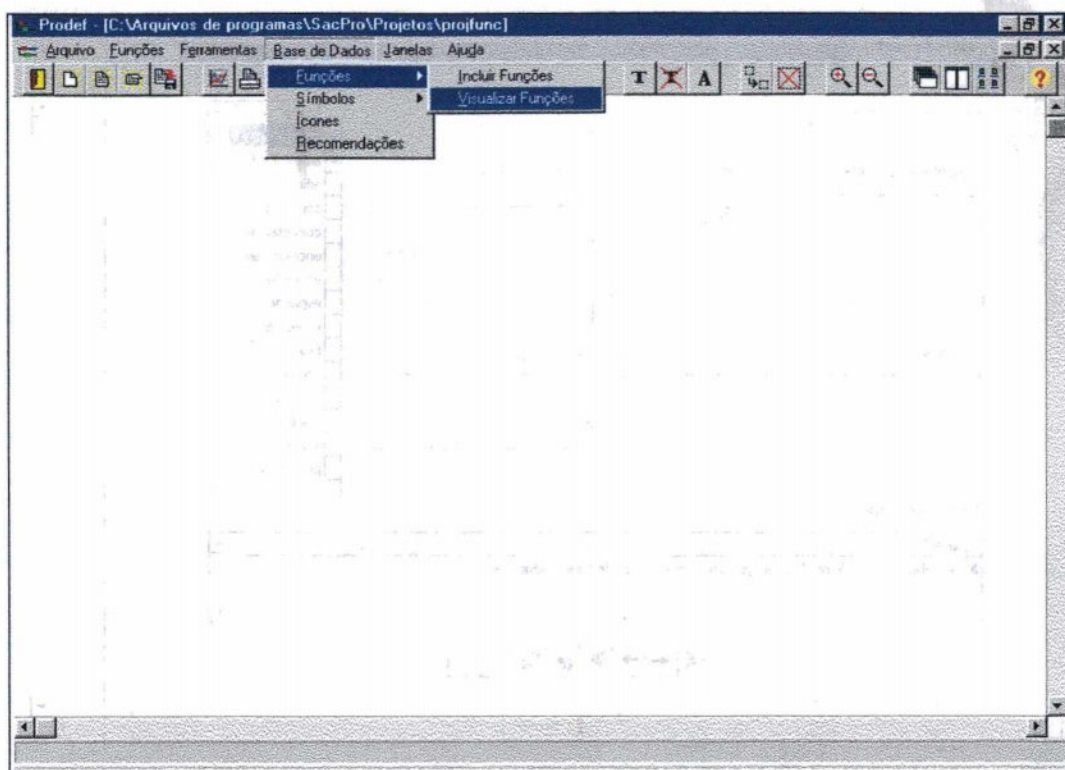


Figura 6.24 - Opções da base de dados do PRODEF.

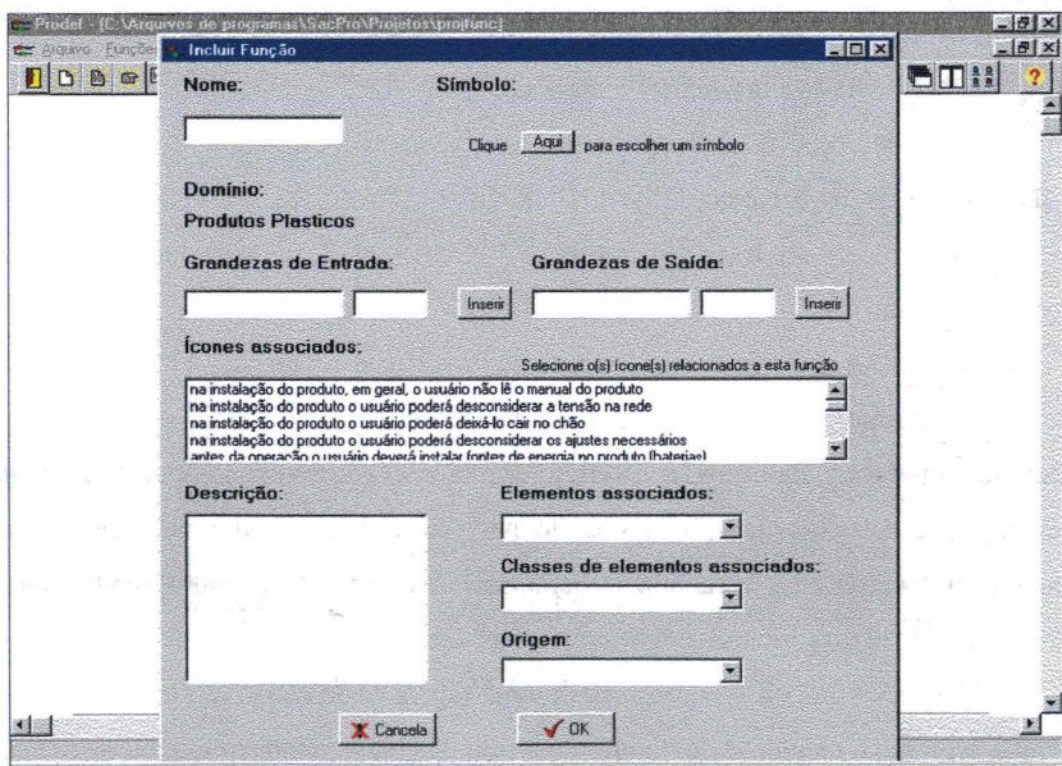


Figura 6.25 - Recursos para o cadastro de funções na base de dados.

Após o cadastro de dada função, esta poderá ser visualizada em conjunto com suas informações e com as demais funções da base de dados, conforme mostrado na FIGURA 6.26.

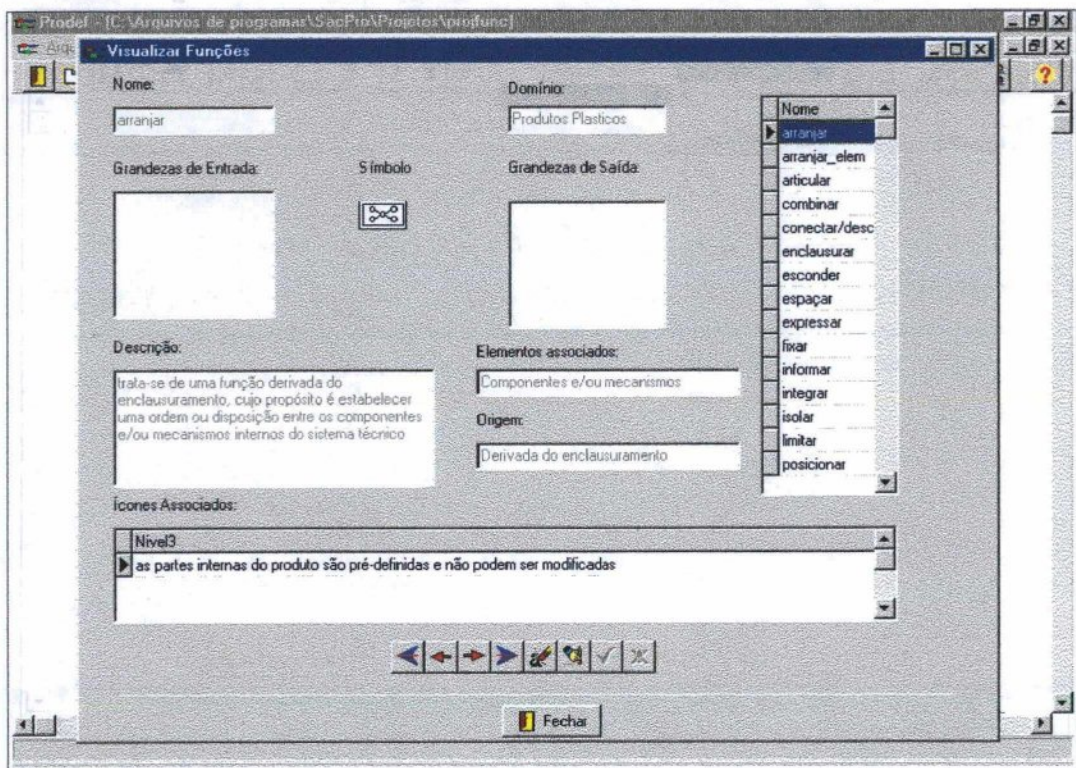


Figura 6.26 - Visualização das funções cadastradas na base de dados do PRODEF.

Durante o cadastro de determinada função, deve-se escolher ou criar um símbolo apropriado para representá-la graficamente. Para tal, o PRODEF conta com uma base de dados de símbolos de funções, que também pode ser ampliada ou modificada. A visualização dos símbolos da base de dados é mostrada na FIGURA 6.27. Nesse caso, a inclusão de um novo símbolo se dá conforme os recursos mostrados na FIGURA 6.28, ou seja, inclui-se o nome da função e escolhe-se um dado símbolo, o qual está associado a um arquivo "bmp" contido no seguinte diretório: "C:\Arquivos de programas\SacPro\Prodef\Imagens". Os arquivos "bmp" podem ser gerados por programas convencionais de desenho.

Além das funções e símbolos, o PRODEF conta com recursos para cadastrar "ícones de projeto" do domínio sob consideração. Estes "ícones" serão armazenados na base de dados e, posteriormente, utilizados para caracterizar determinada função do produto sendo cadastrada (FIGURAS 6.25 e 6.26). A inclusão dos ícones na base de dados se dá através dos recursos mostrados na FIGURA 6.29, ou seja, através de uma tabela onde cada "ícone de projeto" pode ser organizado segundo o elemento do domínio e o tipo de conhecimento a que ele pertence.

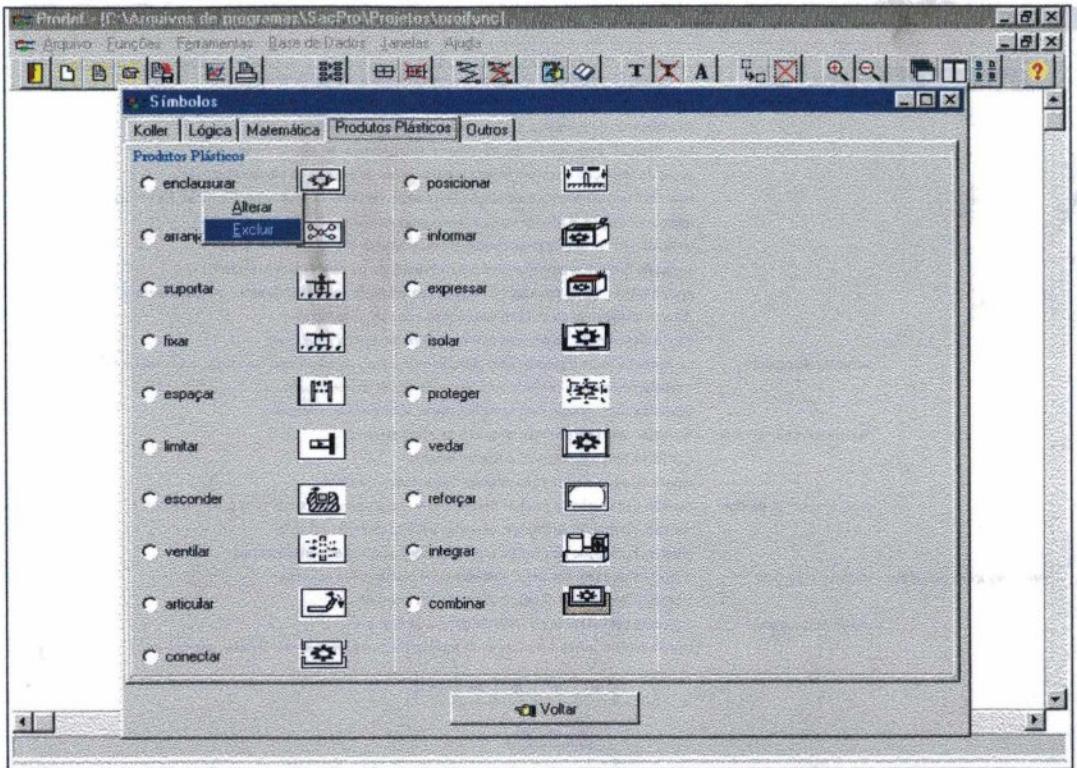


Figura 6.27 - Visualização dos símbolos de funções cadastrados no PRODEF.

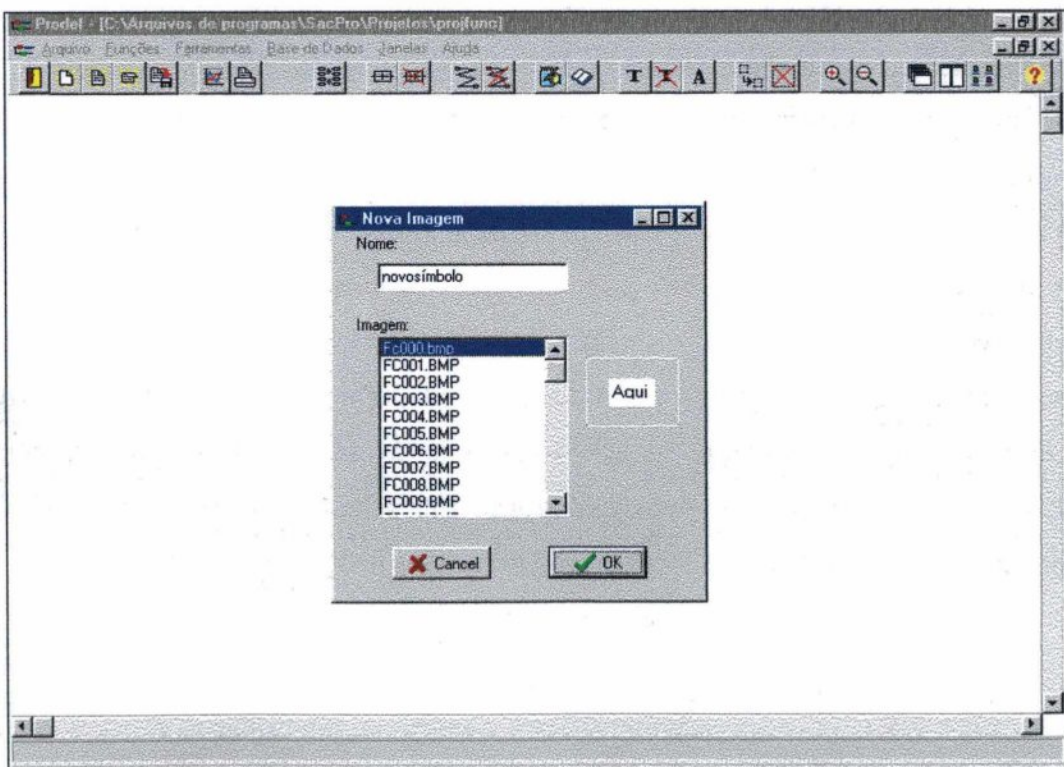


Figura 6.28 - Recursos para inserir novos símbolos na base de dados do PRODEF.

Tipos de Conhecimento	Elementos de Domínio	Ícones de projeto propostos
episódios (acontecimentos)	usuário do produto	na instalação do produto, em geral, o usuário não lê o manual do produto na instalação do produto o usuário poderá desconsiderar a tensão na rede na instalação do produto o usuário poderá deixá-lo cair no chão na instalação do produto o usuário poderá desconsiderar os ajustes necessários antes da operação o usuário deverá instalar fontes de energia no produto (baterias) quando o usuário finaliza a instalação do produto ele observa seus aspectos gerais (externos) após a instalação, o usuário verifica que o produto não opera o usuário tem receio sobre as operações ou efeitos do produto o usuário que utiliza o produto tem pouca habilidade ou conhecimento técnico após a instalação do produto, ou durante sua utilização, o usuário mostra-o às outras pessoas durante a utilização do produto suas partes internas poderão falhar para a manutenção do produto o usuário deve desmontar o gabinete
	ambiente do produto	no ambiente onde o produto será utilizado há excesso de impurezas, humidade, entre outros elemento o produto deverá ser utilizado submerso em algum tipo de líquido o produto será utilizado num ambiente sujeito a excesso de vibrações
	demais sistemas técnicos	o produto será utilizado num ambiente de estilo moderno o produto será utilizado num ambiente futurista
	componentes do produto	durante a utilização do produto poderá haver super aquecimento de suas partes internas durante a utilização do produto as partes internas poderão soltar-se durante a utilização do produto será necessário acessar as partes internas
fatos (situações existentes)	usuário do produto	o produto será utilizado pelos operadores de máquinas da empresa o produto deverá ser utilizado sob condições inseguras
	ambiente do produto	o produto será utilizado no chão de fábrica da empresa o produto está sujeito à impurezas de fabricação (cavacos quentes, líquidos quentes, etc.)

Figura 6.29 - Recursos para a inclusão de "ícones de projeto".

Por último, na base de dados do PRODEF, inserem-se as recomendações para auxiliar no arranjo das funções do produto e para auxiliar na avaliação da estrutura de funções resultante. Essas recomendações, que também poderão ser ampliadas à medida que o conhecimento sobre a síntese de funções do produto avance, são apresentadas ao usuário, conforme os recursos mostrados na FIGURA 6.30.

A utilização do PRODEF como ferramenta de auxílio ao estabelecimento das funções de produto e sua estrutura, considerando-se as informações contidas em sua base de dados, se dá, inicialmente, conforme o método de síntese de funções estabelecido na TABELA 6.1, pela identificação dos "ícones de projeto" a partir das necessidades e requisitos. Para tal, o PRODEF conta com recursos para recuperar as necessidades e os requisitos de projeto, conforme estabelecidos no QFD, e mantê-los ativos para proceder na seleção dos "ícones de projeto" mais apropriados para representá-los. Tais recursos são mostrados na FIGURA 6.31.

Diante dos "ícones de projeto" selecionados, o PRODEF apresenta, baseado numa busca em sua base de dados, uma lista de prováveis funções para o produto sendo projetado, conforme mostrado na FIGURA 6.32. Aqui, o projetista tem a opção de confirmar as funções oferecidas pelo programa ou excluir aquelas, que entender, não apropriadas. Após a confirmação das funções identificadas pelos "ícones de projeto", o PRODEF apresenta-as em sua forma gráfica, conforme mostrado na FIGURA 6.33.

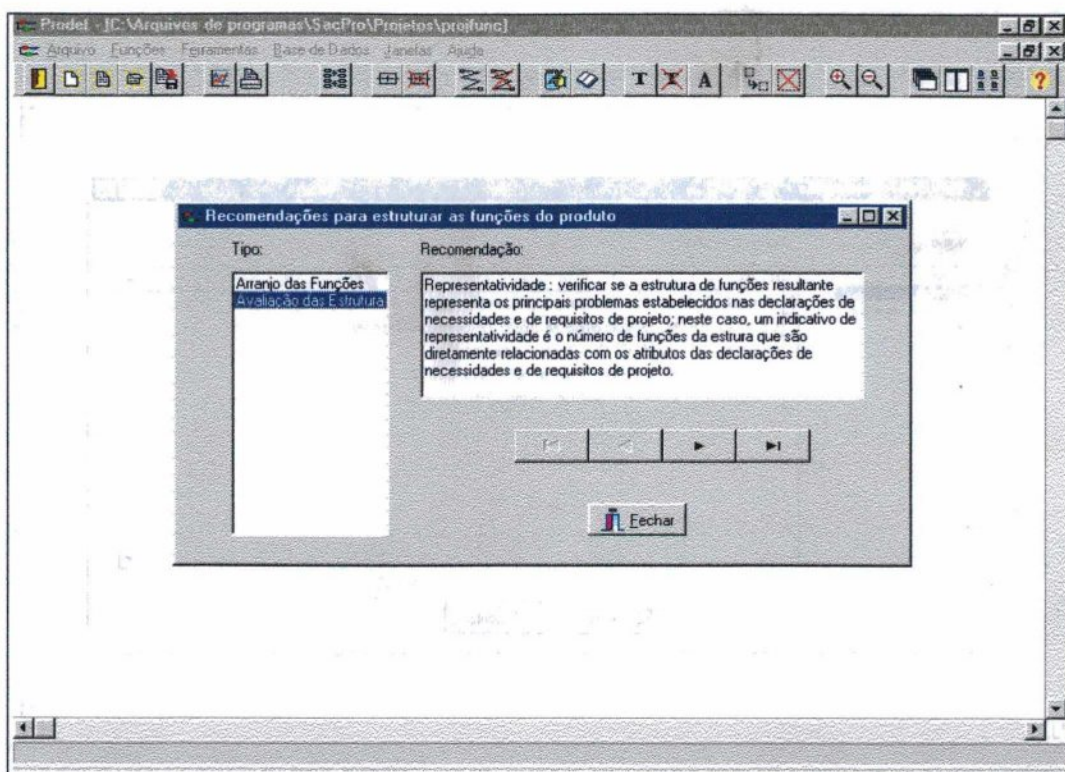


Figura 6.30 - Recomendações para auxiliar na estruturação das funções do produto.

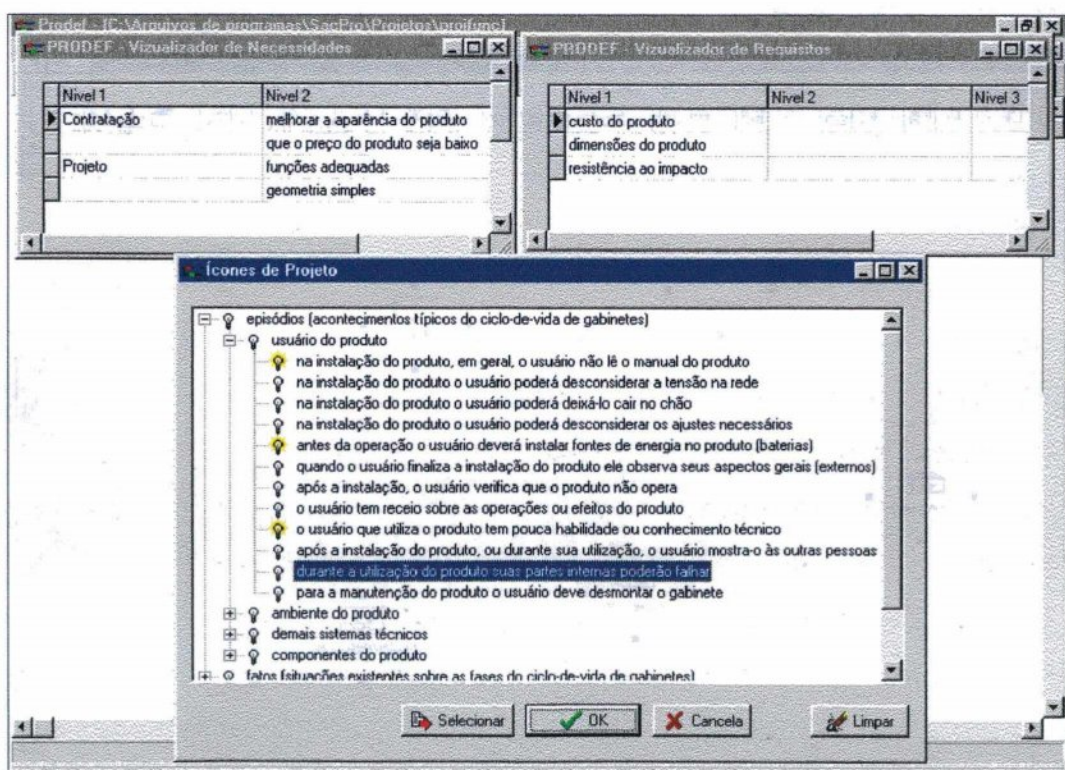


Figura 6.31 - Recursos para visualização das necessidades e requisitos de projeto e seleção de "ícones de projeto".

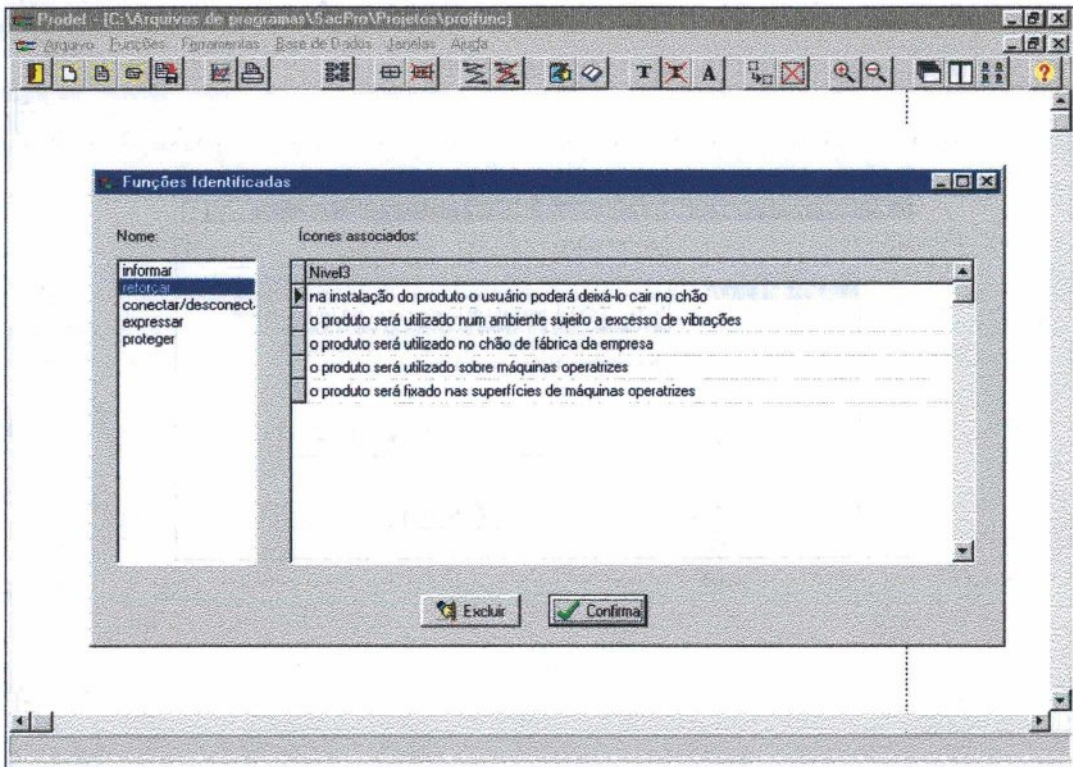


Figura 6.32 - Apresentação das funções selecionadas na base de dados a partir dos "ícones de projeto" selecionados pelo projetista.

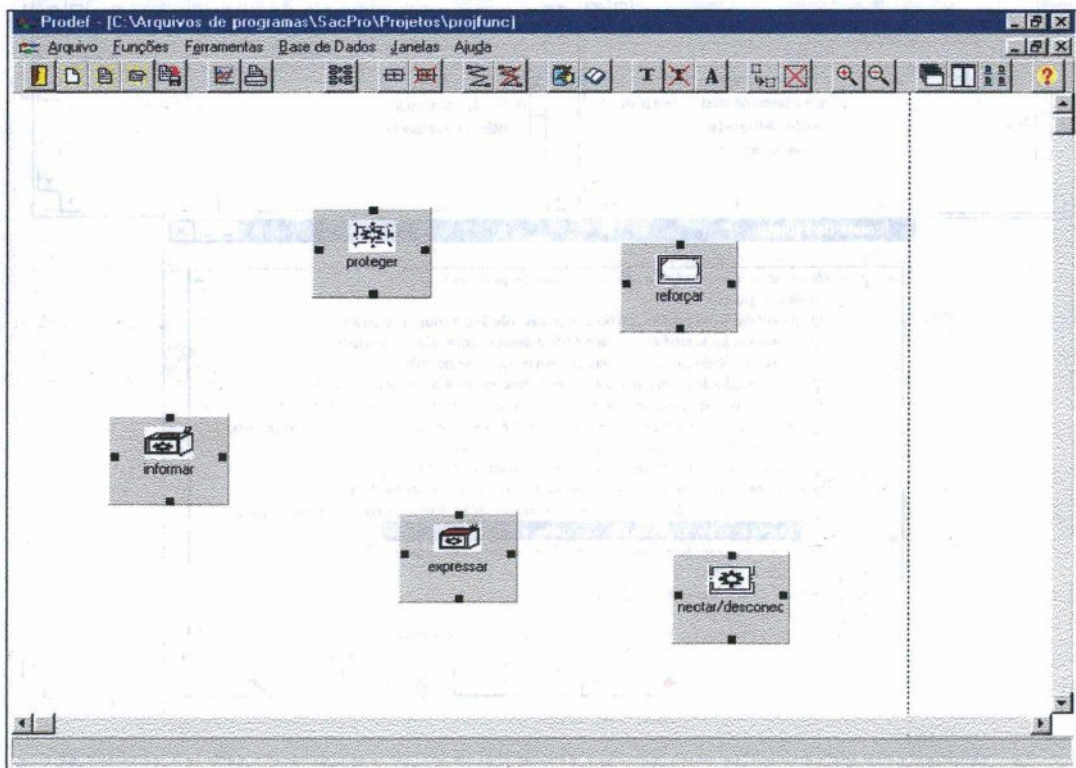


Figura 6.33 - Funções selecionadas, representadas graficamente no PRODEF.

Diante das funções apresentadas ao usuário, conforme a FIGURA 6.33, procede-se no sentido de arranjá-las numa estrutura funcional para o produto. Do ponto de vista de edição gráfica da estrutura de funções, o PRODEF conta com recursos para promover as ligações entre as funções, na forma hierárquica ou de fluxo de grandezas, conforme exemplos mostrados na FIGURA 6.34.

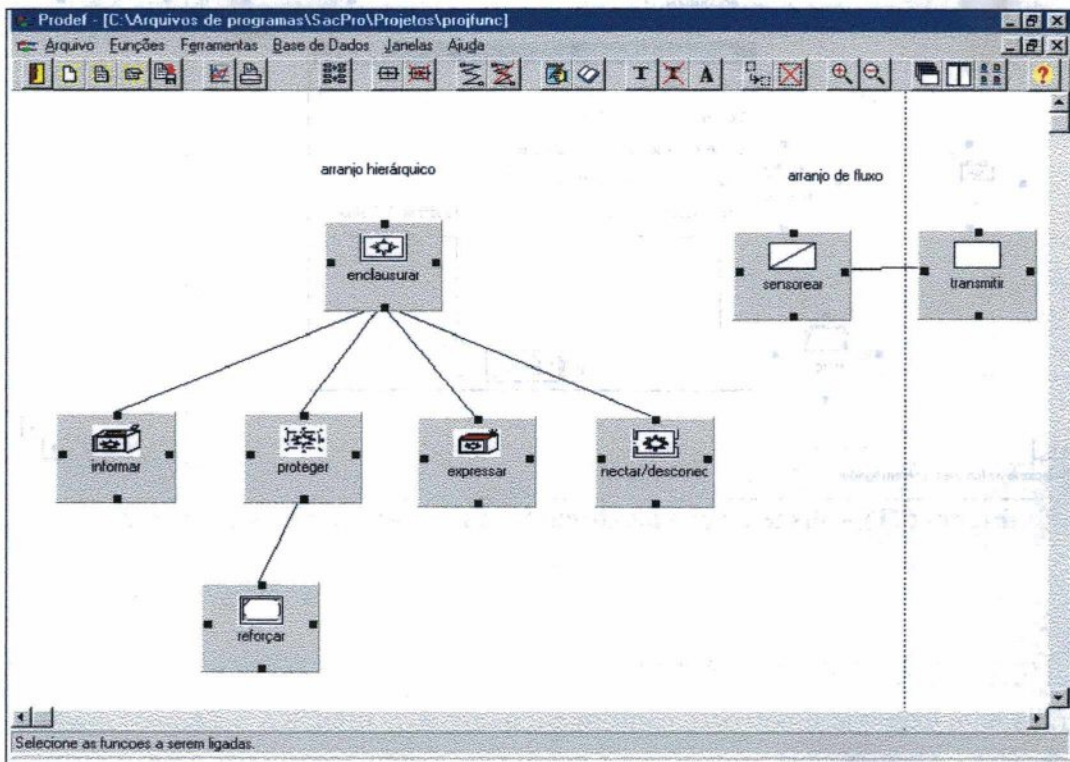


Figura 6.34 - Edição gráfica das estruturas de funções no PRODEF.

Durante o arranjo das funções, além dos recursos para criar novas funções ou selecionar funções da base de dados, o PRODEF oferece um conjunto de recomendações para auxiliar na determinação da posição mais adequada das funções na estrutura. Essas recomendações são obtidas, visualmente, "clitando-se" com o botão direito do *mouse* sobre a função sendo arranjada, conforme mostrado na FIGURA 6.35. Nesse caso, o projetista deve verificar a "origem" da função de interesse, ou seja, se derivada, associada, entre outras, obtendo, então, uma orientação sobre a melhor posição para aquela função na estrutura sendo configurada.

Embora essas recomendações sejam simples, no presente, estabelecem um caminho pelo qual o arranjo das funções do produto pode ser orientado. Essa atividade tem sido considerada, normalmente, sob a experiência dos profissionais projetistas, pesquisa exaustiva, tentativa e erro, analogias, entre outras, mas pode ser automatizada, pelo menos em parte, à medida que os critérios de arranjo forem sendo ampliados e definidos. Sob tais critérios, deve-se desenvolver algoritmos para comparar as funções entre si e, a partir dos valores de seus atributos de arranjo

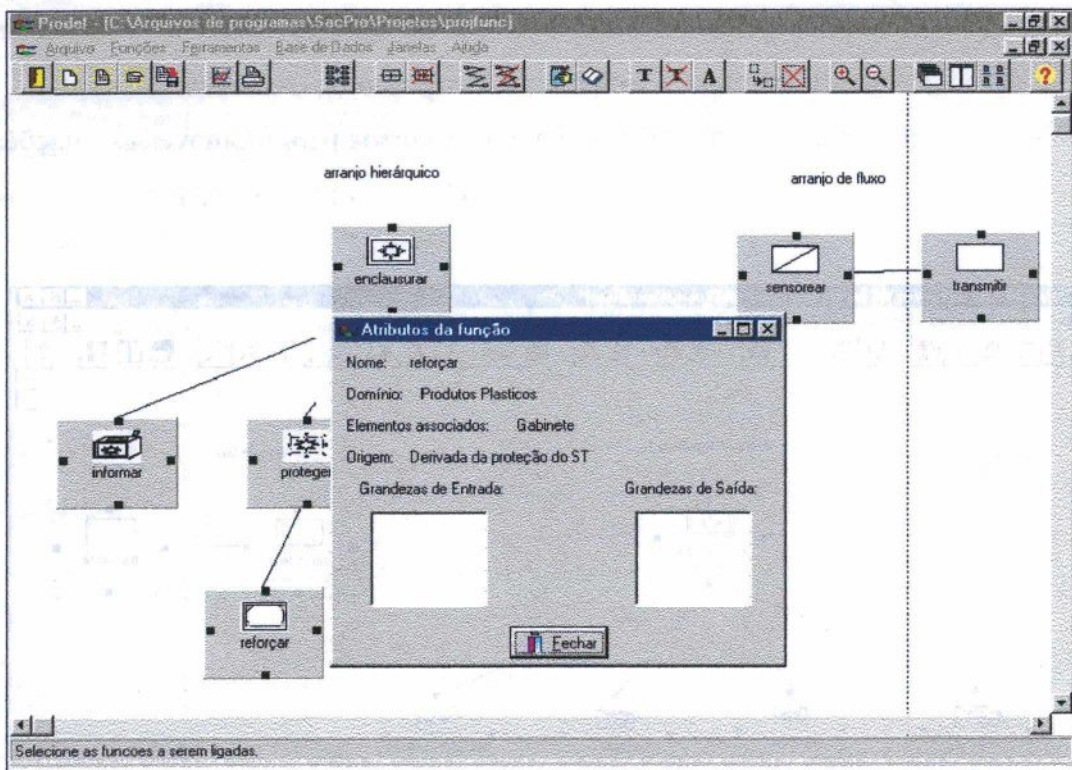


Figura 6.35 - Visualização de atributos/valores das funções cadastradas.

(origem, por exemplo), indicar sobre as prováveis posições das funções na estrutura. Essa idéia foi mostrada num exemplo hipotético, conforme o item 5.3.3, FIGURA 5.13.

Concluído o arranjo das funções do produto, numa dada estrutura, sob os recursos do PRODEF, deve-se proceder no sentido de avaliá-la para verificar sua adequacidade ao problema de projeto em questão. Similarmente aos recursos anteriores, o PRODEF dispõe de recomendações para avaliar a estrutura de funções do produto, conforme mostrado na FIGURA 6.36. Nesse caso, o usuário verifica, sistematicamente, se a estrutura resultante e suas características gerais atendem aos critérios de avaliação propostos. Tais critérios tratam sobre a representatividade, clareza, completeza e aceitabilidade da estrutura de funções, conforme definidos no item 5.3.3.

Da maneira como se apresenta, esse processo de avaliação é "manual", ou seja, o projetista, sob sua capacidade de síntese, deve considerar a estrutura de funções globalmente e percorrer cada um dos critérios de avaliação, emitindo pareceres de adequacidade, ou não. A avaliação automatizada não foi considerada na presente tese. Entretanto, se a estrutura de funções resultante for caracterizada sob dado conjunto de atributos/valores de avaliação, esta automatização torna-se viável, conforme a idéia a seguir.

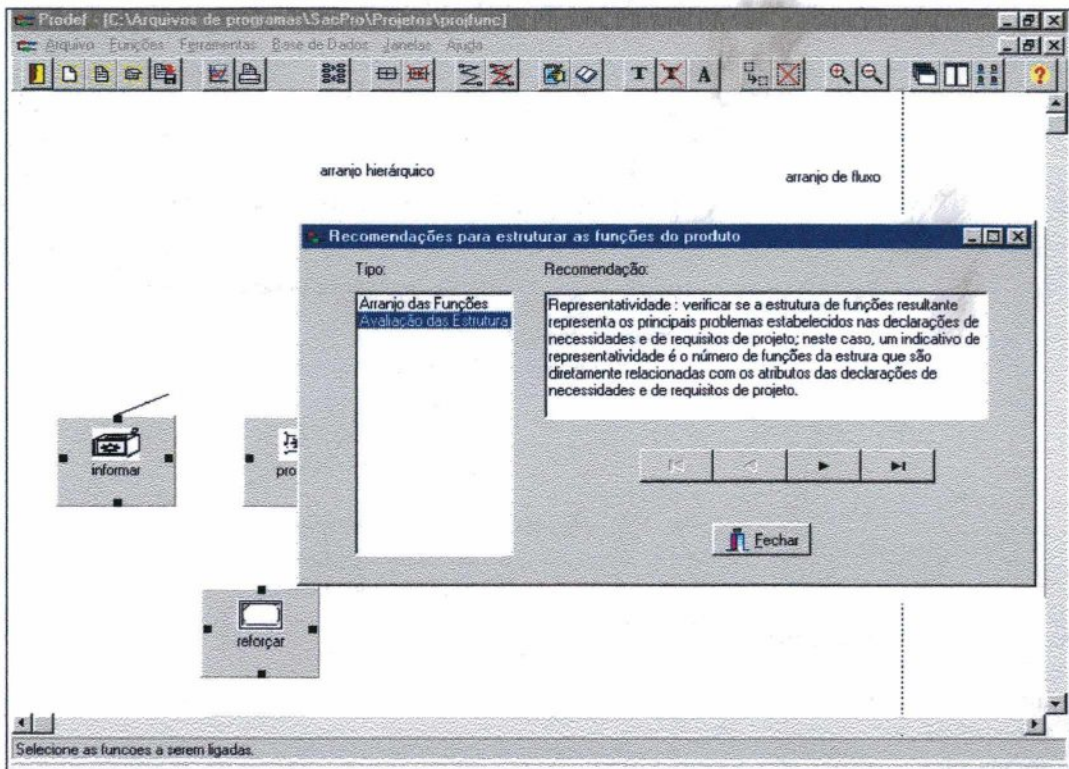


Figura 6.36 - Recursos para a avaliação da estrutura de funções do produto.

Pode-se implementar, por exemplo, um algoritmo para comparar os critérios de avaliação da base de dados, sob determinadas escalas de valores, com os valores dos atributos de avaliação da estrutura resultante, determinando indicativos de adequacidade. Um exemplo hipotético dessa idéia é mostrado na FIGURA 6.37.

Além de mecanismos para avaliar a estrutura de funções do produto, o PRODEF pode ser evoluído, através de mecanismos especializados para auxiliar na identificação das funções do produto a partir dos "ícones de projeto". Nessa direção, ao invés da busca "manual" de "ícones de projeto", a partir das necessidades e requisitos de projeto, pode-se utilizar os "ícones de projeto" para configurar regras, em uma base de conhecimento, através de técnicas de sistemas especialistas, que propiciam a busca automática das funções do produto. Esse assunto, e um protótipo de demonstração, é apresentado, em maiores detalhes, no APÊNDICE F.

Da maneira como se apresenta, o PRODEF constitui-se numa ferramenta prática de auxílio ao estabelecimento das funções do produto, promovendo recursos para a edição gráfica das funções e sua estrutura e para orientar o projetista na definição daquelas funções mais apropriadas para o produto em questão. Essa ferramenta foi desenvolvida com o Borland C++ Builder 1.0 [82], que se constitui num ambiente de desenvolvimento de aplicativos para o sistema operacional *Windows*, similar ao Borland Delphi 3.0 [79], porém baseado na linguagem de programação C++.

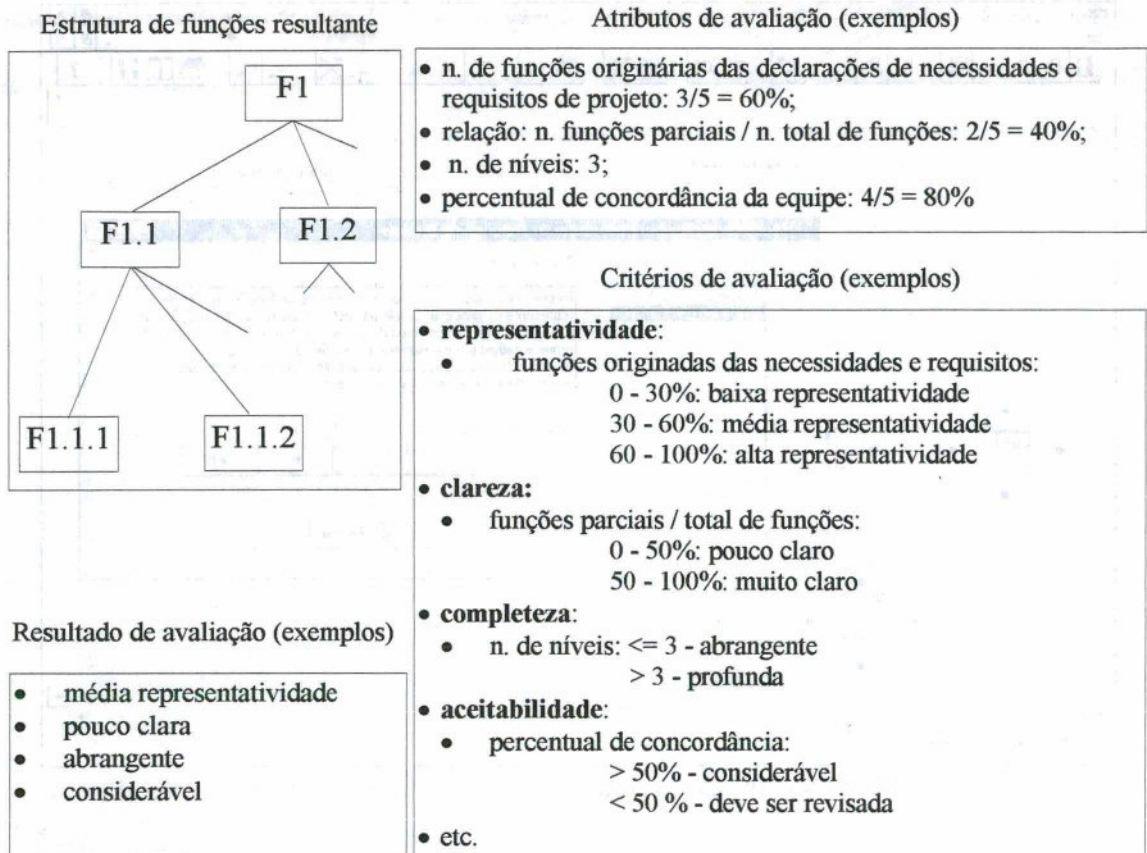


Figura 6.37 - Exemplo hipotético de avaliação automatizada da estrutura de funções do produto.

6.3.4 - MMORF

Conforme a TABELA 6.1, o MMORF implementa o método morfológico para auxiliar na geração de concepções alternativas para o componente injetado. De acordo com as *funcionalidades* propostas, esse programa caracteriza-se como um editor gráfico de uma matriz morfológica associado a uma base de dados de princípios de solução de componentes injetados e associado a recursos para combinar princípios e apresentar as concepções geradas.

Sob tais características pretende-se que a equipe de projeto utilize efetivamente o método morfológico na concepção de produtos, através de uma ferramenta simples e prática, que torna a atividade de concepção sistematizada. Entende-se, dessa maneira, que os projetistas terão a oportunidade de explorar, de maneira abrangente, as soluções possíveis para o produto, evitando ou minimizando soluções particulares pré-concebidas. Aumentam-se, assim, as possibilidades de encontrar soluções melhoradas ou inovadoras para o produto.

A utilização do MMORF se dá, inicialmente, através da interface de entrada do programa, conforme mostrado na FIGURA 6.38. Nesta o projetista define o diretório de trabalho

onde serão armazenadas as informações resultantes do projeto. Segue-se a esta etapa a apresentação inicial da estrutura da matriz morfológica a ser configurada para o problema em questão, conforme a FIGURA 6.39.

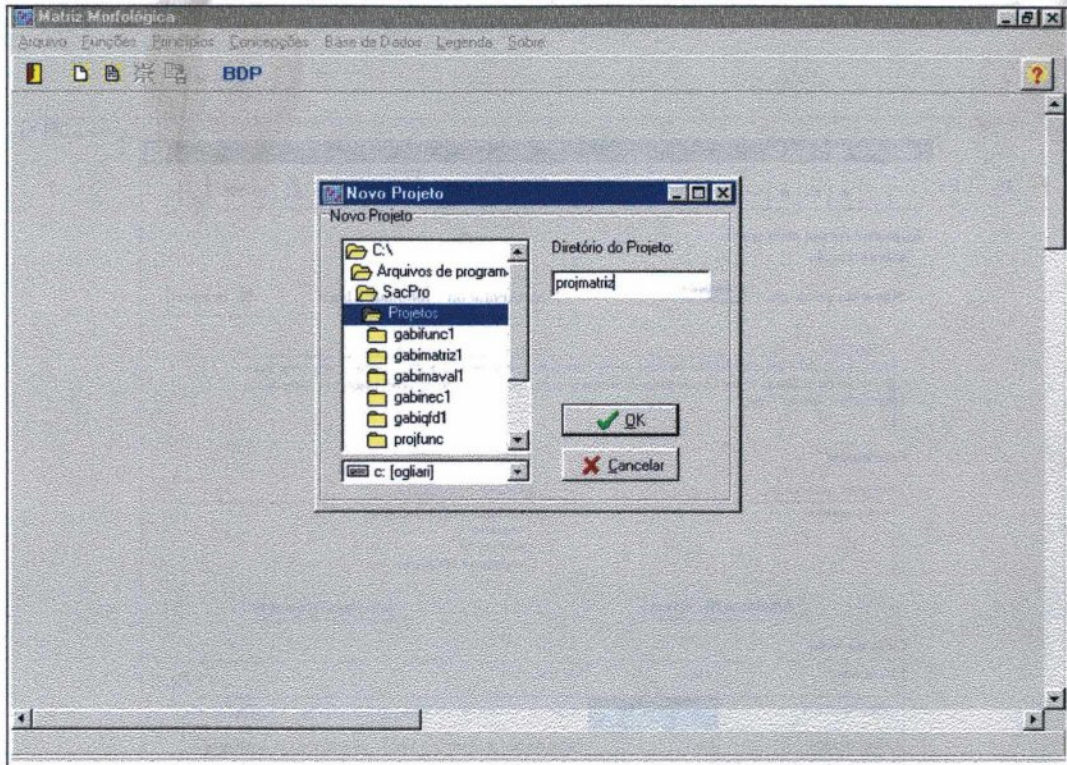


Figura 6.38 - Interface de entrada no programa MMORE.

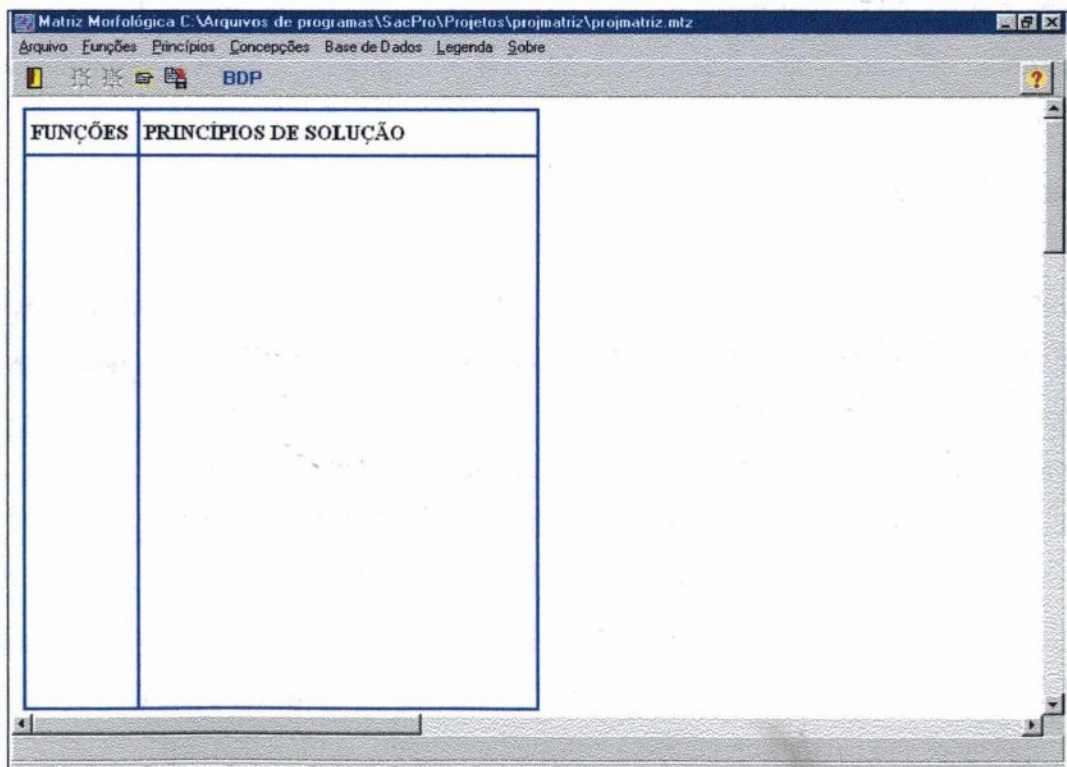


Figura 6.39 - Estrutura inicial da matriz morfológica.

A utilização do MMORF pode-se dar de duas maneiras principais: manutenção da base de dados de princípios de solução (cadastro de novos princípios, modificação dos princípios cadastrados, etc.) e geração de soluções conceituais alternativas para o produto. Na manutenção da base de dados (atualização), o programa conta com recursos para cadastrar princípios de solução sob a estrutura de atributos, conforme mostrado na FIGURA 6.40.

Atributos de um princípio

Identificação

Nome do princípio : Representação :

Descrição:

solução de gabinete constituída de duas partes principais, geralmente similares, aplicada, em geral, para produtos ou sistemas técnicos manipulados manualmente, tais como calculadoras, máquinas fotográficas, telefones, "mouse", etc.

Funcionais

Funções associadas:

Elementos associados:

Ciclo de Vida

Qualidades	Valor	Por que
competitividade	Bom	segue as tendências do mercado e possibilita configurações al
funcionalidade	Bom	cumpre adequadamente a função de enclausurar, associada à
projetabilidade	Bom	trata-se de uma solução simples e, se não houverem muitos del

Figura 6.40 - Estrutura de atributos para cadastrar princípios de solução de componentes injetados.

De acordo com a FIGURA 6.40, os atributos considerados para cadastrar os princípios de solução de componentes injetados estão conforme aqueles propostos na FIGURA 5.20, ou seja, atributos de identificação do princípio de solução (nome, representação e descrição), atributos funcionais (funções associadas e elementos associados) e atributos do ciclo de vida (qualidades do princípio).

Na segunda forma de utilização desse programa, diante dos princípios de solução cadastrados, conforme os recursos anteriores, procede-se no sentido de utilizá-lo para auxiliar na geração de concepções alternativas para o produto sendo projetado. Nesse sentido, o MMORF conta, inicialmente, com recursos para importar as funções do produto, as quais foram geradas no PRODEF. Esses recursos são promovidos através da opção "Funções", no menu principal. As funções importadas são listadas na matriz, conforme mostrado na FIGURA 6.41.

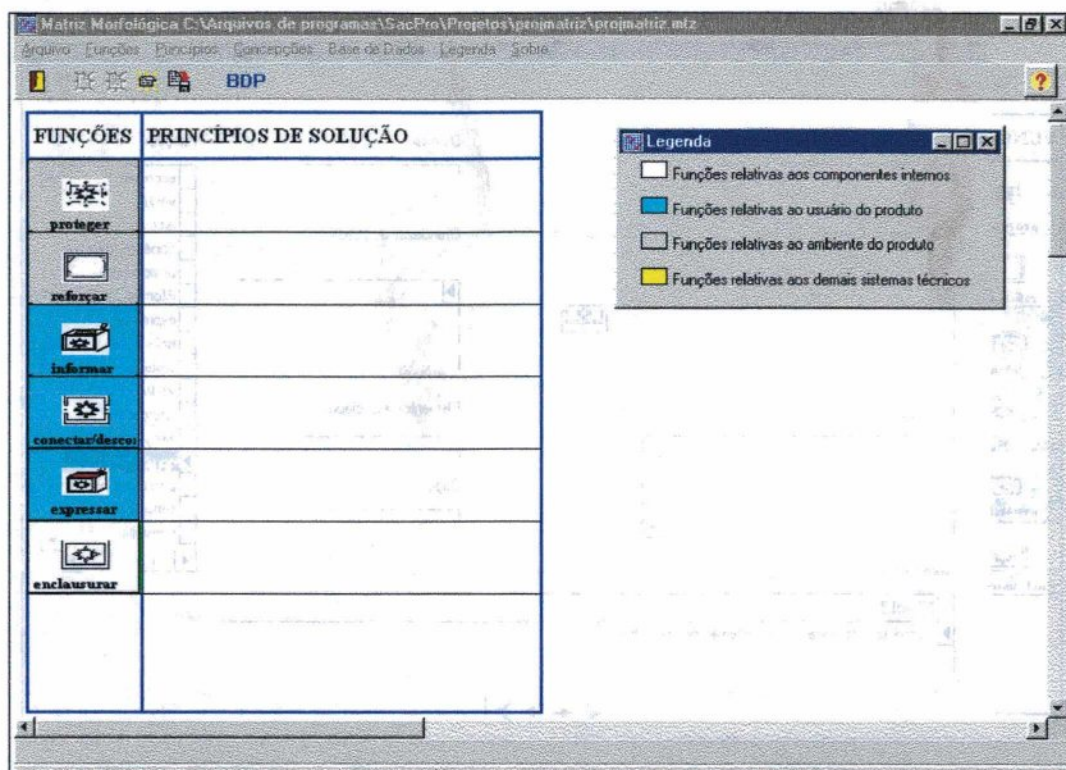


Figura 6.41 - Apresentação das funções do produto na matriz após a operação de “Importar Funções”.

Conforme se observa na FIGURA 6.41, as funções do produto são apresentadas ao projetista sob diferentes cores. Essas cores, de acordo com a legenda mostrada, correspondem às classes de funções de um dado gabinete, os seja, funções relativas aos componentes internos, ao usuário do produto, ao ambiente do produto e aos demais sistemas técnicos (veja modelo conforme FIGURA 5.5).

Além da importação de funções, o programa conta com recursos para inserir funções manualmente ou remover aquelas que desejar. Em outras palavras, a lista de funções recuperada do PRODEF pode ser editada na matriz. Na inserção de funções, recupera-se a base de dados de funções do PRODEF, conforme mostrado na FIGURA 6.42, possibilitando a escolha manual daquela função de interesse. A função escolhida será inserida no final da lista de funções na matriz, conforme mostrado na FIGURA 6.43.

Na remoção de uma função, por sua vez, deve-se, em primeiro lugar, escolher a função a ser removida, através de um “clique do mouse” sobre ela. Após esta escolha e sob a opção “Remover”, no menu, o programa solicita a confirmação, ou não, da função a ser removida (veja FIGURA 6.43, relativa à função “combinar”).

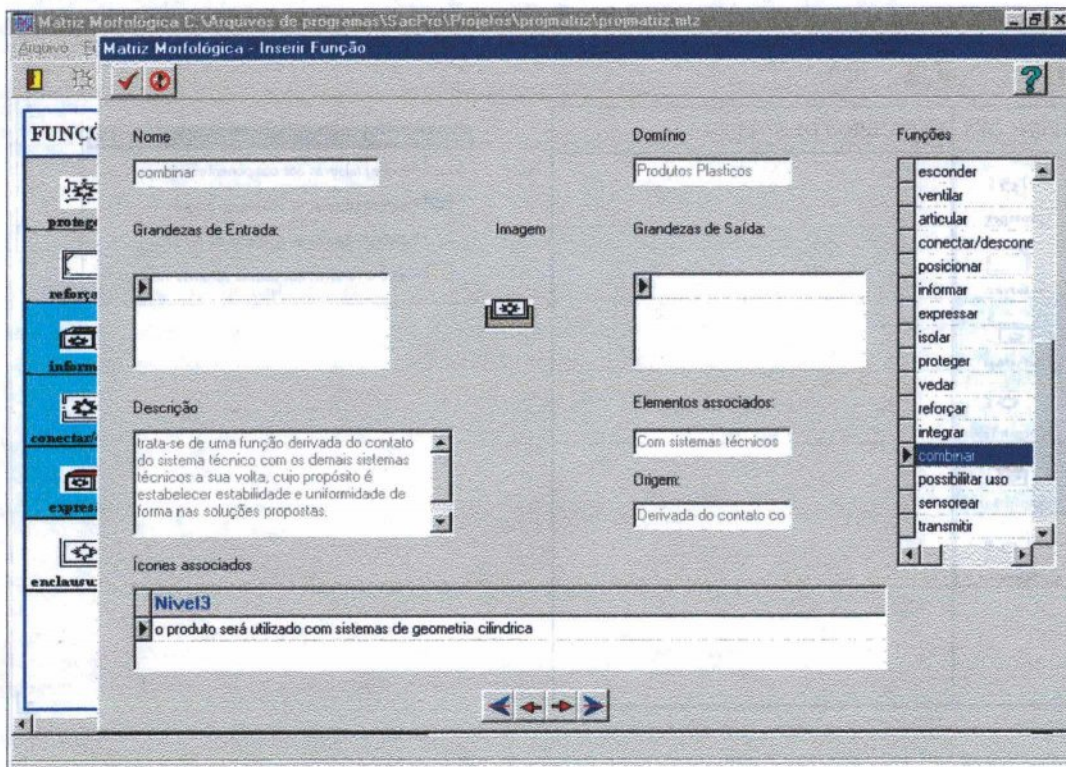


Figura 6.42 - Recursos para a inserção manual de funções na matriz morfológica.

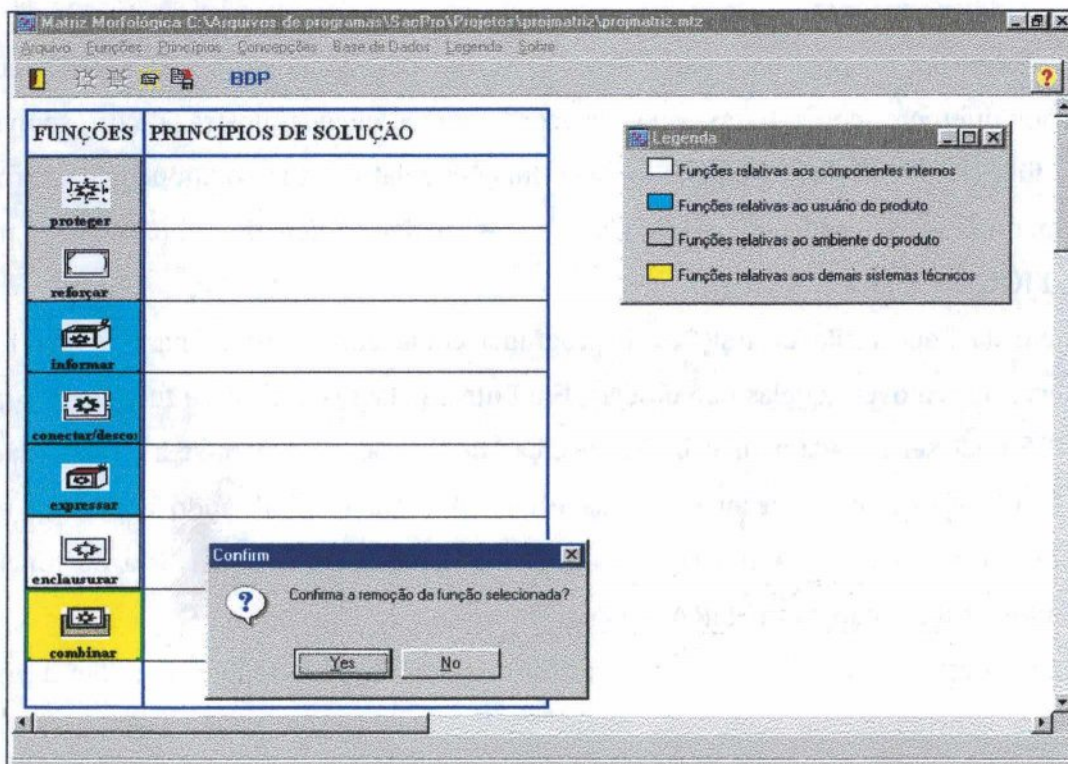


Figura 6.43 - Resultado da lista de funções após a inserção manual de funções e opção para a remoção de funções.

Conforme se verifica, através dos recursos de edição de funções na matriz, há a possibilidade de, diante de novas informações de projeto ou de críticas sobre as funções iniciais

do produto, modificar a lista de funções. Pode-se, ainda, sob tais recursos, utilizar o MMORF de maneira independente do PRODEF.

Concluída a manipulação das funções do produto na matriz morfológica, o projetista conta com recursos para editar princípios de solução para cada uma das funções listadas. Para tal, são disponíveis as opções de “inserir automático”, “inserir manual” e “Remover” princípios de solução, sob a opção “Princípios” no menu principal.

Os recursos sob a inserção automática de princípios de solução correspondem a uma busca na base de dados de princípios, considerando o atributo “Funções associadas” de cada princípio. Em outras palavras, a busca automática de princípio se dá pelo nome da função. Nesse caso, o projetista pode escolher uma função em particular, para a qual ele deseja inserir princípios, ou optar pela inserção automática de princípios para todas as funções listadas. A FIGURA 6.44 mostra as opções de inserção automática, e a FIGURA 6.45 mostra os princípios listados na matriz após a escolha destas opções.

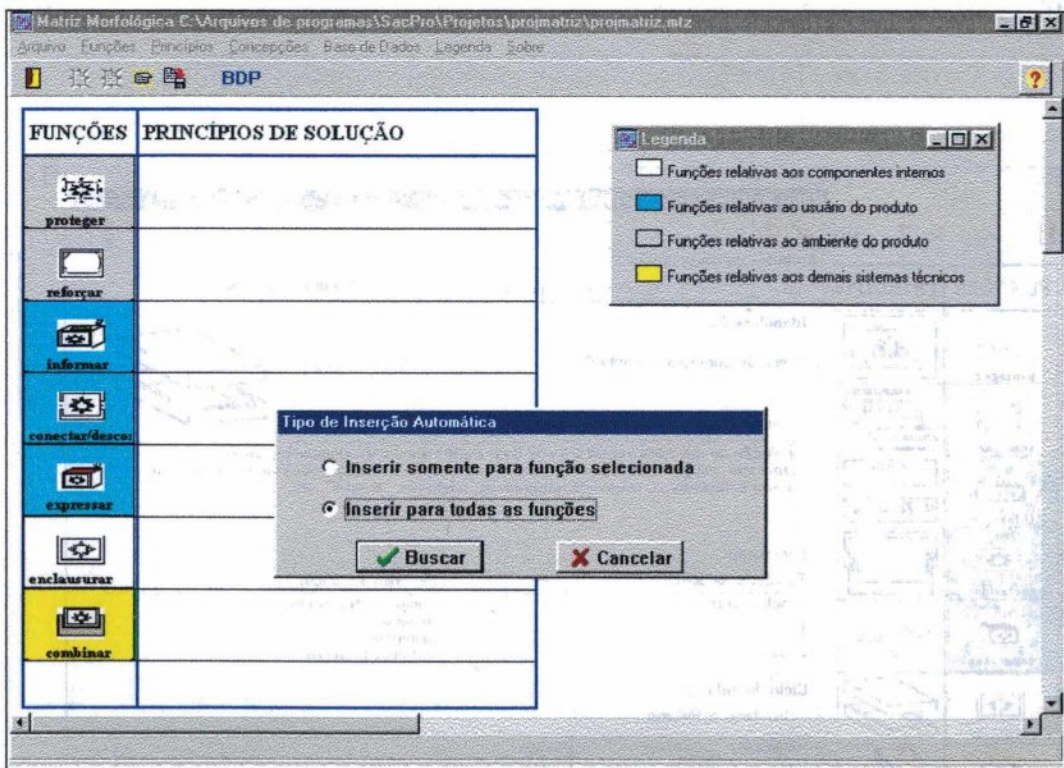


Figura 6.44 - Opções para a inserção automática de princípios de solução na matriz.

Na inserção manual de princípios o projetista deve escolher, em primeiro lugar, a função sob a qual os princípios deverão ser inseridos. Feito isto e escolhendo a opção “inserir manual”, o programa apresenta, conforme a FIGURA 6.46, a base de dados de princípios para que se proceda à escolha daquele de interesse.

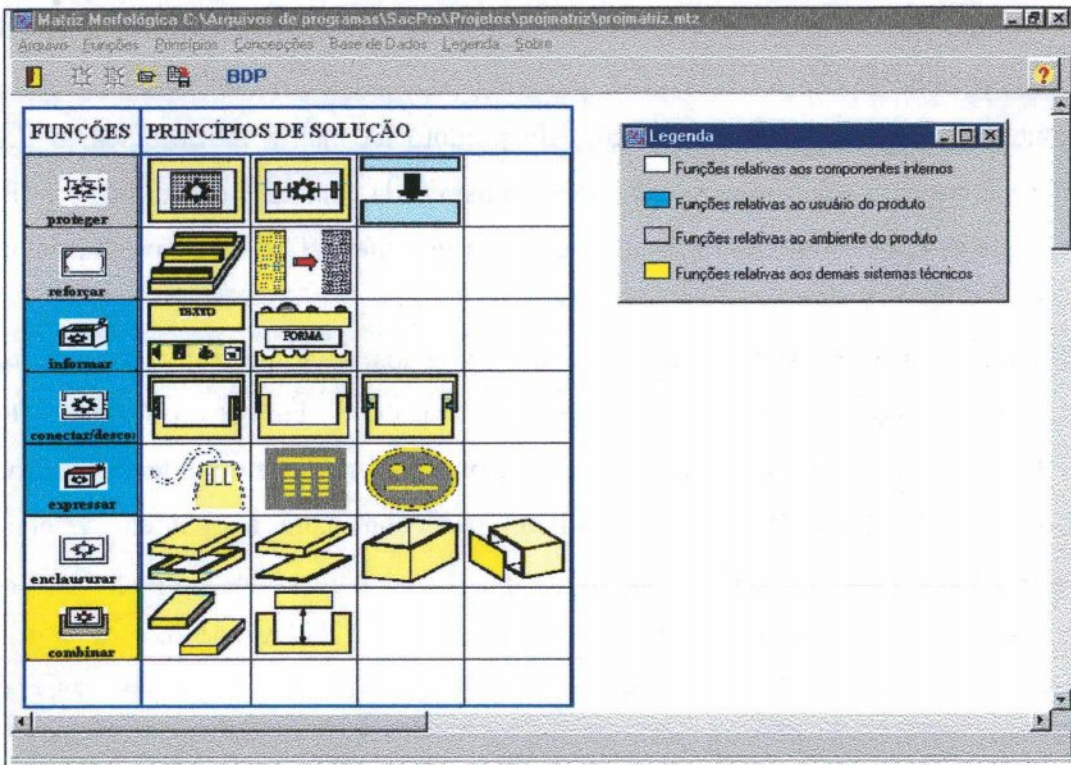


Figura 6.45 - Princípios de solução inseridos na matriz morfológica.

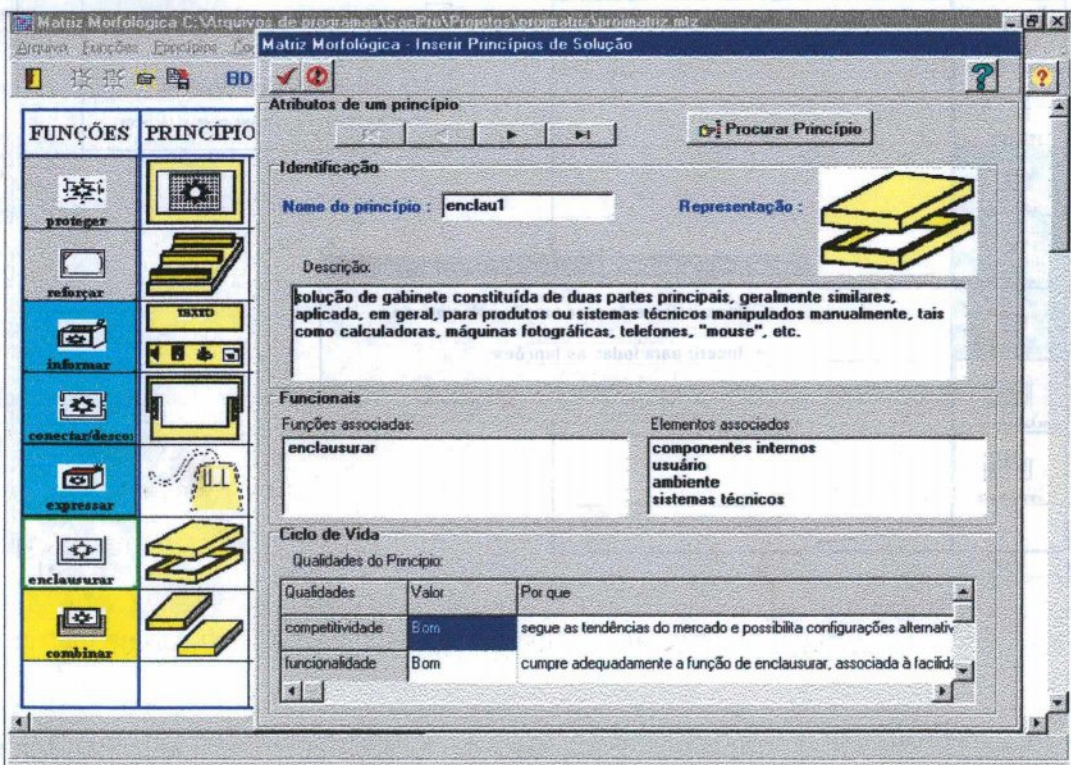


Figura 6.46 - Recursos para a inserção manual de princípios de solução na matriz.

Por último, na edição de princípios na matriz, há possibilidade de remover, manualmente, aqueles princípios identificados como não apropriados para as funções do produto. Para tal, o

projetista seleciona o princípio a ser removido, o qual será realçado, e aplica a opção “Remover” do menu. O programa solicita, em seguida, que o projetista confirme a remoção pretendida (veja FIGURA 6.47).

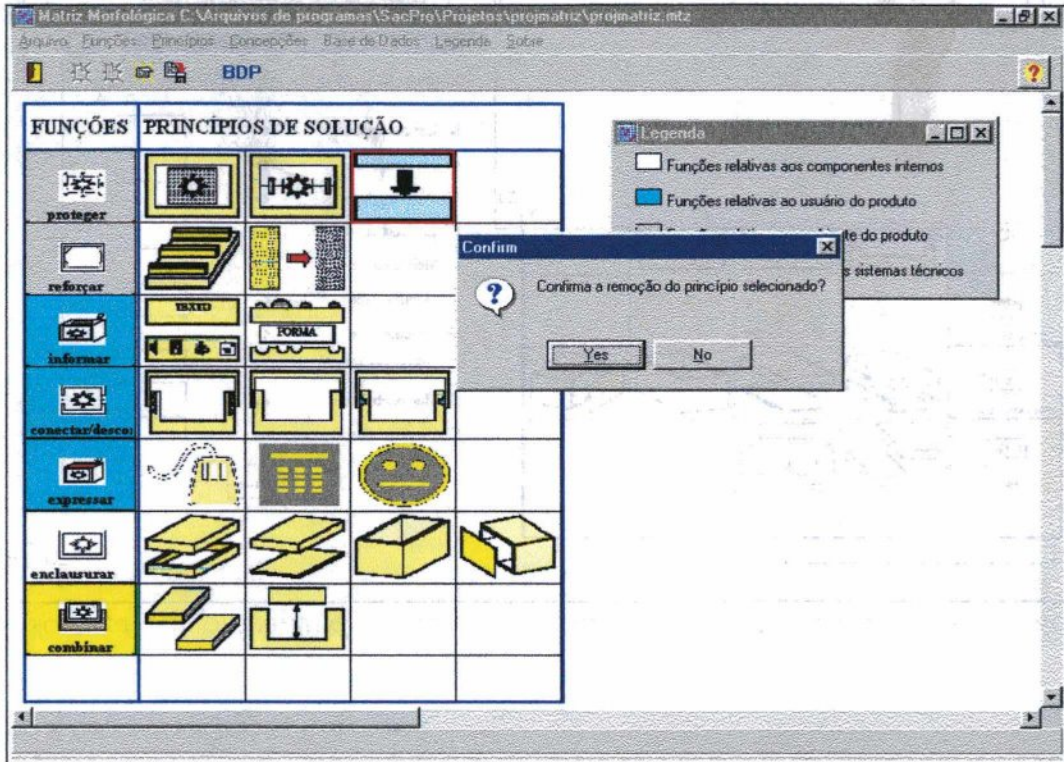


Figura 6.47 - Recursos para a remoção de princípios da matriz.

Diante dos recursos anteriores, há a possibilidade de configurar uma matriz morfológica para o produto sendo projetado. Trata-se, em essência, da configuração do “campo de soluções” para o problema. Segue-se, após esse procedimento, a combinação de princípios de solução para gerar as alternativas de concepção para o produto. Para tal, o programa conta com recursos, conforme a opção “Concepções” no menu principal.

Nesse caso, entre os recursos implementados, inclui-se aquele destinado a eliminar princípio da matriz, segundo determinados critérios. Procura-se, desta forma, antes de proceder na combinação de princípios, reduzir o “campo” de soluções, dependendo das necessidades de projeto.

Para tal, sob a opção “Eliminar”, em “Concepções”, no menu principal, o programa solicita que o projetista indique a lista de necessidades relativa ao produto sendo projetado. As necessidades serão utilizadas para estabelecer os critérios de eliminação e constituem-se naquelas geradas no QFD. Após essa escolha, o programa apresenta, conforme mostrado na FIGURA 6.48, a lista de necessidades e a lista dos critérios de eliminação, as quais correspondem às qualidades dos princípios.

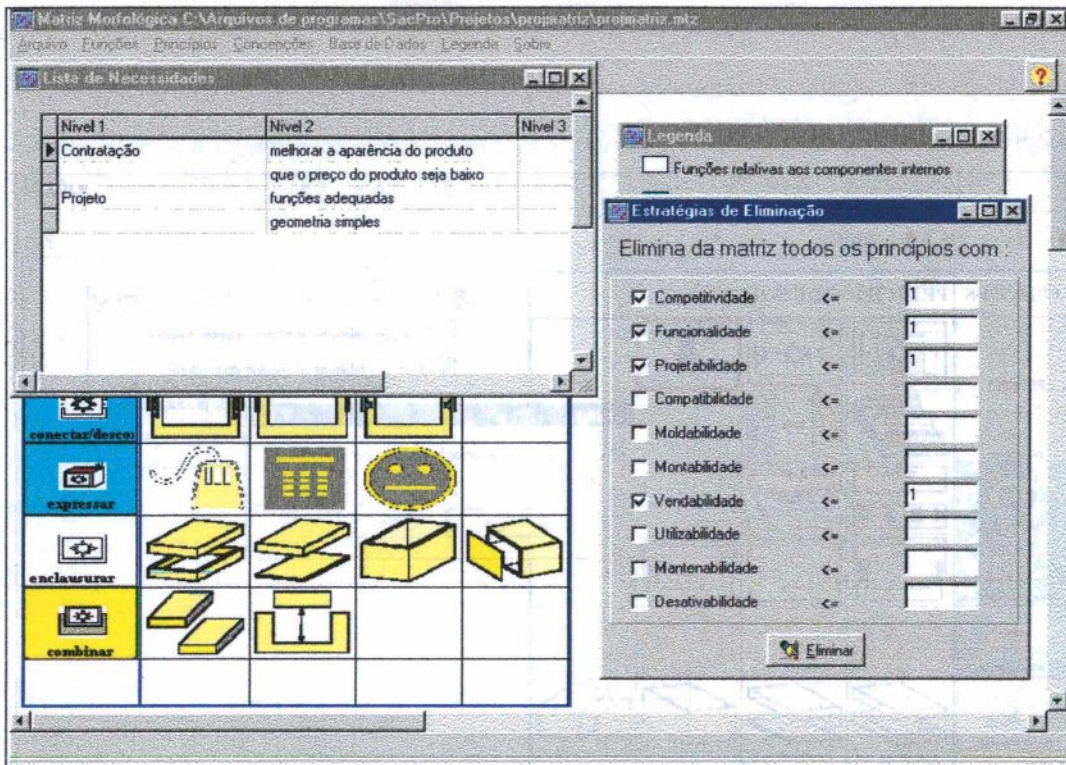


Figura 6.48 - Recursos para a definição de estratégias de eliminação de princípios.

Diante desses recursos, o projetista deve, com base nas necessidades do projeto, escolher uma dada qualidade e definir o valor desejado para a eliminação dos princípios (5 - bom, 3 - médio, 1 - ruim). Em outras palavras, o projetista deve escolher quais qualidades e seus respectivos valores ele não deseja na concepção do produto. Sob esse procedimento o programa indica na matriz todos aqueles princípios que não atendem às qualidades desejadas, ou às estratégias estabelecidas, sendo propostos para a eliminação. Para tal, o programa solicita a confirmação de remoção de cada princípio indicado. O resultado desse processo é mostrado na FIGURA 6.49.

Após a aplicação das estratégias de eliminação, o projetista conta com um “campo” de soluções mais adequado ao problema, conforme as necessidades de projeto. Ele deve proceder, então, no sentido de gerar as concepções alternativas, ou seja, combinar os princípios de solução para cada uma das funções do produto. Para tal, sob a opção “Gerar (concepções) manual”, o programa solicita, inicialmente, que o projetista escolha a lista de requisitos do projeto, a qual servirá de orientação na combinação dos princípios. Escolhidos os requisitos, o projetista deve selecionar, manualmente, um princípio de solução para cada função e, sob a orientação dos requisitos de projeto, verificar se o princípio da próxima função é adequado para a combinação. Os princípios selecionados serão realçados na matriz (FIGURA 6.50). Concluída a seleção, o

programa armazena a concepção gerada na base de dados e apresenta-a ao projetista, conforme mostrado na FIGURA 6.51.

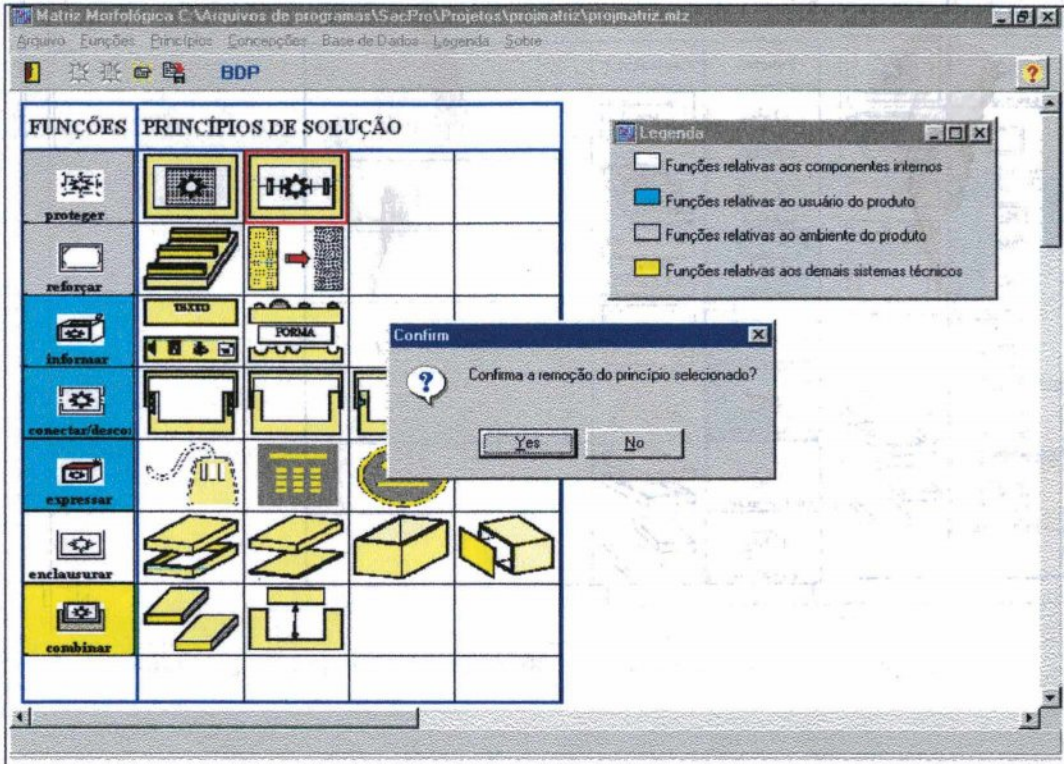


Figura 6.49 - Princípio indicado para a eliminação após definidas as estratégias de eliminação.

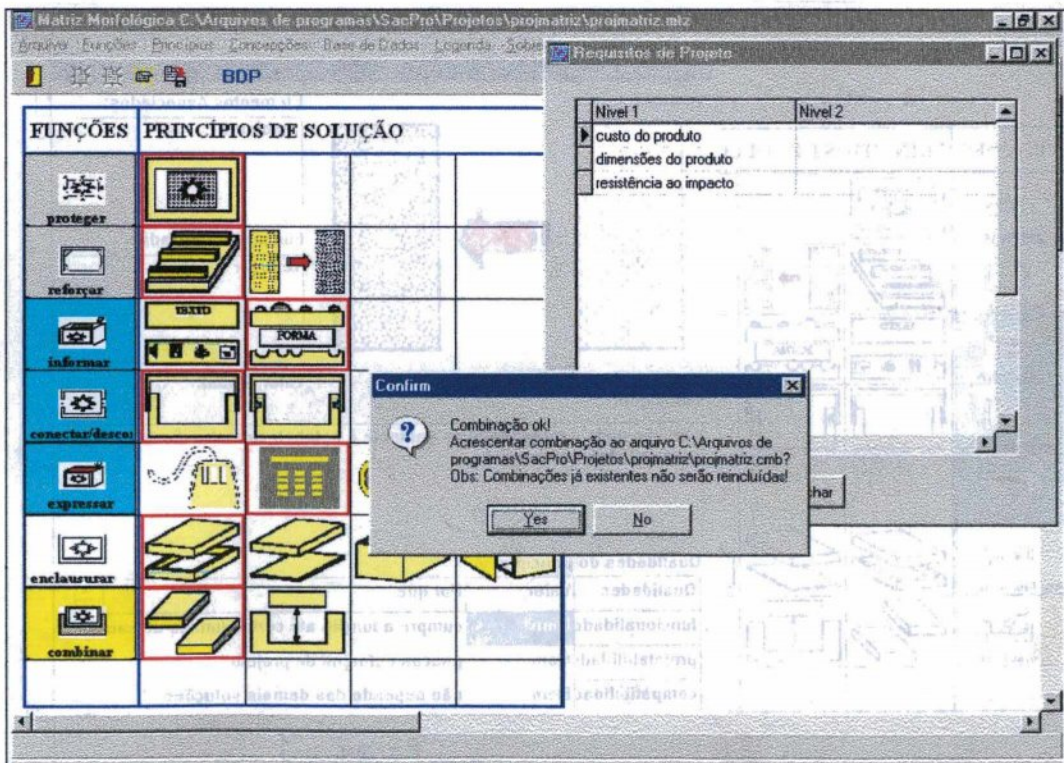


Figura 6.50 - Princípios selecionados para configurar uma dada concepção do produto.

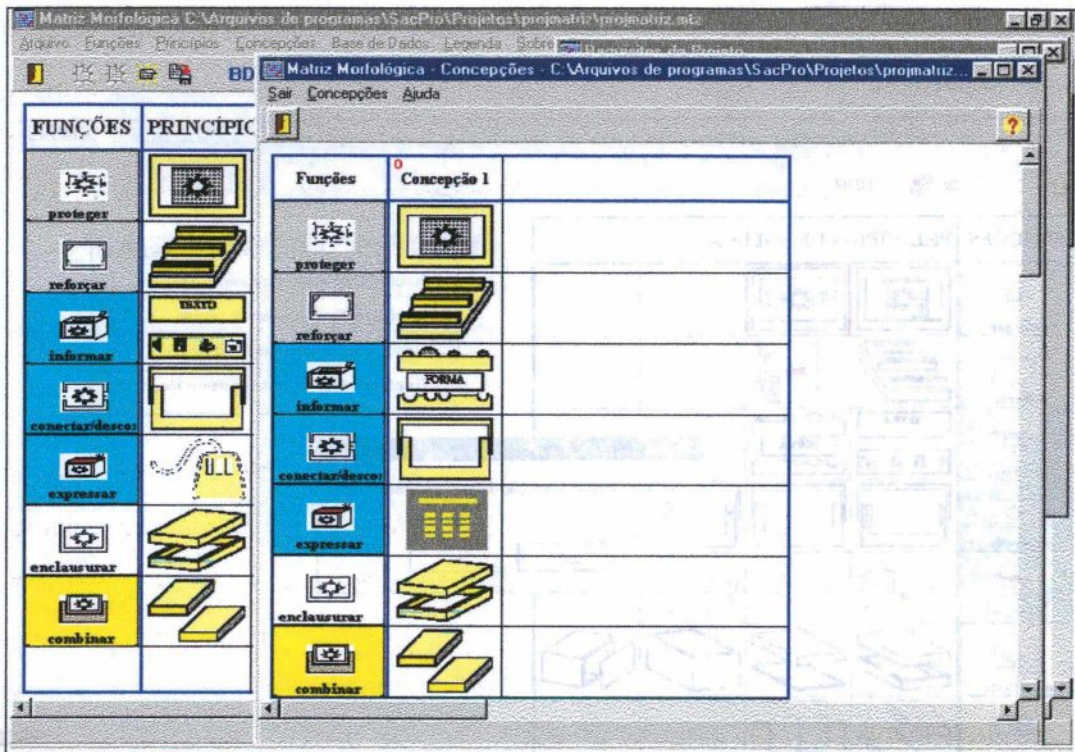


Figura 6.51 - Apresentação da concepção gerada para o produto.

Durante a geração de concepções, caso o projetista tenha dúvidas sobre a adequacidade, ou não, de dado princípio de solução, poderá visualizar suas características, conforme mostrado na FIGURA 6.52. Para tal, basta “clique” com o botão direito do “mouse” sobre o princípio de interesse.

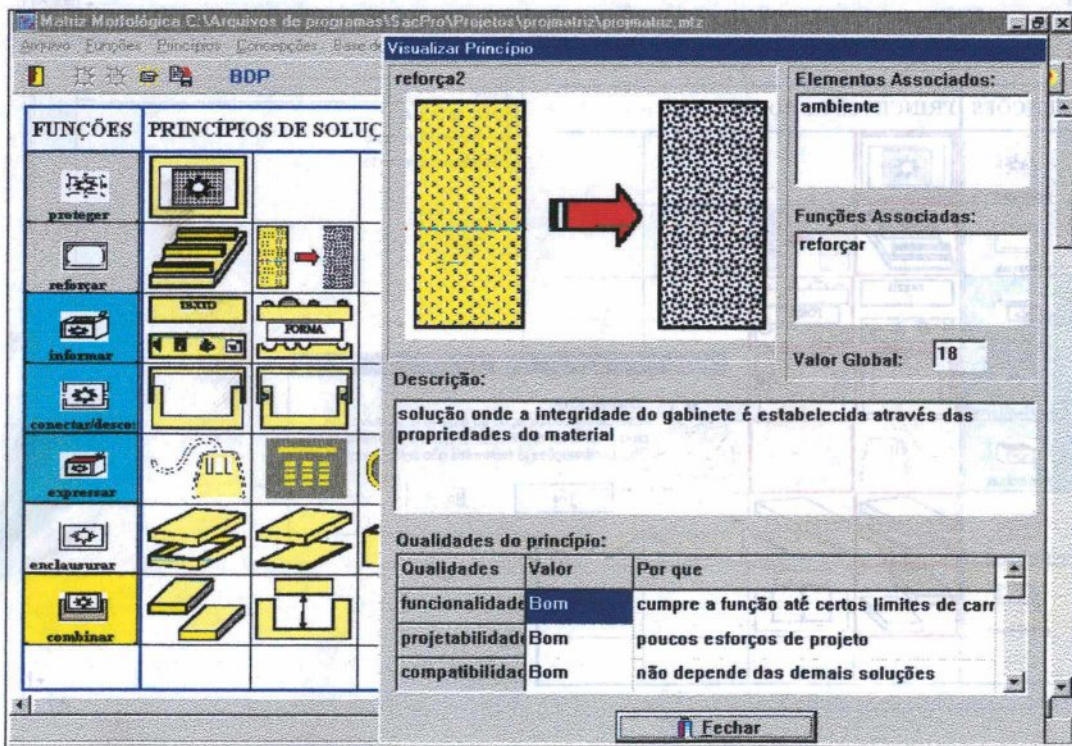


Figura 6.52 - Visualização das características de um princípio de solução.

Da maneira como se apresenta, o MMORF constitui uma ferramenta simples e prática de auxílio ao estabelecimento das concepções alternativas para o produto. Em linhas gerais, ela minimiza o tempo de construção da matriz morfológica e oferece uma base de dados de princípios para facilitar a geração de concepções. Essa ferramenta foi desenvolvida utilizando o Borland Delphi 3.0 ([79]).

6.3.5 - MAVAL

Conforme a TABELA 6.1, o MAVAL implementa um método de valoração de concepções baseado nas qualidades desejadas para o produto, para auxiliar na avaliação das concepções alternativas geradas. De acordo com as *funcionalidades* propostas, esse programa caracteriza-se na forma de um algoritmo para computar o valor de cada concepção do produto (VC), associado às facilidades para recuperar, relacionar e exibir as informações necessárias à avaliação. Sob tais características pretende-se que a equipe de projeto utilize procedimentos sistemáticos para a avaliação de concepções do produto, considerando os requisitos de projeto como critérios de avaliação.

A utilização do MAVAL se dá, inicialmente, através da interface de entrada no programa, conforme mostrado na FIGURA 6.53. Nessa, através da opção “Novo Projeto” em “Arquivos”, o projetista define o diretório onde as informações geradas no programa serão armazenadas.

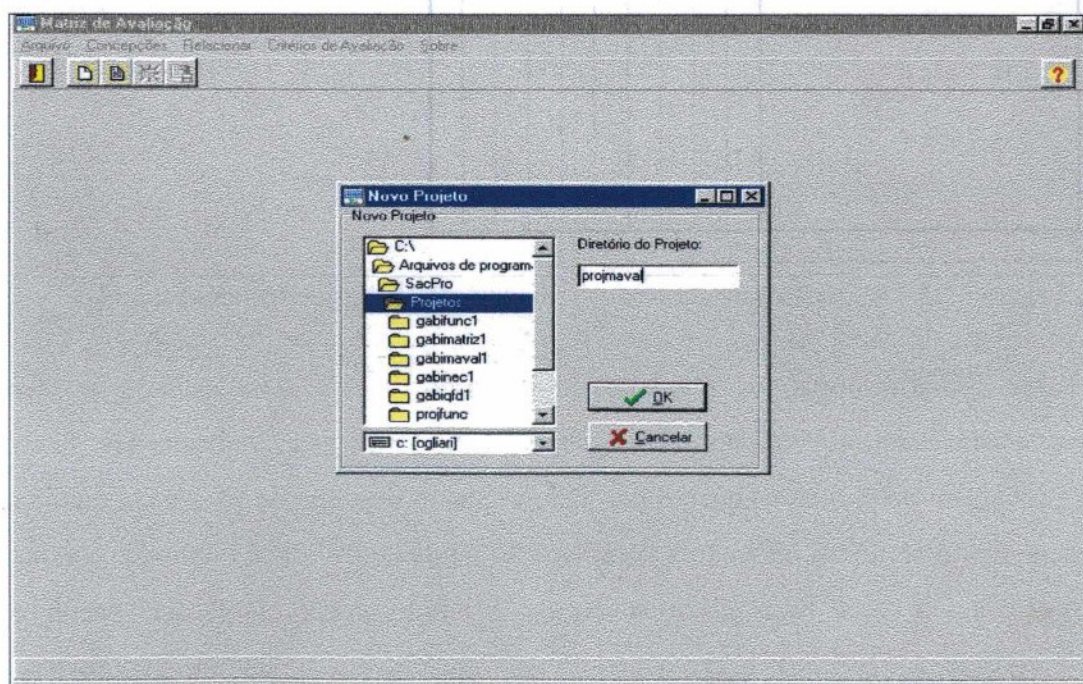


Figura 6.53 - Interface de entrada no MAVAL.

Para proceder na avaliação das concepções, o programa conta com recursos para recuperar o arquivo de concepções, gerado na matriz morfológica (recupera as qualidades que caracterizam as concepções geradas), e para recuperar o arquivo de requisitos gerado no QFD. Ambos os arquivos são recuperados, respectivamente, sob as opções “Importar Concepções” e “Importar Requisitos”, em “Arquivos”.

Aplicadas estas opções, o programa lista as qualidades que caracterizam as concepções do produto *versus* os requisitos de projeto, conforme mostrado na FIGURA 6.54. A lista de qualidades exibida corresponde ao conjunto de todas as qualidades contidas em cada concepção gerada para o produto. Conforme o método estabelecido em 5.3.5, essas qualidades deverão ser relacionadas com os requisitos de projeto para determinar as qualidades desejadas para o produto e seus pesos.

The screenshot shows a software window titled "Relacionamento Requisitos x Qualidades". The window contains a table with a diagonal header. The header is split into two parts: "Qualidades das Concepções" (top-right) and "Critérios de Avaliação (requisitos de projeto)" (bottom-left). The table has 10 columns for qualities and 3 rows for requirements. The requirements listed are: "- custo do produto", "+ dimensões do produto", and "+ resistência ao impacto". The quality columns are: "competitividade", "funcionalidade", "projetabilidade", "compatibilidade", "moldabilidade", "montabilidade", "vendabilidade", "utilizabilidade", "manutenibilidade", and "desativabilidade". The table cells are currently empty, indicating that the relationship between requirements and qualities has not yet been defined.

Critérios de Avaliação (requisitos de projeto)	competitividade	funcionalidade	projetabilidade	compatibilidade	moldabilidade	montabilidade	vendabilidade	utilizabilidade	manutenibilidade	desativabilidade
- custo do produto										
+ dimensões do produto										
+ resistência ao impacto										

Figura 6.54 - Requisitos de projeto *versus* qualidades das concepções geradas.

Diante destas informações, procede-se no sentido de relacionar os requisitos com as qualidades, estabelecendo-se valores para a dependência entre estas informações. Em outras palavras, procura-se determinar o quanto um dado requisito depende de uma dada qualidade do produto para ser satisfeito ou o quanto a consideração de dada qualidade implica a satisfação de dado requisito e sua meta. Esse relacionamento é atribuído através da escala apresentada ao usuário, conforme a FIGURA 6.55, quando este “clica” com o “mouse” sobre um dado “cruzamento” de informações.

Critérios de Avaliação (requisitos de projeto)	Qualidades das Concepções									
	compatibilidade	funcionalidade	projetabilidade	compatibilidade	modularidade	normalidade	variabilidade	utilizabilidade	manutenibilidade	desatrabalhidade
- custo do produto	●									
+ dimensões do produto		○	○	●						
+ resistência ao impacto	●									

Figura 6.55 - Recursos para a atribuição de relacionamentos entre requisitos e qualidades das concepções.

Atribuídos os relacionamentos entre os requisitos e as qualidades, o programa calcula os pesos das qualidades desejadas para o produto (PQDP) e o valor de cada concepção (VC), conforme as equações definidas em 5.3.5. Ao final, as concepções alternativas são valoradas e ordenadas de maneira decrescente, conforme mostrado na FIGURA 6.56.

Funções	Concepção 1 VC 3,268	Concepção 2 VC 3,262	Concepção 3 VC 3,249
proteger			
reforçar			
informar			
conectar/desconectar			
expressar			
enclausurar			
combinar			

Figura 6.56 - Classificação das concepções segundo seus valores.

Sob tais resultados (FIGURA 6.56), o projetista dispõe de indicativos para decidir sobre qual concepção será conduzida nas demais etapas do processo de projeto do produto. Em princípio, conforme o método de valoração proposto em 5.3.5, aquela de maior VC (Valor da Concepção) será a mais indicada para o projeto.

No presente, a MAVAL constitui-se numa ferramenta simples e prática para promover a avaliação sistemática das concepções alternativas para o produto e foi desenvolvida utilizando-se o compilador Borland Delphi 3.0 ([79]).

6.4 - Natureza dos resultados obtidos com a utilização do SACPRO

De acordo com os recursos promovidos pelas ferramentas computacionais descritas nos itens anteriores, o projetista obtém auxílios para, desde as manifestações de interesse dos clientes do projeto, gerar e avaliar concepções alternativas para o produto. Entre estes recursos incluem-se aqueles destinados ao registro dos resultados obtidos em cada etapa do projeto conceitual do produto, ou seja, as saídas de dados das ferramentas implementadas. Exemplos destas saídas, para cada um dos programas implementados, serão mostrados no CAPÍTULO 7, durante o estudo de caso conduzido, sob tais ferramentas, e no APÊNDICE G da presente tese.

6.5 - Considerações finais

Considerando as ferramentas implementadas, conforme descritas nos itens anteriores, e recuperando-se a FIGURA 3.15, insere-se o SACPRO como um elemento do sistema de projeto auxiliado por computador, conforme mostrado na FIGURA 6.57.

Sob as principais características do SACPRO são promovidos recursos para auxiliar o projetista em suas principais funções cognitivas. As funções da memória curta, por exemplo, tais como a comparação, modificação, decomposição, combinação e decisão sobre problemas e/ou soluções de projeto, serão estendidas através dos recursos para a representação e edição de informações de projeto. Já os recursos para armazenar, recuperar e buscar informações de projeto estendem as funções da memória longa.

Dessa maneira, sob a utilização do SACPRO, entende-se que o projetista terá a oportunidade de explorar, em menor tempo, um maior volume de informações de projeto e, desta maneira, ampliar as possibilidades de soluções melhoradas e/ou inovadoras para os problemas existentes.

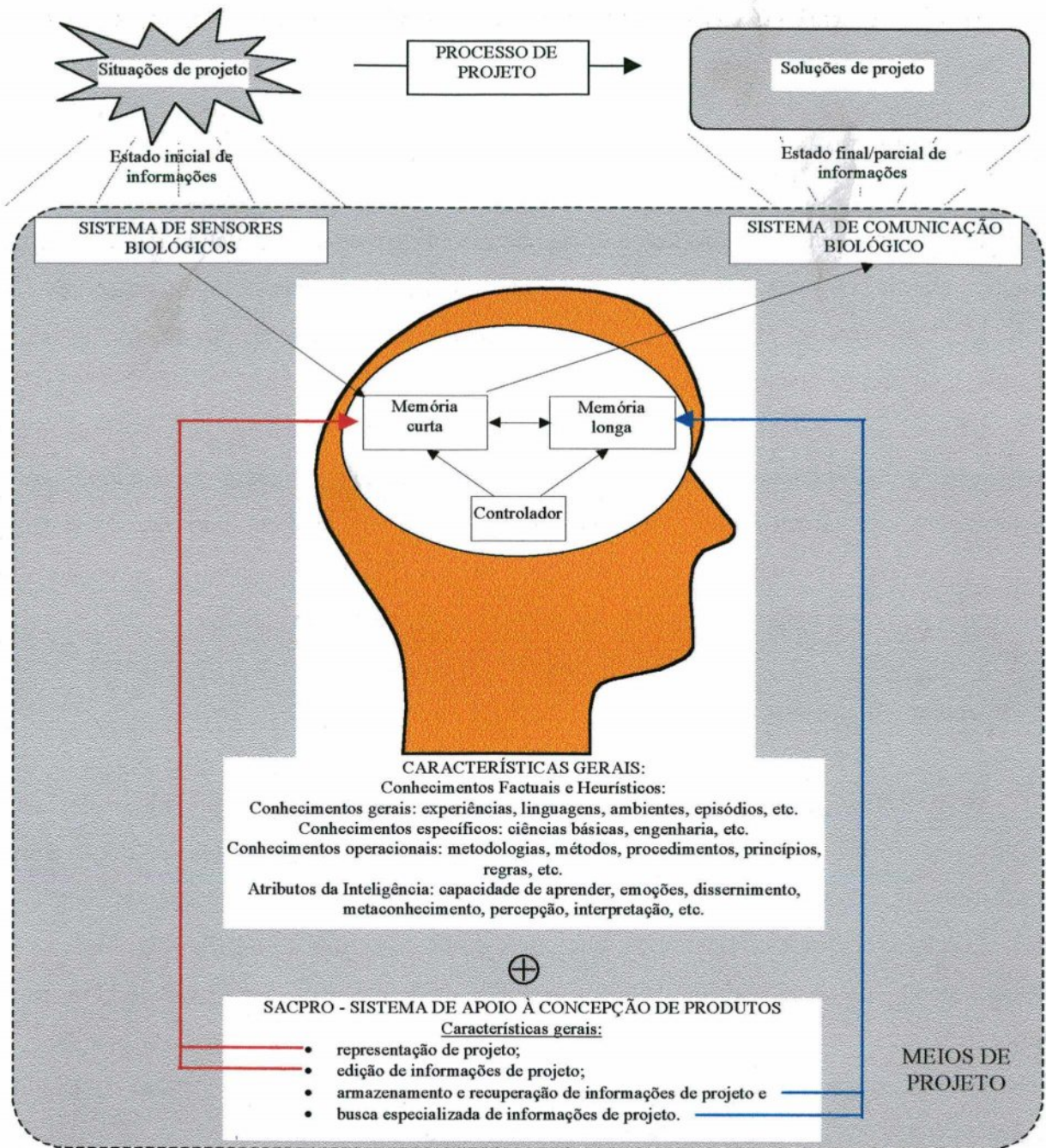


Figura 6.57 - O SACPRO como um elemento do sistema de projeto auxiliado por computador.

Além disso, pelo fato de o SACPRO ter sido concebido e implementado sob uma base metodológica consistente e bem definida, o projetista poderá concentrar-se diretamente na solução dos problemas que se apresentam em cada fase da concepção, evitando recorrer ao significado e propósitos da metodologia de projeto. Nesse caso, além da prática efetiva do projeto conceitual, haverá melhores oportunidades para conduzir eficientemente a atividade de concepção e obter resultados eficazes. Considerações dessas perspectivas serão promovidas pela aplicação do SACPRO num estudo de caso, conforme o CAPÍTULO 7, que se segue.

CAPÍTULO 7 - PROJETO CONCEITUAL DE UM GABINETE: ESTUDO DE CASO

7.1 - Introdução

O presente capítulo apresenta um estudo de caso de projeto conceitual do gabinete de um aparelho eletrônico onde serão utilizadas as ferramentas computacionais descritas no CAPÍTULO 6. Trata-se, em linhas gerais, do reprojeto do gabinete de um coletor de dados industriais, conforme mostrado no APÊNDICE G, item G.1.

Através dessa aplicação, que vai desde o estabelecimento das necessidades de projeto até a avaliação de concepções alternativas para o gabinete, pretende-se mostrar as *funcionalidades* das ferramentas propostas durante o projeto conceitual de um dado produto. Dessa maneira, procura-se avaliar os auxílios promovidos e estabelecer diretrizes para a evolução das ferramentas propostas e para futuras pesquisas nessa área de desenvolvimento.

7.2 - Problema de projeto

O problema aqui proposto constitui-se no reprojeto do gabinete de um coletor de dados industriais, conforme mostrado no APÊNDICE G, item G.1, cujo fabricante manifestou interesse em substituir o gabinete atual, de alumínio dobrado e estampado, por um de plástico injetado.

O coletor de dados caracteriza-se, em linhas gerais, conforme a FIGURA 7.1. Trata-se de um instrumento constituído por um gabinete metálico de duas partes (parte superior (2) e parte inferior (8)), que, além de funções estruturais, configuram ao coletor uma dada aparência e viabilizam sua utilização. Os demais elementos principais deste sistema são: placas de circuito integrado (3, 5, 6, 7), máscara do teclado (1) e *display* de cristal líquido (4).

Nesse contexto, conforme se observa, o gabinete do coletor, cujos detalhes construtivos são mostrados na FIGURA 7.2, tem as seguintes funções principais:

- **parte superior do gabinete (2):**
 - suportar os elementos externos/internos do coletor de dados (máscara do teclado (1), placa do *display* (3), placa de processamento (6) e placa da fonte (7));
 - conectar com a parte inferior do gabinete (8);
 - possibilitar a visualização do *display* (4);
 - possibilitar o fluxo de sinais para a, e da, placa de processamento; e
 - possibilitar fluxo de energia e sinal para a placa da fonte.
- **parte inferior do gabinete (8):**
 - conectar com a parte superior do gabinete (2), completando sua configuração; e
 - possibilitar a fixação do coletor à máquina, ou a outros locais que se façam necessários.

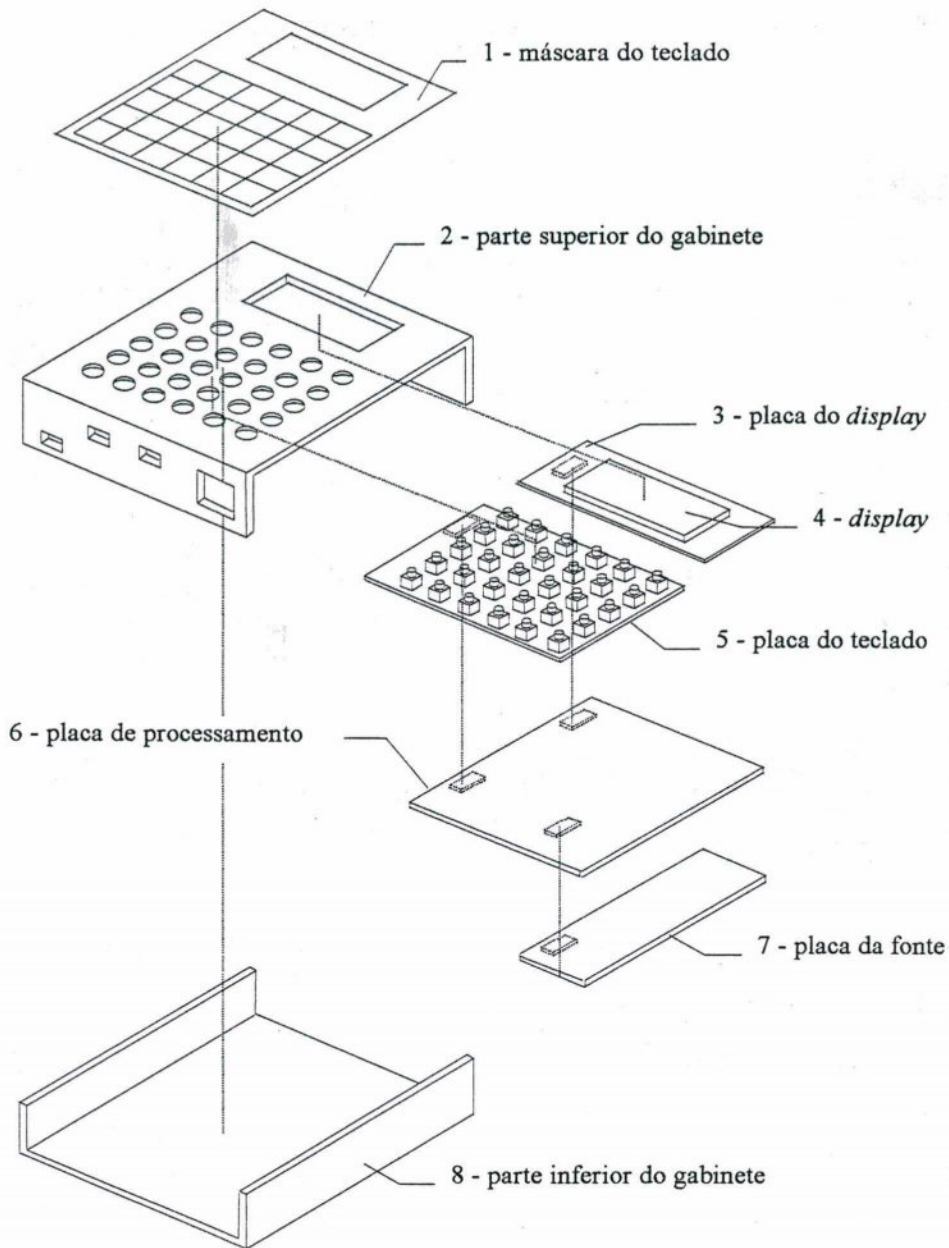


Figura 7.1 - Principais elementos do coletor de dados (APÊNDICE G, item G.1).

Diante do problema que se apresenta, das principais características do gabinete, da análise do próprio coletor (amostra fornecida pelo fabricante) e de informações obtidas junto ao fabricante, iniciou-se o processo de concepção do gabinete, conforme será descrito nos itens que se seguem, utilizando-se as ferramentas propostas na presente tese. Em cada etapa deste processo, serão descritos os procedimentos adotados, os recursos utilizados e os resultados obtidos, verificando-se a extensão dos auxílios promovidos e apontando pesquisas que se fazem necessárias para a evolução das ferramentas utilizadas.

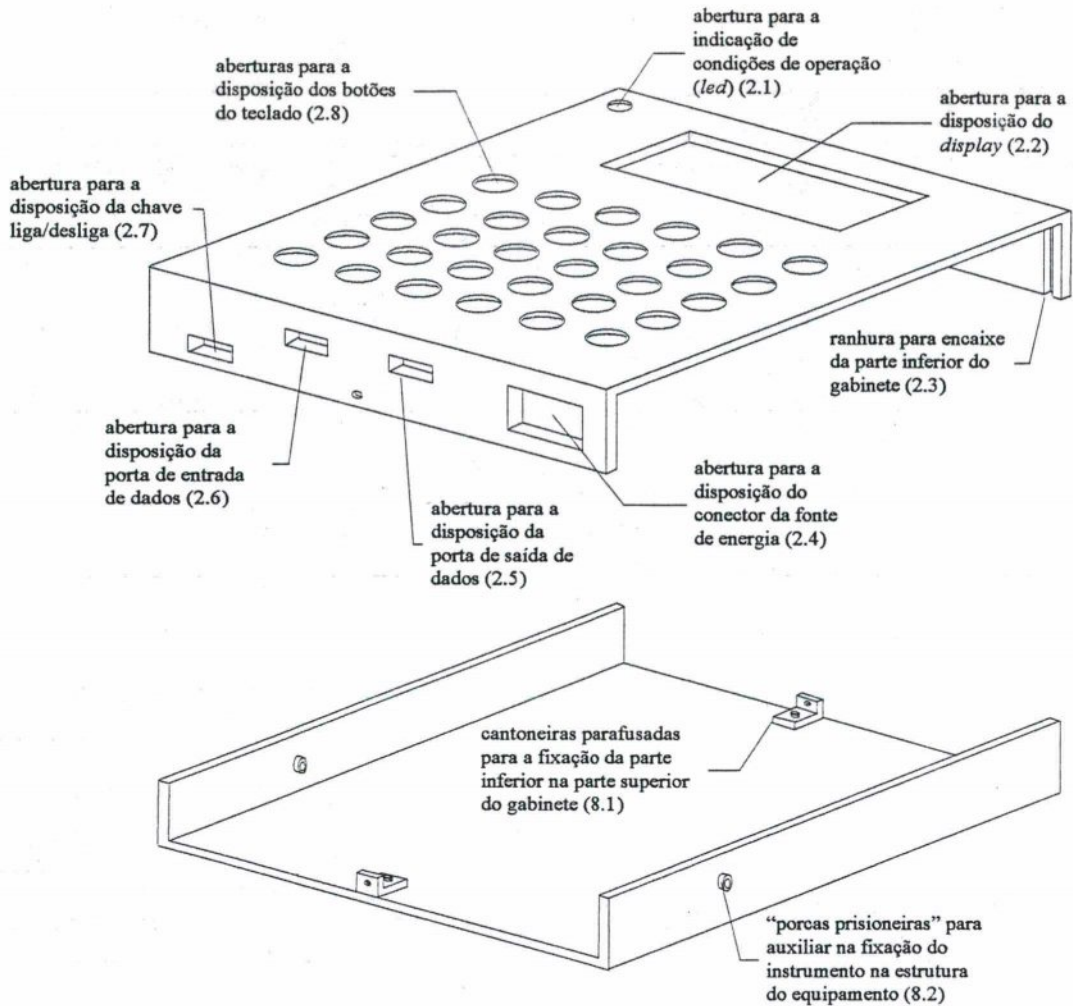


Figura 7.2 - Detalhes construtivos e funcionais do gabinete.

7.3 - Concepção do gabinete

7.3.1 - Estabelecimento das necessidades de projeto

Parte das informações relacionadas ao desenvolvimento do gabinete que se apresenta foi obtida pela equipe de projeto do NEDIP/EMC/UFSC, durante visita ao fabricante do produto. Nessa visita, com base em roteiro de assuntos previamente elaborado, foram discutidos vários aspectos sobre o coletor de dados e o reprojeto de seu gabinete. As informações obtidas, conforme as declarações dos técnicos da empresa, são mostradas na TABELA 7.1.

Conforme se observa, as informações contidas na TABELA 7.1 tratam, em geral, sobre o estado atual do coletor de dados, sobre aspectos gerais de sua fabricação e utilização, sobre suas principais funções e sobre problemas potenciais para desenvolvimento. Essas informações serão utilizadas, no presente estudo de caso, para, além de registrar as manifestações de interesse do

“cliente contratante” do projeto, gerar declarações de necessidades, visando expressar o problema de projeto do gabinete.

Tabela 7.1 - Síntese das informações obtidas junto ao fabricante sobre o coletor de dados e seu gabinete.

Assuntos discutidos	Informações obtidas
principais funções do produto	<ul style="list-style-type: none"> • coleta de dados (máquinas de comando numérico, por exemplo) • conexão de equipamentos à rede de micros da empresa • conexão com o equipamento industrial • conexão à fonte de energia • chaveamento (liga/desliga)
ambiente de trabalho no qual o produto é utilizado	<ul style="list-style-type: none"> • ambiente agressivo • possibilidade de respingos de materiais quentes (alumínio) • possibilidade de contato com cavacos • possibilidade de choques com peças e ferramentas • temperaturas de $\approx 50^{\circ}\text{C}$
usuário direto do produto	<ul style="list-style-type: none"> • geralmente operadores de equipamentos industriais • possibilidade de uso indevido do produto: o teclado é operado por chave de fenda • não há reclamações do usuário quanto ao teclado (arranjo das teclas) • não há reclamações dos usuários quanto ao gabinete
restrições geométricas	<ul style="list-style-type: none"> • o espaçamento entre as placas é problemático devido às suas conexões • as teclas devem sobressair à parte superior do gabinete em $\approx 1\text{ mm}$ • a geometria atual é função do teclado • o tamanho externo não é restrição: há possibilidade de alterações
problemas no produto	<ul style="list-style-type: none"> • a chave é preferível próximo à fonte: diminuir o cabo da chave • alguns parafusos de fixação das placas podem afrouxar na instalação do coletor • os apoios da placa-fonte não estão adequados (posição, tipo de união (parafusos)) • na montagem dos espaçadores são necessários ajustes nas dimensões dos espaçadores • no uso, devido às vibrações dos equipamentos, os parafusos internos podem soltar-se • o plástico do teclado, em alguns casos, ressecou e rasgou
custo do gabinete	<ul style="list-style-type: none"> • o custo atual do gabinete é de $\approx \text{R\\$ } 38,00$ • percentual sobre o total é de $\approx 14\%$
posicionamento do produto em relação às máquinas	<ul style="list-style-type: none"> • o coletor é fixado através da parte inferior do gabinete • a fixação é próxima a consoles de equipamentos industriais • às vezes é necessária a construção de suportes nos equipamentos para a fixação do coletor
previsão de melhorias no produto atual	<ul style="list-style-type: none"> • utilização de displays maiores (talvez gráficos) • o design da marca do fabricante será alterado • o acabamento do gabinete pode ser texturizado
normalização para o produto ou suas partes	<ul style="list-style-type: none"> • não há conhecimento específico sobre normas • as partes, em geral, devem resistir a uma queda livre de 1,5 m
assistência técnica ou manutenção do produto	<ul style="list-style-type: none"> • a manutenção de partes mecânicas é o próprio usuário quem faz • a manutenção da fonte (parte principal da manutenção) e placas é a DIRECTA quem faz • o produto é enviado pelo correio
propriedades necessárias para o material do gabinete	<ul style="list-style-type: none"> • o material deve resistir a óleos quentes, cavacos quentes e respingos de outros materiais quentes
vida estimada do produto	<ul style="list-style-type: none"> • aproximadamente 5 anos

Tabela 7.1 - Continuação.

produtos similares	<ul style="list-style-type: none"> o principal produto concorrente tem seu gabinete de plástico injetado suas dimensões são maiores o teclado é pior (do tipo membrana com pouca sensibilidade ao toque) a vedação não é adequada
montagem do produto	<ul style="list-style-type: none"> a seqüência principal de montagem é: 1 - fixação da placa do display na parte superior do gabinete; 2 - fixação do teclado ao gabinete e sua conexão com a placa do display; 3 - fixação da placa processadora (CPU) ao gabinete e sua conexão ao teclado e display; 4 - fixação da placa da fonte ao gabinete e sua conexão à placa de processamento; 5 - montagem da chave liga/desliga e sua conexão à placa da fonte; e 6 - montagem da parte inferior do gabinete para fechamento e vedação
embalagem do produto	<ul style="list-style-type: none"> o produto é embalado em caixa de papelão e envolto em espuma
transporte e instalação	<ul style="list-style-type: none"> o transporte é feito via correio ou através dos próprios técnicos da empresa a instalação é feita através dos próprios usuários ou técnicos da empresa
operação	<ul style="list-style-type: none"> a temperatura interna não deve ser superior a 60 °C o display é o componente mais sensível a dissipação de calor pode ser importante, se o gabinete for de plástico potência de operação de $\approx 1,75$ Watts a fonte é geradora de ruído (pode ser necessário seu enclausuramento ou "gaiola" de Faraday)
alcance na operação	<ul style="list-style-type: none"> o coletor deve ser fixado numa distância de alcance do braço
teclado	<ul style="list-style-type: none"> o teclado está bom, melhor do que o concorrente
uso	<ul style="list-style-type: none"> o operador geralmente está de luva, o que diminui sua sensibilidade aos comandos

Utilizando o programa DEFNEC, iniciou-se, conforme os recursos descritos em 6.3.1 (FIGURA 6.1), a definição do diretório de trabalho. Sob a opção "Novo Projeto", em "Arquivo", no menu principal, denominou-se este diretório de "gabinecl". Em seguida, sob a opção "Informações de Projeto", em "Arquivo", no menu principal, registraram-se algumas informações gerais sobre o projeto que será desenvolvido, visando-se referenciá-lo (recursos descritos em 6.3.1, FIGURA 6.2).

Procedeu-se, a seguir, na preparação e aplicação de questionários, conforme recursos descritos em 6.3.1, FIGURAS 6.4, 6.5, 6.7, e 6.8, visando-se estabelecer as necessidades para este projeto. Sob a opção "Aplicar Questionários", em "Questionário", no menu principal, o projetista conta com um ambiente onde se apresentam várias questões investigativas sobre as diferentes fases do ciclo de vida do produto, as quais se encontram cadastradas, conforme propostas no APÊNDICE B da presente tese. Sob esse ambiente e seus recursos, poder-se-á proceder de diferentes maneiras, dependendo das situações de projeto que se apresentam. Algumas delas são como se segue:

- 1º. se o projeto está sendo conduzido por uma equipe multifuncional, com especialistas de diferentes áreas do desenvolvimento do produto, os quais se encontram numa reunião de trabalho, por exemplo, poderão ser selecionadas aquelas questões relativas a cada fase do ciclo de vida do produto e aplicadas *on-line*, ou na forma de documentos, aos membros da equipe. Nesse caso, entretanto, não se espera que as respostas, ou as manifestações de interesse, sejam prontamente

estabelecidas e, muito provavelmente, a maioria delas só será apresentada após as atividades individuais de cada profissional; outras, ainda, poderão demandar estudos prévios de pesquisa e de levantamento de dados, demandando tempo para a resposta. Nessa situação, diante dos critérios para a busca de questões, sob a opção “Seleção Automática” (de questões), recomenda-se que sejam considerados os atributos “Fase” (do ciclo de vida do produto), “Respondente” (responsável pelas informações) e “Tipo de projeto” (natureza do projeto), para orientar na preparação prévia dos questionários. Assim, por exemplo, os critérios “Fase = contratação”, “Respondente = contratante” e “Tipo de projeto = adaptativo” aplicam-se ao levantamento de informações, junto ao cliente contratante, sob diferentes temas de interesse. Resulta desta recomendação o questionário, conforme mostrado no APÊNDICE G, item G.2;

- 2º. noutra forma, se o projeto está sendo conduzido pela equipe de projeto, no departamento de projeto da empresa, por exemplo, e, considerando-se que já existem algumas informações previamente disponíveis sobre o problema, sejam da experiência dos projetistas ou obtidas por outros meios, recomenda-se que as questões sejam pesquisadas sob as fases do projeto e “físicas” do produto (fabricação, comercialização, utilização e desativação) associadas a temas de interesse. Dessa maneira, procura-se orientar a equipe de projeto, dependendo das informações disponíveis e do nível de entendimento do problema, na investigação das necessidades, sob os vários aspectos relacionados à produção e à “vida” do produto no mercado, visando-se a uma avaliação abrangente dos problemas que se apresentam ou que poderão ocorrer no futuro. Nesse caso, os atributos recomendados para a seleção prévia de questões são: “Fase”, “Temas/Subtemas”, e “Tipo de projeto”. Assim, por exemplo, os critérios “Fase = projeto”, “Temas/Subtemas = funções do gabinete, geometria do gabinete, cinemática do gabinete, dinâmica do gabinete e desempenho do gabinete” e “Tipo de projeto = adaptativo” aplicam-se à investigação de necessidades relacionadas à configuração do produto e de seu comportamento, visando-se analisar as principais condições para seu reprojeto. Resulta desta recomendação o questionário, conforme mostrado no APÊNDICE G, item G.3;
- 3º. sob as mesmas condições que no segundo item, os critérios “Fase = fabricação”, “Temas/Subtemas = materiais de injeção, processo de injeção, pós-processamento, montagem do gabinete” e “Tipo de projeto = original” aplicam-se, por exemplo, à investigação de necessidades relacionadas à fabricação de um novo produto injetado. Resulta dessa recomendação o questionário, conforme mostrado no APÊNDICE G, item G.4.

Diante das observações anteriores, verifica-se que a preparação de questionários, sob a pesquisa automática de questões, depende de uma série de condições sobre o desenvolvimento do produto. Essas condições implicarão diferentes critérios para orientar nesta preparação. Dessa maneira, na evolução dessa ferramenta, tais condições e os correspondentes critérios deverão ser investigados, desenvolvidos e implementados, seja na forma de regras, como orientações *on-line* ao projetista, seja na configuração de sistema especialista de apoio à preparação de questionários de projeto.

Diante dos questionários preparados, conforme os exemplos anteriores, e admitindo-os adequados ao presente estudo de caso, seguiu-se com a aplicação de cada um deles, de acordo com os recursos descritos em 6.3.1, FIGURAS 6.4, 6.7 e 6.8. Os questionários para as fases de contratação e projeto (itens G.2 e G.3, respectivamente) foram respondidos por este proponente, na forma *on-line*, consultando-se as informações contidas na TABELA 7.1. Para o questionário relativo à fase de fabricação (item G.4), consultou-se, através de documento previamente

preparado, um especialista da área de fabricação de produtos injetados. Um exemplo dos resultados desses procedimentos, na forma de relatório das questões aplicadas e respondidas, é mostrado no APÊNDICE G, item G.5.

Sob os recursos utilizados para a aplicação de questionários, verificou-se que é necessário melhorar a apresentação das questões para melhor orientar o respondente sobre os temas sendo investigados. A contextualização do tema, a associação de imagens ou cenas às questões, textos explicativos, entre outros, parecem ser meios adequados para esse fim.

Diante das informações e manifestações sobre o projeto do gabinete registradas, procedeu-se, em seguida, ao estabelecimento das declarações de necessidades para o problema, utilizando-se os recursos, conforme descrito em 6.3.1, FIGURA 6.10. Um exemplo do ambiente onde as declarações de necessidades foram geradas é mostrado na FIGURA 7.3, a seguir.

Conforme se observa, além das questões/respostas, inclui-se a opção “Típicas Necessidades”, a qual aciona uma base de dados de típicos interesses de clientes de projeto de produtos de plástico injetados, conforme TABELA 5.3, item 5.2.6, visando orientar a equipe de projeto no estabelecimento de necessidades para o problema.

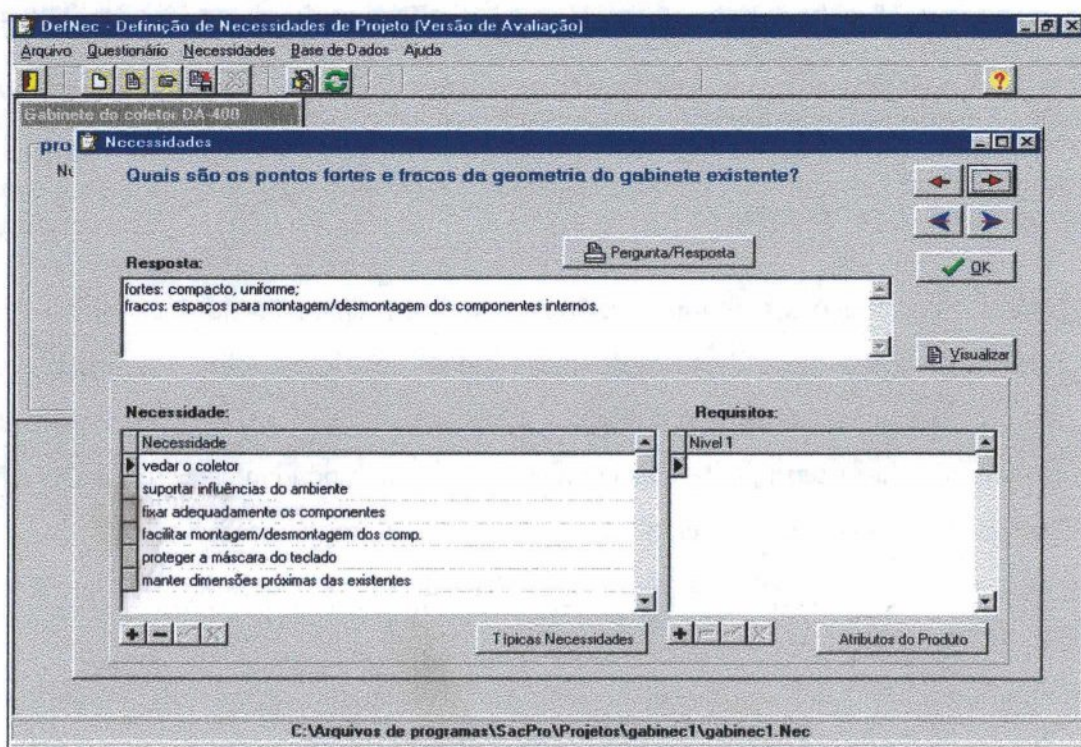


Figura 7.3 - Exemplo de recursos utilizados para auxiliar na geração das declarações de necessidades para o projeto do gabinete.

Nessa atividade, em particular, cada uma das questões/respostas armazenadas foi analisada, procurando-se identificar e estabelecer as necessidades de projeto. Em parte, esse procedimento consistiu numa “tradução”, ou interpretação, das informações e manifestações

obtidas junto aos “clientes do projeto”. Noutra forma, consistiu num tratamento das informações disponíveis que, em parte, já representam necessidades de projeto. Resultou dessa atividade uma lista de necessidades, parcialmente mostrada na FIGURA 7.4 e documentada no APÊNDICE G, item G.6, conforme recursos para a impressão das necessidades (opção “Imprimir”, na FIGURA 7.4).

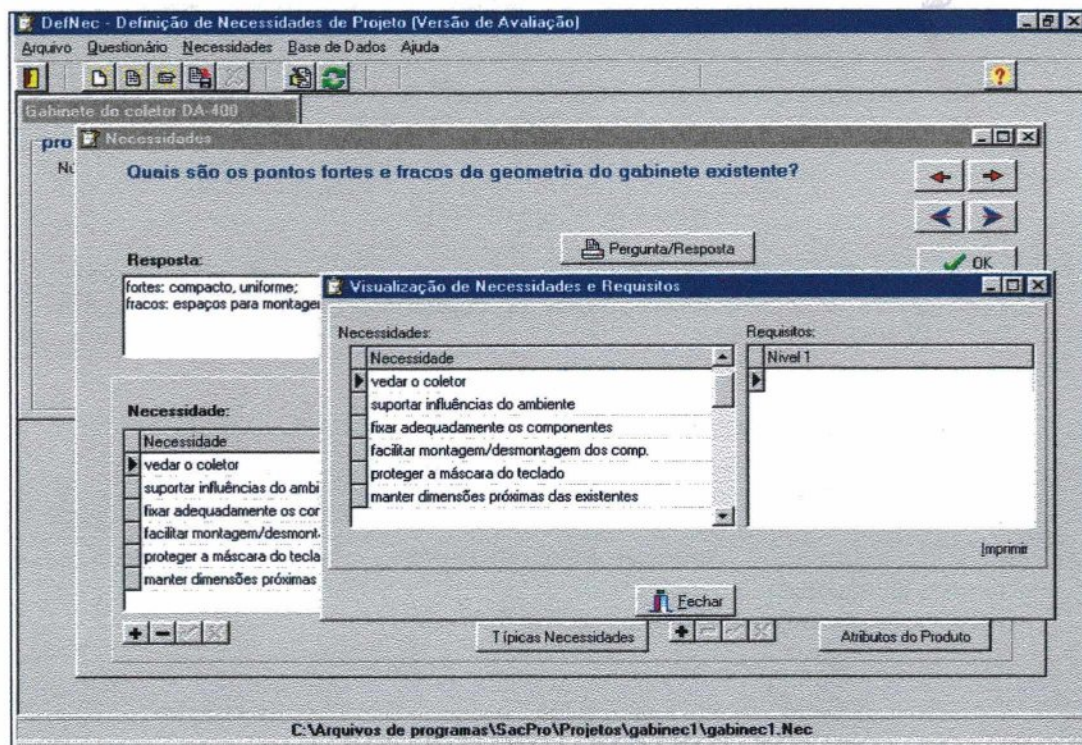


Figura 7.4 - Exemplo de visualização parcial das necessidades de projeto geradas e registradas com auxílio do programa DEFNEC.

Verificou-se, nessa atividade, que a base de dados de típicas necessidades de projeto (item 6.3.1, FIGURA 6.11) deve ser ampliada, incluindo-se típicas necessidades, ou orientações, focalizadas ao componente injetado em seu ciclo de vida. Da maneira como se apresentam, conforme a TABELA 5.3, ou seja, na forma de típicos interesses dos clientes do projeto de produtos de plástico injetados, embora adequados para investigar o desenvolvimento de novos produtos, encontram-se um tanto genéricos para auxiliar em problemas, conforme este que se apresenta.

Sobre as necessidades geradas, admite-se que elas se encontram adequadas aos propósitos do presente estudo de caso, representando problemas e restrições a serem considerados no projeto do gabinete em questão, tais como a injeção em plástico, o desenvolvimento de uma concepção cujo sistema de acionamento do teclado seja mantido, que a montagem/desmontagem dos componentes internos seja melhorada, que a geometria, arranjo e dimensões dos componentes internos sejam mantidos, entre outros.

7.3.1.1 - Síntese do processo de estabelecimento das necessidades de projeto do gabinete

Neste item apresenta-se uma síntese dos procedimentos adotados, recursos utilizados e resultados obtidos, sob a utilização do programa DEFNEC, para auxiliar no estabelecimento das necessidades de projeto. Essa síntese, em sua forma gráfica, é mostrada na FIGURA 7.5, a seguir.

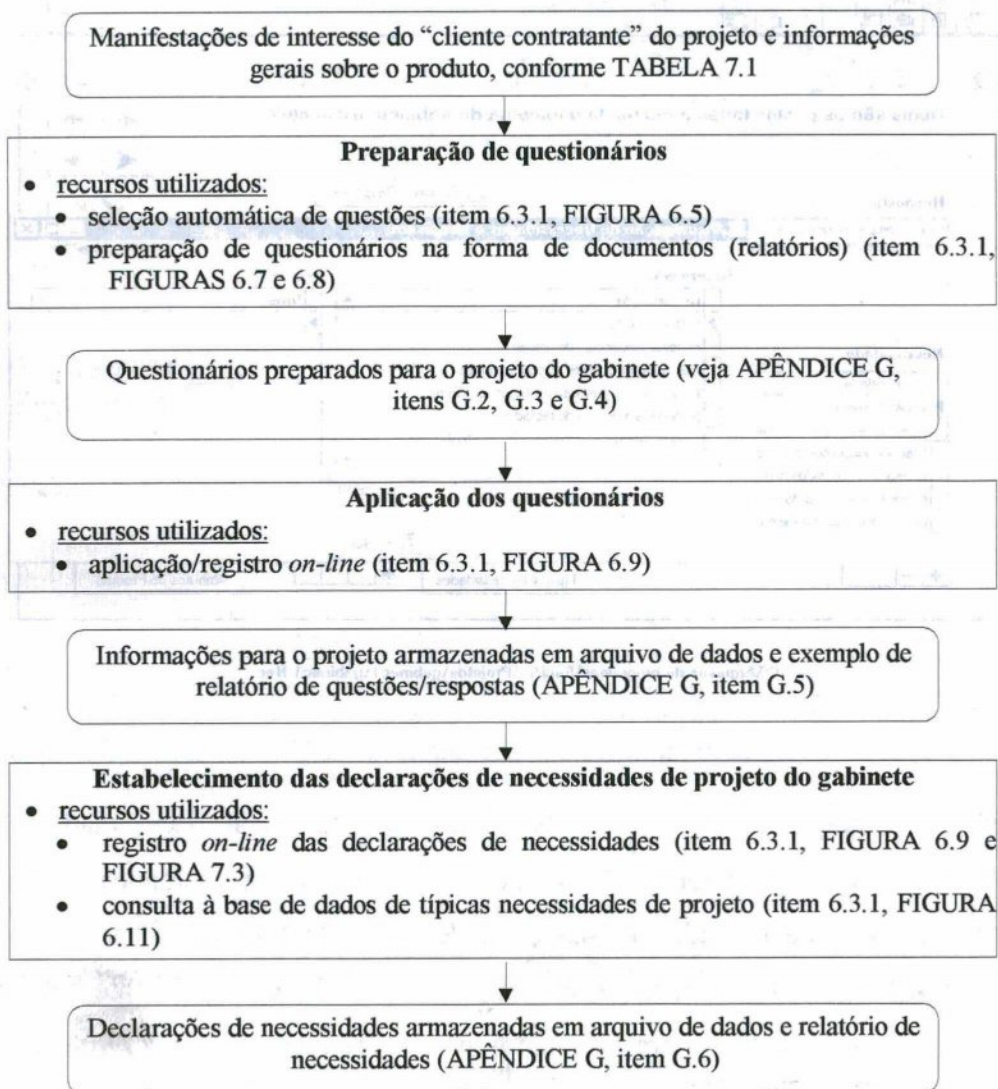


Figura 7.5 - Síntese dos procedimentos, recursos e resultados, sob o processo de estabelecimento das necessidades de projeto, com auxílio do programa DEFNEC.

Sob a utilização do programa DEFNEC, conforme descrito anteriormente e resumido na FIGURA 7.5, fazem-se as seguintes considerações:

- a ferramenta que se apresenta viabiliza, de maneira simples e prática, a utilização do método de questionário estruturado, como meio de auxílio ao estabelecimento das necessidades de projeto do gabinete; entende-se, desta maneira, sob os recursos promovidos, que a equipe de desenvolvimento do produto, em situações reais de projeto, obterá auxílios para iniciar o

processo de desenvolvimento do produto e conduzi-lo na fase de estabelecimento de necessidades, de maneira sistemática e, sob enfoque abrangente, considerando, desde o início, os principais problemas relacionados a cada fase do ciclo de vida do produto; entende-se, assim, que muitas das dificuldades que se apresentarão em fases adiantadas do projeto poderão ser minimizadas, se não resolvidas;

- considera-se, ainda, que processos de revisão e de reaproveitamento de informações serão facilitados, reduzindo-se o tempo na preparação das especificações de projeto e no desenvolvimento de novos produtos;
- o programa DEFNEC “traduz” adequadamente, através de suas *funcionalidades*, os principais procedimentos do processo de estabelecimento das necessidades de projeto, conforme propostos em 5.3.1, FIGURA 5.9;
- a evolução dessa ferramenta dependerá, em parte, do melhoramento na ergonomia do programa, principalmente com relação à apresentação das questões e com a sistematização de conhecimentos para melhor orientar a preparação de questionários e geração das declarações de necessidades;
- noutra forma, a utilização de ferramentas dessa natureza, em função das diferentes situações de projeto, dependerá, em parte, de um gerenciamento adequado do desenvolvimento do produto, orientando e conduzindo a utilização dos recursos promovidos;
- em linhas gerais, entende-se que a ferramenta que se apresenta foi útil aos propósitos de auxiliar no estabelecimento das necessidades de projeto do gabinete, obtendo-se um conjunto de declarações simples que representam problemas a serem resolvidos e mantendo-se registrados, para reutilizações que se façam necessárias, as informações, manifestações e dados sobre o produto em questão.

7.3.2 - Estabelecimento dos requisitos de projeto

Neste item descrevem-se os principais procedimentos conduzidos, recursos utilizados e resultados obtidos, com auxílio do programa QFD, durante processo de estabelecimento dos requisitos de projeto, para o gabinete do presente estudo de caso.

No procedimento inicial de utilização do programa, após a identificação do diretório de trabalho para um novo projeto, denominado aqui de “gabiqfd1” (recursos descritos no item 6.3.2, FIGURA 6.13), procedeu-se à recuperação das necessidades geradas, conforme mostrado na FIGURA 7.6, sob a opção “Importar Necessidades” (recursos descritos no item 6.3.2, FIGURA 6.14). As necessidades geradas, nesse caso, encontram-se armazenadas em arquivo de dados sob o seguinte “caminho” C:\Arquivos de programas\SacPro\Projetos\gabinec1 \OQues.DB.

Após essa operação e utilizando-se os demais recursos do programa QFD (item 6.3.2, FIGURA 6.16), as necessidades importadas foram revisadas e valoradas, considerando-se, conforme as recomendações contidas no APÊNDICE C, item C.3.2, a seguinte escala de valoração: *1 - pouco importante, 3 - importante e 5 - muito importante*. Desses procedimentos resultaram as declarações de necessidades valoradas, conforme a FIGURA 7.7.

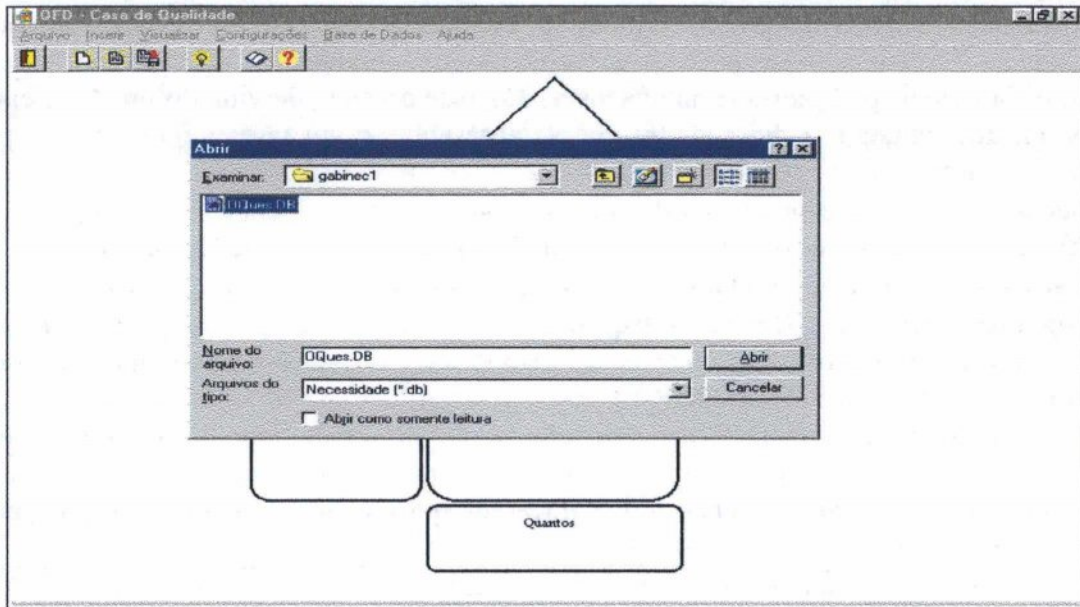


Figura 7.6 - Arquivo correspondente às necessidades de projeto, sendo recuperado no programa QFD.

Nivel 1	Nivel 2	Nivel 3	Valor
Projeto	vedar o coletor		5
	suportar influências do ambiente		5
	fixar adequadamente os comp.		5
	facilitar mont./desmont. dos comp.		5
	manter dim. próximas das existentes		1
	prever espaços adequados para mont.		5
	considerar geom. e dim. fixas dos comp.		5
	prever articulação do gabi. sobre a máq.		3
	facilitar a abertura do gabinete		5
	manter a máscara do teclado		5
	melhor informar o usuário sobre os comp.		3
	melhor posicionar o selo do fabricante		1
	manter a aparência atual do gabi.		1
Fabricação	utilizar resinas usuais (ABS, PS)		3
	utilizar resinas de menor custo		5
	simplificar geometria		5
	geometria de fácil extração da peça		5

Figura 7.7 - Declarações de necessidades para o gabinete, após a revisão e valoração.

Deve-se salientar, aqui, que a atribuição de valores para as necessidades de projeto foi conduzida por este proponente, conforme seu entendimento de cada uma delas. Em situações reais de projeto, essa atividade deverá ser conduzida considerando-se a participação de cada um dos membros da equipe de desenvolvimento do produto, discutindo e debatendo sobre os valores a serem atribuídos, além de considerar aqueles provenientes de pesquisas de mercado.

Conforme se observa na FIGURA 7.7, comparada com a lista de necessidades no APÊNDICE G, item G.6, verifica-se que algumas declarações de necessidades foram removidas sob as seguintes considerações:

- a declaração de necessidade *proteger a máscara do teclado* foi removida da lista, pois se entendeu, aqui, que o problema de uso indevido dos operadores, o qual poderá danificar a máscara do teclado, não é função do gabinete em si próprio, mas do treinamento adequado dos próprios operadores. Além disso, soluções para evitar esse tipo de problema poderão aumentar, indesejadamente, os custos do gabinete/produto; e
- a declaração de necessidade *facilitar a remoção da placa/fonte* também foi eliminada da lista, pois se entendeu, aqui, que essa necessidade é contemplada por aquelas que tratam da fixação adequada dos componentes e facilidade de montagem/desmontagem dos componentes.

Diante das necessidades revisadas e valoradas, procedeu-se à análise de cada uma delas, procurando-se “traduzi-las” em um ou mais requisitos para o projeto do gabinete, utilizando-se os recursos descritos em 6.3.2, FIGURA 6.17. Um exemplo de como esse procedimento de “tradução” foi conduzido, sob os recursos do programa, é mostrado na FIGURA 7.8.

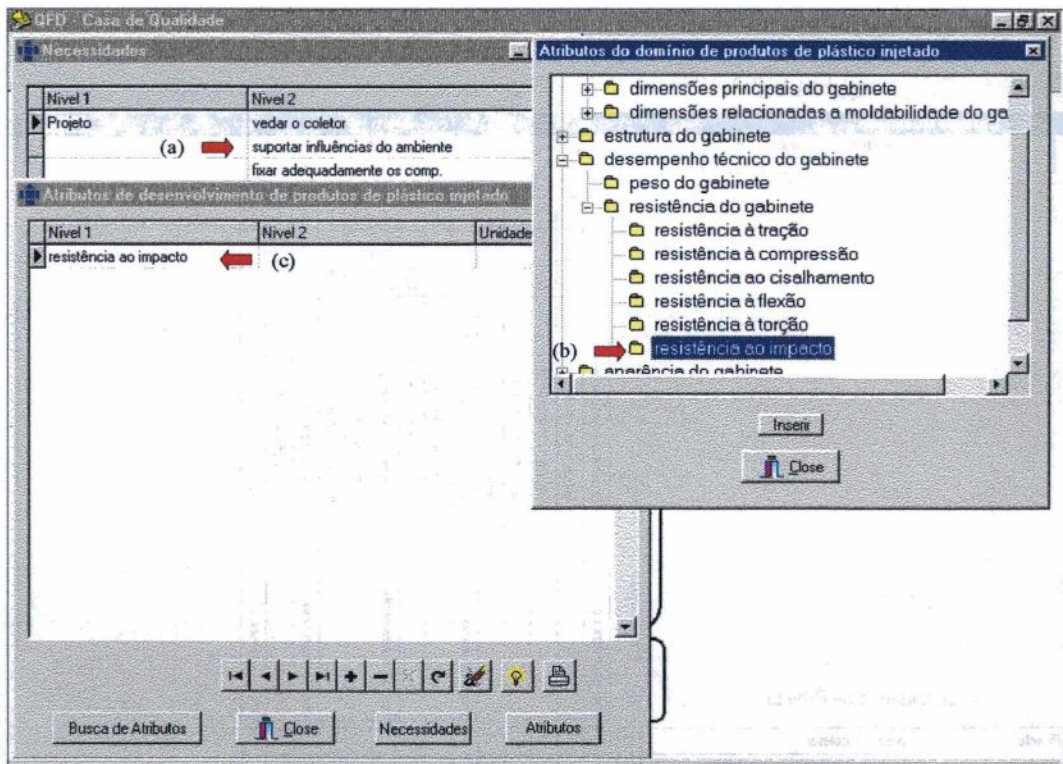


Figura 7.8 - Exemplo de procedimento adotado na “tradução” de necessidades em requisitos de projeto, sob auxílio dos recursos promovidos pelo programa QFD.

Conforme a FIGURA 7.8, após a análise de uma dada declaração de necessidade (seta (a), por exemplo), percorreu-se a base de dados de típicos atributos do produto, procurando-se identificar aqueles que poderiam auxiliar na “tradução” da necessidade de interesse. Identificado um dado atributo (seta (b)), promoveu-se sua inserção no ambiente de edição de requisitos,

conforme mostrado pela seta (c). Alguns outros exemplos de atributos identificados sob este procedimento foram:

- **“vedar coletor” ↔ “espessura de parede”**: esta identificação foi estabelecida sob o seguinte raciocínio: *“sob a necessidade de vedar o coletor, deverá ser promovida alguma solução de natureza geométrica ou de forma entre as paredes das partes do gabinete, assim como tem sido promovida pela solução de “labirinto”, conforme o gabinete existente. Dessa maneira, a solução a ser desenvolvida poderá envolver a espessura de parede das partes do gabinete (mais ou menos espessura necessária, por exemplo). Logo, existe uma dada associação entre vedar o coletor e a espessura da parede”*.
- **“prever espaços adequados para montagem dos componentes” ↔ “dimensões principais do gabinete”**: esta associação é direta: *“maiores dimensões do gabinete, incluindo-se aí, comprimento, largura e altura, implicam, em princípio, maiores espaços de montagem”*.

Após esses processos de associação, entre as declarações de necessidades e os atributos do produto, procedeu-se à atribuição de metas para cada atributo, configurando-se, assim, do ponto de vista técnico, as principais especificações do problema. Dessa maneira, estabeleceram-se os requisitos de projeto, conforme mostrados na FIGURA 7.9, os quais serão utilizados para orientar na geração de concepções alternativas para o gabinete.

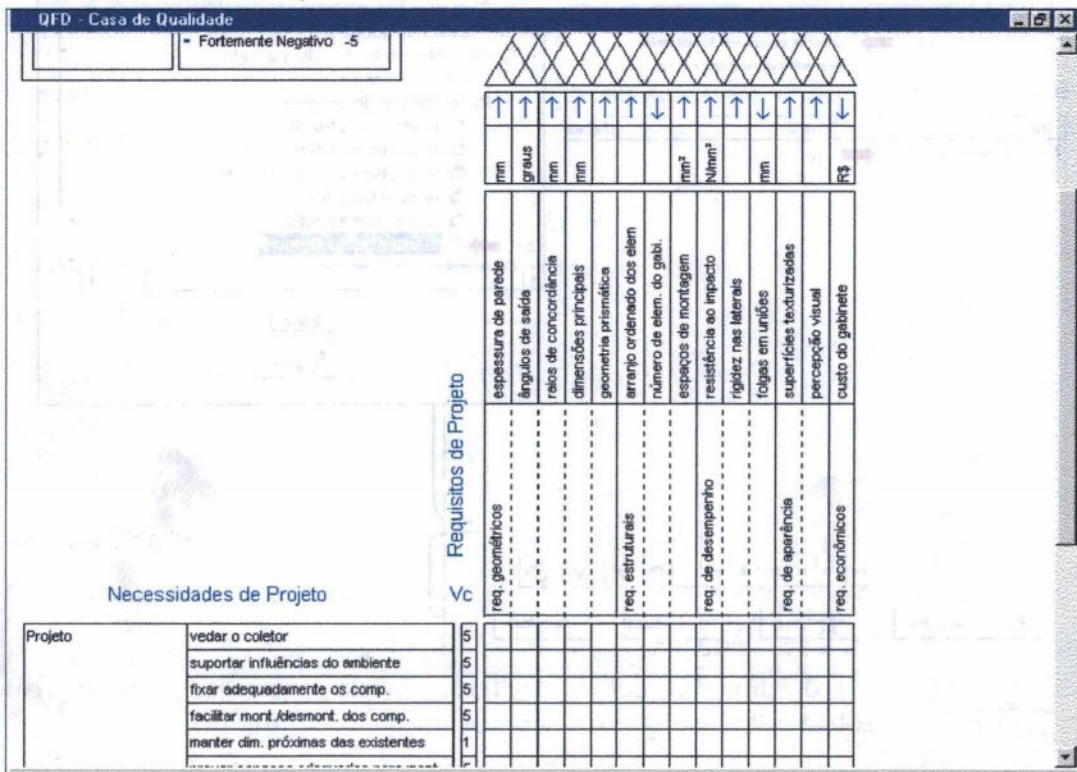


Figura 7.9 - Exibição da “casa da qualidade” após a “tradução” das necessidades em requisitos de projeto do gabinete.

Sobre os procedimentos e recursos anteriores, verifica-se que a equipe de projeto terá boas oportunidades para estabelecer, de maneira rápida e orientada, aqueles requisitos mais

representativos ao problema em questão, minimizando-se atividades complementares para este fim. É necessário, para avançar em auxílios desta natureza, que a base de dados de típicos atributos do produto seja aperfeiçoada, adicionando-se, por exemplo, breves explicações sobre cada atributo apresentado. Além disso, o processo de associação entre necessidades e atributos poderá ser melhorado através de mecanismos especializados de busca de atributos, conforme idéias apresentadas ao final do item 6.3.2.

Diante da lista de necessidades e de requisitos de projeto procedeu-se, em seguida, sob os recursos descritos em 6.3.2, FIGURAS 6.19 e 6.20, à atribuição dos relacionamentos entre as necessidades e os requisitos, e entre os próprios requisitos. Os resultados desses procedimentos são mostrados na FIGURA 7.10.

Sobre os procedimentos para a atribuição dos relacionamentos verificou-se, do ponto de vista operacional, que os recursos promovidos pelo programa são bastante simples e práticos. Sobre as atribuições, em si próprias, não foram investigados, na presente tese, recursos mais elaborados de auxílio. Conforme discutido no APÊNDICE C, itens C.3.4 e C.3.5, tais recursos demandarão investigações mais profundas sobre as típicas associações, analogias, entre outras operações, conduzidas durante o relacionamento de informações de projeto e da implementação, destas, na forma de sistema especialista, ou de mecanismos de apoio à atribuição de relacionamentos. Algumas diretrizes, nesta direção, foram exemplificadas nas FIGURAS C.5, C.6, C.7 e C.8.

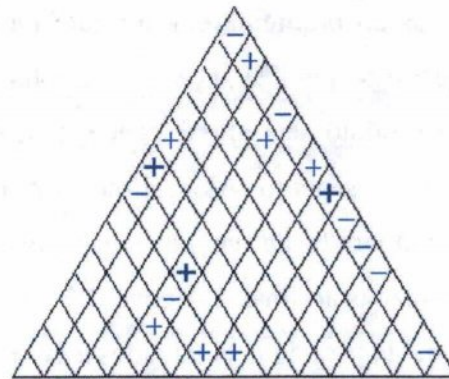
Os relacionamentos atribuídos na “casa da qualidade”, conforme a FIGURA 7.10, foram justificados, segundo o entendimento deste proponente, e registrados sob os recursos, conforme descrito em 6.3.2, FIGURAS 6.19 e 6.20 (“campo de justificativas”). Exemplos de relatórios destas justificativas, na forma de documentos de saída do programa, em suas configurações iniciais, são mostrados no APÊNDICE G, itens G.7 e G.8.

Sobre tais justificativas, verifica-se que a equipe de projeto terá a oportunidade de “fixar” os motivos que levaram a determinados relacionamentos. Tais motivos serão úteis, tanto na própria revisão dos relacionamentos atribuídos, como no auxílio à “leitura” da “casa da qualidade” por outros profissionais da empresa, ou na retomada do projeto, em tempos futuros.

Diante dos relacionamentos realizados obteve-se, conforme mostrado na FIGURA 7.10, a importância de cada um dos requisitos de projeto, considerando-se o método clássico de valoração e aquele que leva em conta as informações do “telhado” da “casa da qualidade” (APÊNDICE C, item C.3.5, FIGURA C.9). Sob tais resultados, fazem-se as seguintes observações:

Gabinete DA-400
 14/05/99
 André Ogliari - NEDIP/EMC/UFSC

Legenda	
Relacionamento	Telhado
● Forte 5	+ Fortemente Positivo 5
⊙ Médio 3	+ Positivo 3
○ Fraco 1	- Negativo -3
	- Fortemente Negativo -5



Requisitos de Projeto

Vc

Necessidades de Projeto

Projeto	vedar o coletor	suportar influências do ambiente	fixar adequadamente os comp.	facilitar mont./desmont. dos comp.	manter dim. próximas das existentes	prever espaços adequados para mont.	considerar geom. e dim. fixas dos comp.	prever articulação do gabi. sobre a máq.	facilitar a abertura do gabinete	manter a máscara do teclado	melhor informar o usuário sobre os comp.	melhor posicionar o selo do fabricante	manter a aparência atual do gabi.	Fabricação	utilizar resinas usuais (ABS, PS)	utilizar resinas de menor custo	simplificar geometria	geometria de fácil extração da peça	Importância do Requisito	Importância do Requisito (com telhado)
	5	5	5	5	1	5	5	3	5	5	3	1	1	3	5	5	5	5	7	6
	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	9	9
	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	14	14
	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	3	3
	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	4	8
	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	2	1
	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	4
	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	10	7
	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	12	12
	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	6	10
	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	13	13
	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	11	11
	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	1	2
	73	50	15	133	114	70	160	88	49	38	75	24	43	208	775.17	553.68	166.18	1310.61	803.2	1063.44
	7	9	14	3	4	8	2	5	10	12	6	13	11	6	9	14	3	8	5	1
	6	9	14	3	8	5	1	4	7	12	10	13	11	2	6	9	3	8	5	1

Figura 7.10 - "Casa da qualidade" para o projeto conceitual do gabinete.

1. em linhas gerais, os requisitos cujas importâncias foram elevadas (*espessura de parede, arranjo ordenado dos elementos, número de elementos do gabinete, espaços de montagem e resistência ao impacto*) devem-se aos relacionamentos positivos com os demais; em princípio, se esses requisitos forem satisfeitos na concepção do produto, propiciarão a satisfação daqueles correlacionados. Noutra forma, evitarão conflitos;
2. o requisito *custo do gabinete* teve sua importância atenuada em função dos relacionamentos negativos com os demais; entretanto, devido a seu peso elevado na valoração tradicional e aos relacionamentos positivos no “telhado”, permaneceu como um requisito importante para o projeto do gabinete;
3. os requisitos *geometria prismática e folgas em uniões* foram atenuados sem apresentarem relacionamentos no telhado. Isso se deve porque os acréscimos/decrécimos nos pesos dos requisitos, em função da escala adotada (APÊNDICE C, FIGURA C.9), ocorrem nas proporções de 10:1, para relacionamentos fortemente positivos/negativos, e 5:1, para relacionamentos positivos/negativos. Dessa maneira, aqueles requisitos sem relacionamentos no “telhado” não necessariamente deverão manter suas posições na reclassificação, pois requisitos “abaixo” destes, mas com relacionamentos positivos, tenderão a “ultrapassá-los”, em função das proporções consideradas;
4. os requisitos, tais como *ângulos de saída e raios de concordância*, ficaram aquém do esperado, no caso do projeto de componentes injetados. Isso se deve, em parte, porque, conforme se observa, foram considerados, em maior número, necessidades e requisitos de natureza funcional;
5. de maneira geral, sob o presente estudo de caso, admite-se que a reclassificação dos requisitos, considerando-se o “telhado”, encontra-se adequada para orientar o estabelecimento e a avaliação de concepções alternativas para o gabinete em questão, conforme será descrito mais adiante. Deve-se considerar, entretanto, em futuros trabalhos de pesquisa, a investigação, em maiores detalhes, dos “efeitos” que as escalas utilizadas para os graus de relacionamentos no “telhado” promovem nas posições dos requisitos de projeto, quando reclassificados, fazendo-se evoluir este método de valoração;
6. sobre a utilização dos resultados da “casa da qualidade”, além dos requisitos reclassificados, com suas respectivas posições, os quais serão utilizados para avaliar as concepções alternativas do componente, pode-se estabelecer estratégias gerais para a concepção do gabinete. Dentre elas, considera-se a seguinte:

“os requisitos *número de elementos do gabinete e custo do gabinete* mantiveram-se entre os mais importantes, em ambas as classificações estabelecidas, e apresentam relacionamento positivo entre si. Dessa maneira, poderão ser adotados como prioritários na geração das concepções alternativas para o gabinete, orientando a combinação de princípios de solução. Isso significa que, durante seleção de determinado princípio de solução e a avaliação de suas combinações, deve ser analisado, antes de quaisquer outros requisitos, se o número de elementos de solução e o custo do gabinete serão, ou não, aumentados.”

7.3.2.1 - Síntese do processo de estabelecimento dos requisitos de projeto do gabinete

Nesse item apresenta-se uma síntese dos principais procedimentos realizados, recursos utilizados e resultados obtidos no processo de estabelecimento dos requisitos de projeto do gabinete que se apresenta. Tal síntese é mostrada, em sua forma gráfica, na FIGURA 7.11.

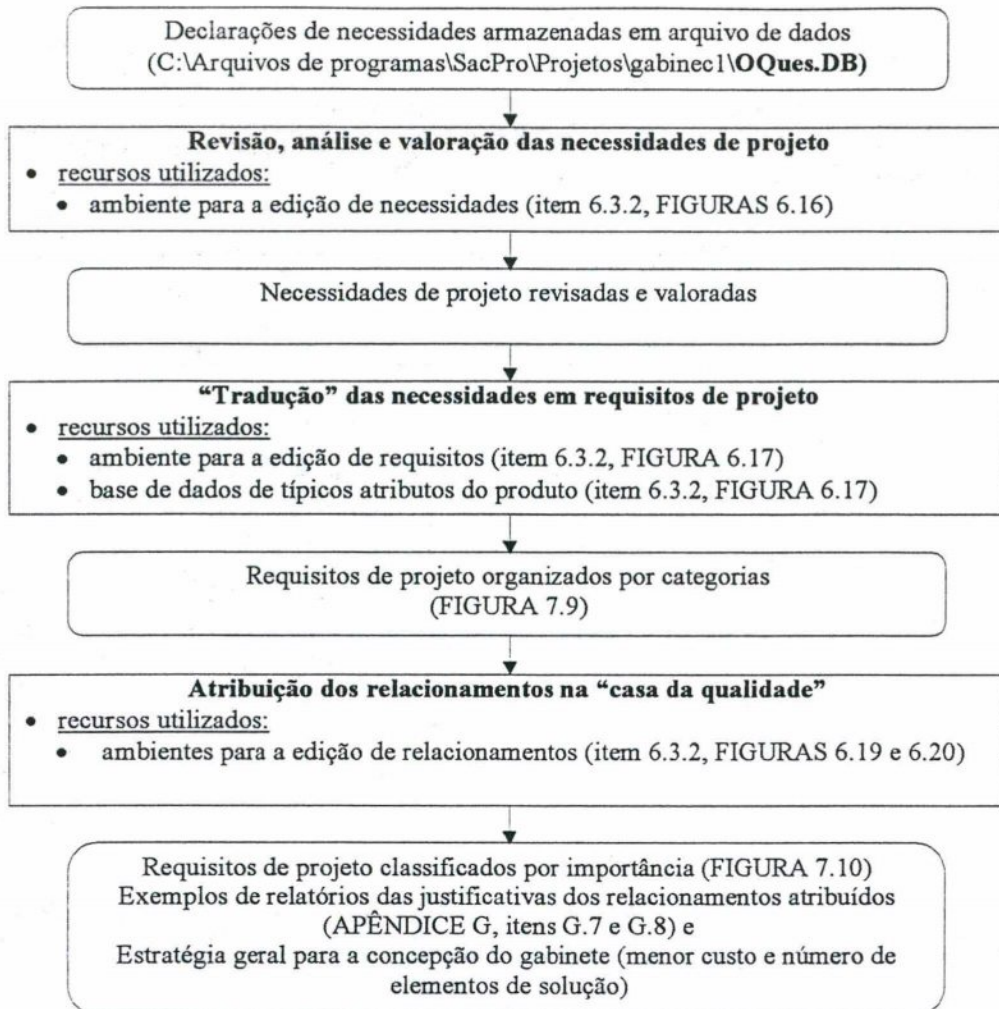


Figura 7.11 - Síntese dos procedimentos, recursos e resultados no processo de estabelecimento dos requisitos de projeto, com auxílio do programa QFD.

Em linhas gerais, sob a utilização do programa que se apresenta para auxiliar no estabelecimento dos requisitos de projeto, conforme descrito anteriormente e resumido na FIGURA 7.11, fazem-se as seguintes considerações:

- a utilização do método da “casa da qualidade”, para auxiliar no estabelecimento dos requisitos de projeto do gabinete, através do programa QFD, foi efetiva; verifica-se a oportunidade de estabelecer e organizar, em maiores detalhes, os principais problemas de projeto; analisar e relacionar esses problemas e estabelecer prioridades e estratégias para o desenvolvimento do produto;
- entende-se, assim, sob esta ferramenta, que a equipe de projeto, em situações práticas do desenvolvimento de produtos, contará com recursos simples e práticos para auxiliar na especificação da tarefa de projeto e no apoio à tomada de decisão diante dos problemas que se apresentam; além disso, considerando-se as *funcionalidades* desta ferramenta, poderão ser armazenadas as considerações estabelecidas durante o estudo da tarefa de projeto, facilitando a retomada do problema, em situações futuras de desenvolvimento.
- o programa QFD “traduz” adequadamente, através de suas *funcionalidades*, os principais

procedimentos do processo de estabelecimento dos requisitos de projeto, conforme propostos em 5.3.1, FIGURA 5.10;

- a ergonomia do programa que se apresenta encontra-se, em linhas gerais, adequada; possibilita, de maneira rápida e confortável, registrar, editar, relacionar e exibir informações sobre a tarefa de projeto; alguns ajustes se fazem necessários quanto à exibição destas informações na matriz;
- a evolução desta ferramenta dependerá, em parte, além da sistematização dos conhecimentos sobre o domínio de aplicação (atributos do produto, por exemplo), da implementação, através de regras, ou orientações, de típicos processos de raciocínio conduzidos durante o relacionamento das informações de projeto (comparações, implicações, cenas, entre outros). Isso, entretanto, se constitui num campo abrangente de pesquisas e entende-se que deverá ser perseguido, sob o escopo de procedimentos particulares realizados, sob este método (“tradução”, valoração, atribuição de relacionamentos, entre outros);
- sob o método de valoração dos requisitos, utilizando-se o “telhado” da “casa da qualidade”, grande parte dos resultados apresentou-se conforme os princípios estabelecidos no APÊNDICE C; deve-se investigar, em maiores detalhes, os “efeitos” que diferentes escalas de valoração promovem nas posições dos requisitos reclassificados, procurando-se estabelecer tendências e definir aquelas escalas mais apropriadas;
- em linhas gerais, entende-se que esta ferramenta foi útil aos propósitos de auxiliar no estabelecimento dos requisitos de projeto do gabinete, obtendo-se um conjunto de problemas técnicos a serem resolvidos e estratégia de desenvolvimento, os quais serão admitidos para orientar na condução das demais fases da concepção do gabinete e avaliação das alternativas geradas, conforme será visto nos itens que se seguem.

7.3.3 - Estabelecimento das funções do gabinete

Após o estabelecimento dos requisitos de projeto iniciou-se o processo de estabelecimento das funções para o gabinete sendo projetado. Para tal, inicialmente, empregaram-se, sob a opção “Arquivo”, no menu principal, os recursos promovidos pelo programa PRODEF, conforme descrito em 6.3.3, FIGURA 6.23, definindo-se o diretório de trabalho, sob a denominação de “gabifunc1”.

Em seguida, sob os recursos descritos em 6.3.3, FIGURA 6.31, procurou-se identificar, através das necessidades e requisitos de projeto, os “ícones de projeto” associados ao gabinete em questão. Para tal, sob a opção “Funções”, do menu principal, selecionou-se a opção “Identificar funções”. Sob esta opção, o programa solicita que o projetista defina os arquivos de necessidades e de requisitos de projeto, os quais se encontram armazenados no diretório de trabalho definido sob o programa QFD (neste caso, “gabiqfd1”).

Após esta operação o programa apresenta ao projetista, conforme mostrado na FIGURA 7.12, as listas de necessidades e requisitos de projeto, e a estrutura de “ícones de projeto” armazenada em sua base de dados. Sob tais informações procedeu-se à identificação e seleção

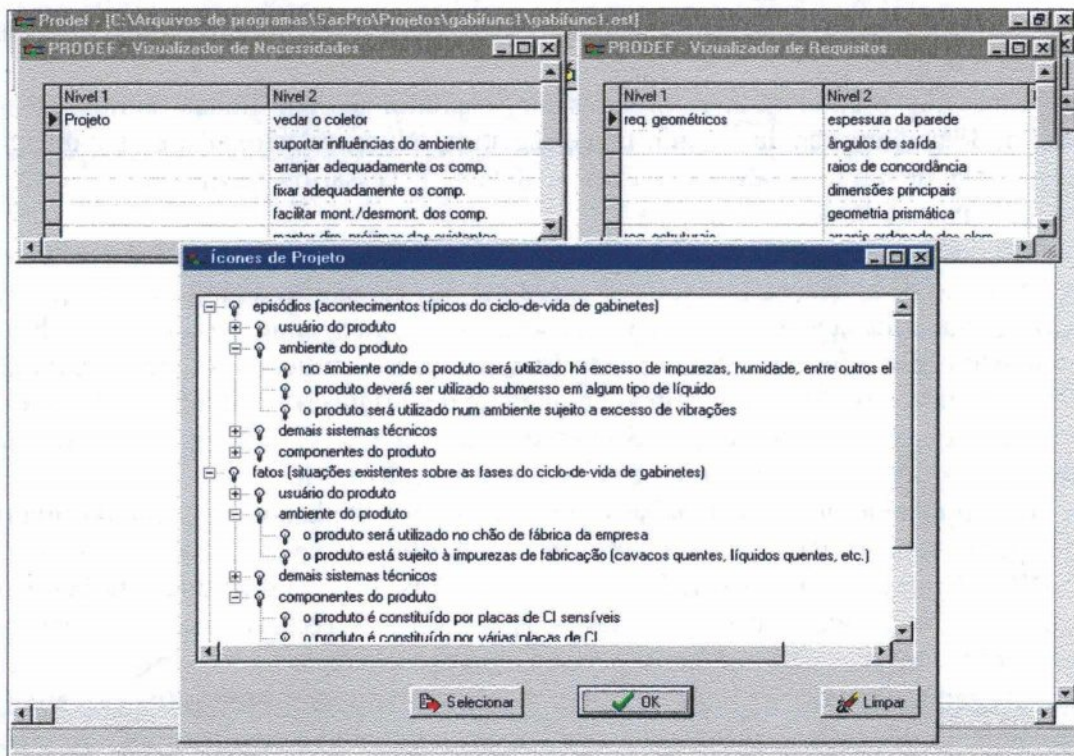


Figura 7.12 - Recursos utilizados para a seleção de “ícones de projeto” na identificação de funções para o gabinete.

daqueles “ícones” mais representativos para o problema em questão. O resultado dessa atividade é mostrado na FIGURA 7.13, onde os “ícones” realçados constituem-se naqueles selecionados para o problema.

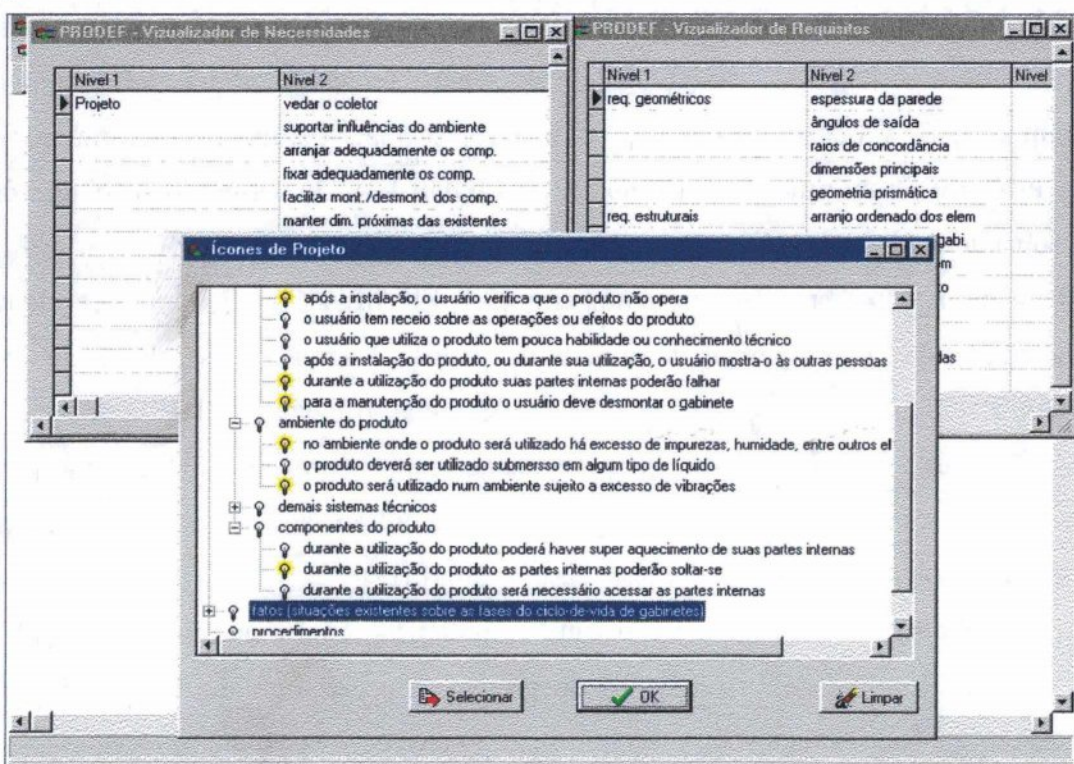


Figura 7.13 - “Ícones de projeto” selecionados para o projeto do gabinete.

Deve-se salientar, aqui, que os resultados destes procedimentos terão caráter demonstrativo, já que grande parte dos “ícones” e das funções estabelecidos na base de dados deste programa originou-se da observação e análise de gabinetes como este que se apresenta.

Para a seleção dos “ícones de projeto” percorreu-se cada um deles, na estrutura de “ícones”, e aqueles adequados ao projeto do gabinete foram confrontados com as necessidades e requisitos de projeto, procurando-se associações para confirmá-los. Para efeito de visualização, a lista dos “ícones” selecionados e algumas associações que se estabeleceram são mostradas na TABELA 7.2.

Tabela 7.2 - Lista dos “ícones de projeto” selecionados para o projeto do gabinete e as correspondentes associações.

“Ícones de projeto” selecionados	Necessidades (N) e requisitos (R) associados
1. <i>na instalação do produto o usuário poderá deixá-lo cair no chão.</i>	- resistência ao impacto (R)
2. <i>após a instalação o usuário verifica que o produto não opera.</i>	- melhor informar o usuário sobre os componente do coletor (N) - percepção visual (R)
3. <i>durante a utilização do produto suas partes internas poderão falhar</i>	- facilitar a montagem/desmontagem dos componentes (N) - suportar influências do ambiente (N) - facilitar a abertura do gabinete (N)
4. <i>para a manutenção do produto o usuário deverá desmontar o gabinete</i>	- facilitar a montagem/desmontagem dos componentes (N) - facilitar a abertura do gabinete (N)
5. <i>no ambiente onde o produto será utilizado há excesso de impurezas, umidade, entre outros elementos nocivos</i>	- vedar o coletor (N) - suportar influências do ambiente (N) - folgas em uniões (R)
6. <i>o produto será utilizado num ambiente sujeito a excessos de vibrações</i>	- suportar influências do ambiente (N) - fixar adequadamente os componentes (N)
7. <i>durante a utilização do produto as partes internas poderão soltar-se</i>	- suportar influências do ambiente (N) - fixar adequadamente os componentes (N) - facilitar a abertura do gabinete (N)

Diante dos “ícones de projeto” selecionados, o programa pesquisa, em sua base de dados, as funções associadas a cada um deles, apresentando-as, conforme a FIGURA 7.14.

Sob tais recursos, o projetista terá a oportunidade de explorar os aspectos funcionais do produto de maneira genérica e abrangente, através de associações com as necessidades e requisitos de projeto. Além de minimizar a consideração de soluções preconcebidas neste processo, o projetista poderá explorar, mentalmente, várias situações, sob as quais o produto estará sujeito, ampliando-se as oportunidades de entendimento do problema e de melhoramento do produto.

As funções apresentadas ao projetista, conforme a FIGURA 7.14, após a pesquisa, através dos “ícones de projeto”, deverão ser analisadas e criticadas quanto à adequacidade, para

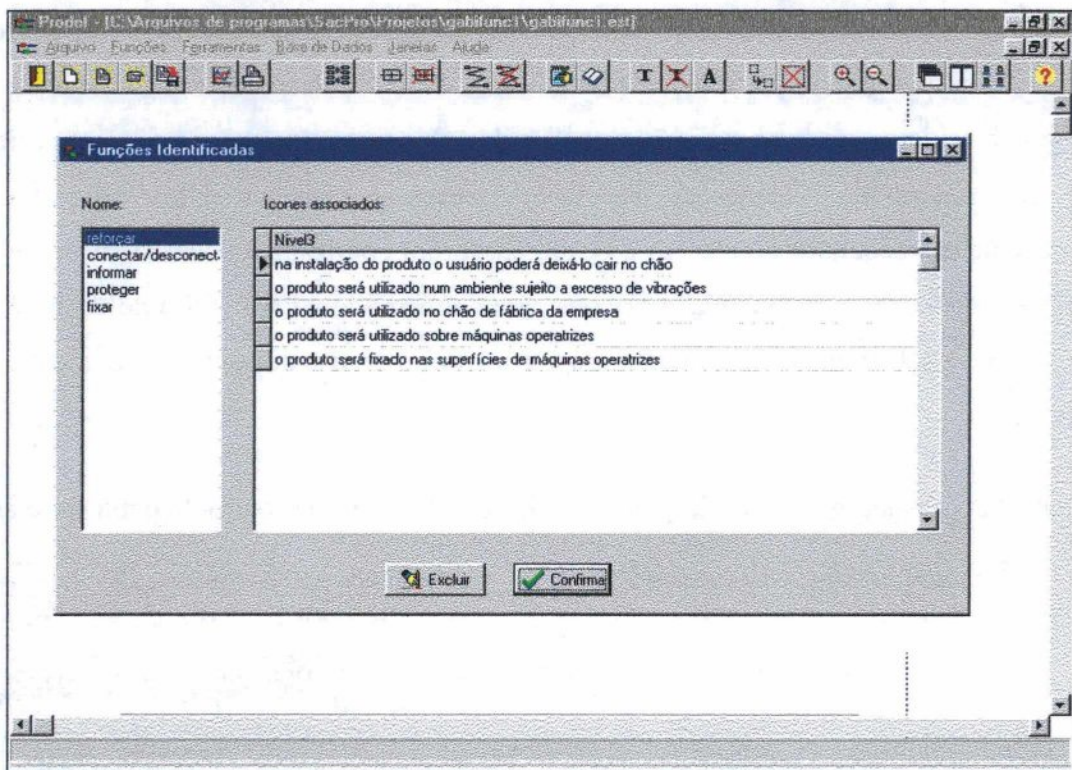


Figura 7.14 - Funções identificadas para o gabinete, através dos “ícones de projeto”.

o projeto em questão, confirmando-as, ou não. Observou-se, aqui, embora isso possa ser feito no ambiente gráfico, que há necessidade de melhor informar o projetista sobre as funções apresentadas, para que ele possa decidir sobre elas. Em outras palavras, além dos “ícones de projeto” associados, deve-se recuperar, também, junto com cada uma das funções, sua estrutura de atributos/valores, conforme cadastradas na base de dados (item 6.3.3, FIGURAS 6.25 e 6.26).

Sob tais observações e confirmando as funções como adequadas para o projeto do gabinete, o programa apresenta-as ao projetista, em suas formas gráficas, conforme mostrado na FIGURA 7.15.

Nesse momento, o projetista tem a oportunidade de avaliar, em maiores detalhes, cada uma das funções pesquisadas para o gabinete (recursos descritos em 6.3.3, FIGURA 6.35), além de, através da opção “Funções”, no menu principal, selecionar funções, apagar funções e criar novas funções que se façam necessárias. Ainda, sob a opção “Arquivo”, no menu principal, o projetista poderá recuperar, novamente, as listas de necessidades e requisitos de projeto, para auxiliar no estabelecimento da estrutura de funções do produto.

Sob tais recursos procedeu-se ao estabelecimento da estrutura de funções para o gabinete, tomando-se como base aquelas mostradas na FIGURA 7.15.

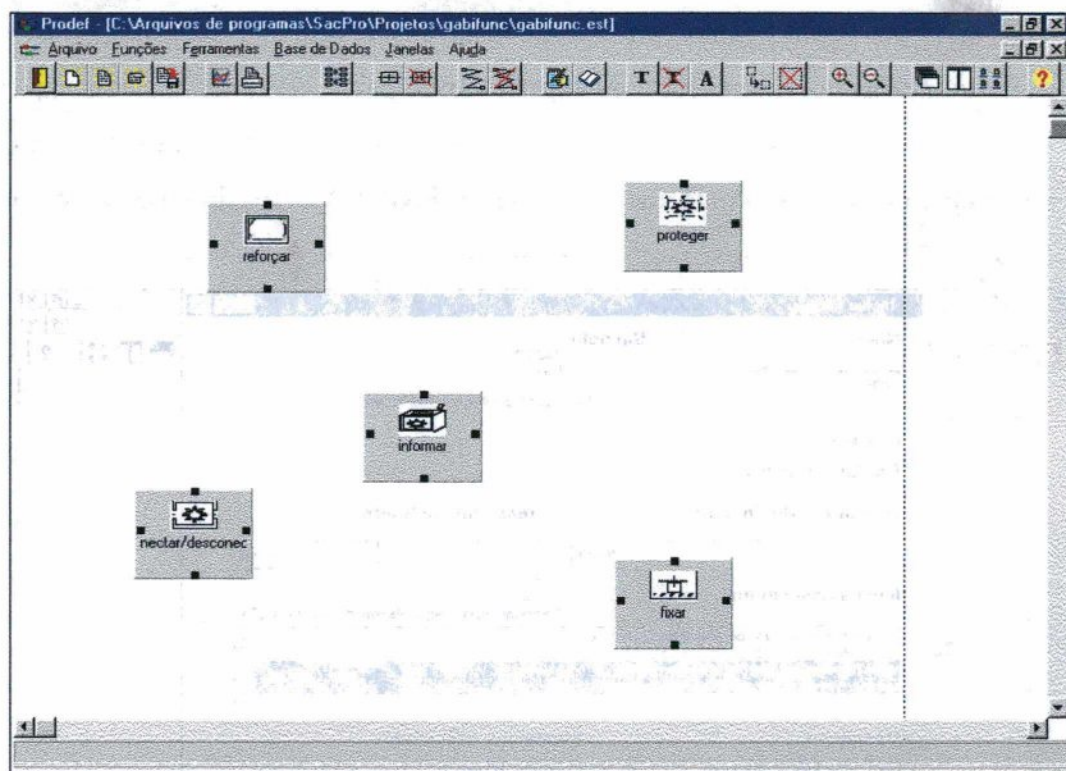


Figura 7.15 - Exibição gráfica das funções identificadas para o gabinete a partir dos “ícones de projeto”.

Analisando-se essas funções, verifica-se, por exemplo, através do atributo “origem” (“clikando-se” com o botão direito do “mouse” sobre a função), que a função *reforçar* é derivada da proteção dos componentes internos do sistema técnico. Sob tal observação, obtém-se um indicativo sobre a posição dessa função na estrutura ou, em outras palavras, sua relação com as demais funções (no caso, a função *proteger*). As orientações gerais para o arranjo das funções são apresentadas ao projetista sob a opção “Recomendações”, em “Base de Dados”, no menu principal.

Além de orientações sobre o arranjo das funções do produto, o projetista poderá criar funções que se façam necessárias após a análise dos problemas, ou sob a orientação das necessidades e requisitos de projeto. Como exemplo, verifica-se que há um requisito de projeto que trata do “*arranjo ordenado dos elementos de solução*” do gabinete, para o qual nenhuma função tem sido considerada, conforme as FIGURA 7.14 e 7.15.

Diante dessa observação, procedeu-se à consulta a base de dados de funções do programa (recursos descritos em 6.3.3, FIGURA 6.25) para verificar se existem funções relacionadas a esse requisito. Sob tal consulta, verificou-se que existe uma função *arranjar* os componentes internos do sistema técnico (ver, também, TABELA 5.1, em 5.2.3); entretanto, esta função não atende aos propósitos estabelecidos pelo requisito mencionado, pois o arranjo de que trata o

requisito refere-se, por exemplo, ao arranjo de aberturas, ressaltos, *snap-fits*, entre outros elementos que se façam necessários sobre as superfícies do gabinete. Dessa maneira, fazendo-se analogia com a função *arranjar* componentes internos, criou-se uma função denominada de *arranjar* elementos de solução, conforme mostrado na FIGURA 7.16, durante seu cadastro na base de dados.

The screenshot shows a window titled "Incluir Função" with the following fields and content:

- Nome:** Input field containing "arranjar_elem".
- Símbolo:** A button with a symbol icon and the text "Clique Aqui para escolher um símbolo".
- Domínio:** Input field containing "Produtos Plasticos".
- Grandezas de Entrada:** Input field with an "Inserir" button.
- Grandezas de Saída:** Input field with an "Inserir" button.
- Ícones associados:** A list box containing the text: "o produto é constituído por placas de CI sensíveis", "o produto é constituído por várias placas de CI", "além de placas de CI o produto é constituído de fontes, displays, teclados, etc", and "as partes internas do produto são pré-definidas e não podem ser modificadas".
- Descrição:** A text area containing: "função que trata do arranjo dos elementos de solução do gabinete, em suas superfícies, tais como, aberturas, ressaltos, snap-fits, entre outros".
- Elementos associados:** A dropdown menu with "Elementos de solução" selected.
- Classes de elementos associados:** A dropdown menu with "Componentes Internos" selected.
- Origem:** A dropdown menu with "Derivada do enclausuramento" selected.
- Buttons for "Cancela" and "OK" at the bottom.

Figura 7.16 - Cadastro de uma nova função na base de dados.

Seguindo-se procedimentos dessa natureza e consultando-se a lista de necessidades, de requisitos de projeto e a base de dados de funções, o projetista terá a oportunidade de estabelecer as funções do produto e organizá-las numa estrutura, conforme o exemplo mostrado na FIGURA 7.17.

Diante da estrutura de funções resultante, conforme a FIGURA 7.17, por exemplo, deve-se proceder, em sua avaliação geral, considerando-se os critérios de avaliação sob a opção "Recomendações", em "Base de Dados", no menu principal (recursos descritos em 6.3.3, FIGURA 6.36). Sob tais recomendações, procura-se estabelecer alguns indicativos para que o projetista verifique a adequacidade, ou não, das funções que foram estabelecidas.

Como exemplo dessa avaliação, sob o critério *representatividade*, verifica-se que as funções resultantes estão diretamente relacionadas à maioria dos problemas estabelecidos pelas necessidades e requisitos de projeto, sendo algumas delas derivadas das próprias declarações de necessidades e requisitos de projeto (*vedar*, *articular*, *arranjar*, por exemplo).

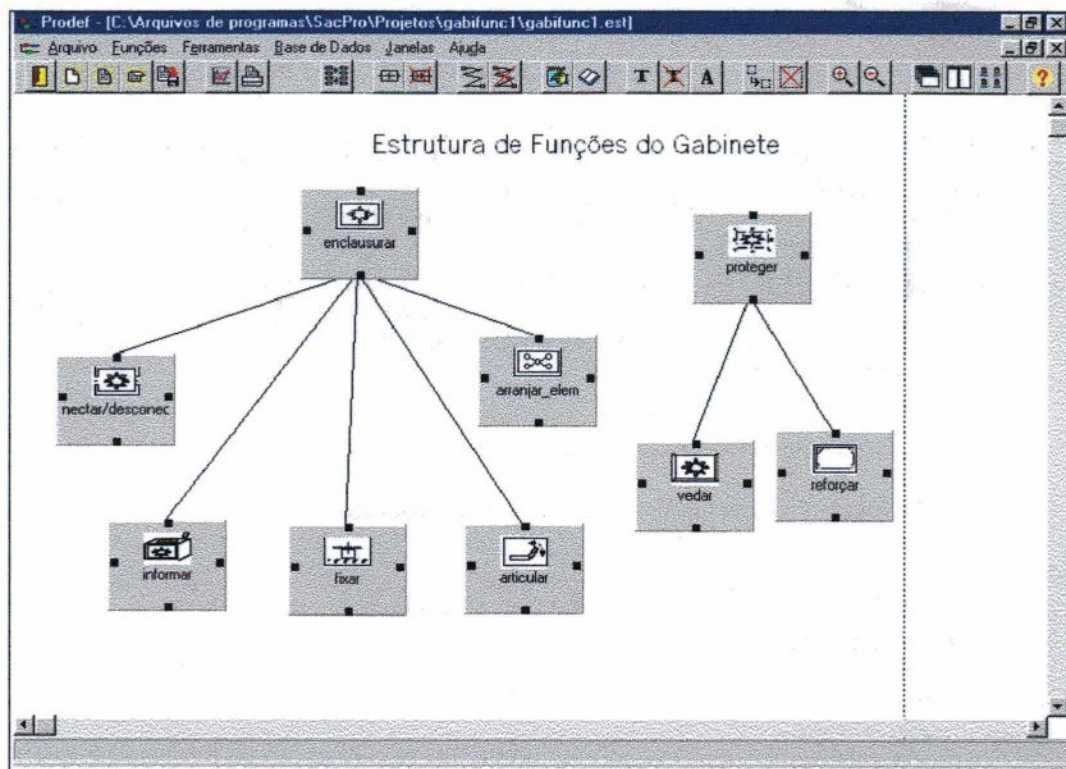


Figura 7.17 - Estrutura de funções para o gabinete.

7.3.3.1 - Síntese do processo de estabelecimento das funções do gabinete

Neste item, apresentam-se uma síntese e considerações principais sobre o processo de estabelecimento das funções do gabinete, utilizando-se o programa PRODEF. Na FIGURA 7.18, são resumidos os procedimentos adotados, recursos utilizados e resultados obtidos nesse processo. As principais considerações, por sua vez, são:

- sob a utilização da ferramenta, que se apresenta, verifica-se que o projetista terá a oportunidade de, efetivamente, investigar os aspectos funcionais do produto, a partir das necessidades e dos requisitos de projeto, promovendo associações que facilitem a identificação e estabelecimento das funções;
- o programa PRODEF “traduz” adequadamente, através de suas *funcionalidades*, os procedimentos do processo de estabelecimento das funções do produto, conforme proposto em 5.3.3, FIGURA 5.11;
- a ergonomia do programa, em linhas gerais apresenta-se adequada; deve-se, entretanto, melhorar alguns aspectos na exibição gráfica das funções (símbolos e textos);
- sobre a identificação de funções, através dos “ícones de projeto”, verifica-se que se trata de uma ferramenta com potencial para auxiliar no início do processo de estabelecimento das funções do produto; atividade, normalmente, dificultada pelos processos de abstração que se fazem necessários; a evolução desta ferramenta dependerá da ampliação da base de dados de “ícones de projeto” e de mecanismos para associar, diretamente, as declarações de necessidades e de requisitos de projeto, com os “ícones” estabelecidos; algumas idéias nesse sentido foram propostas, conforme o protótipo de demonstração de sistema especialista para auxiliar na identificação de funções, apresentado no APÊNDICE F;

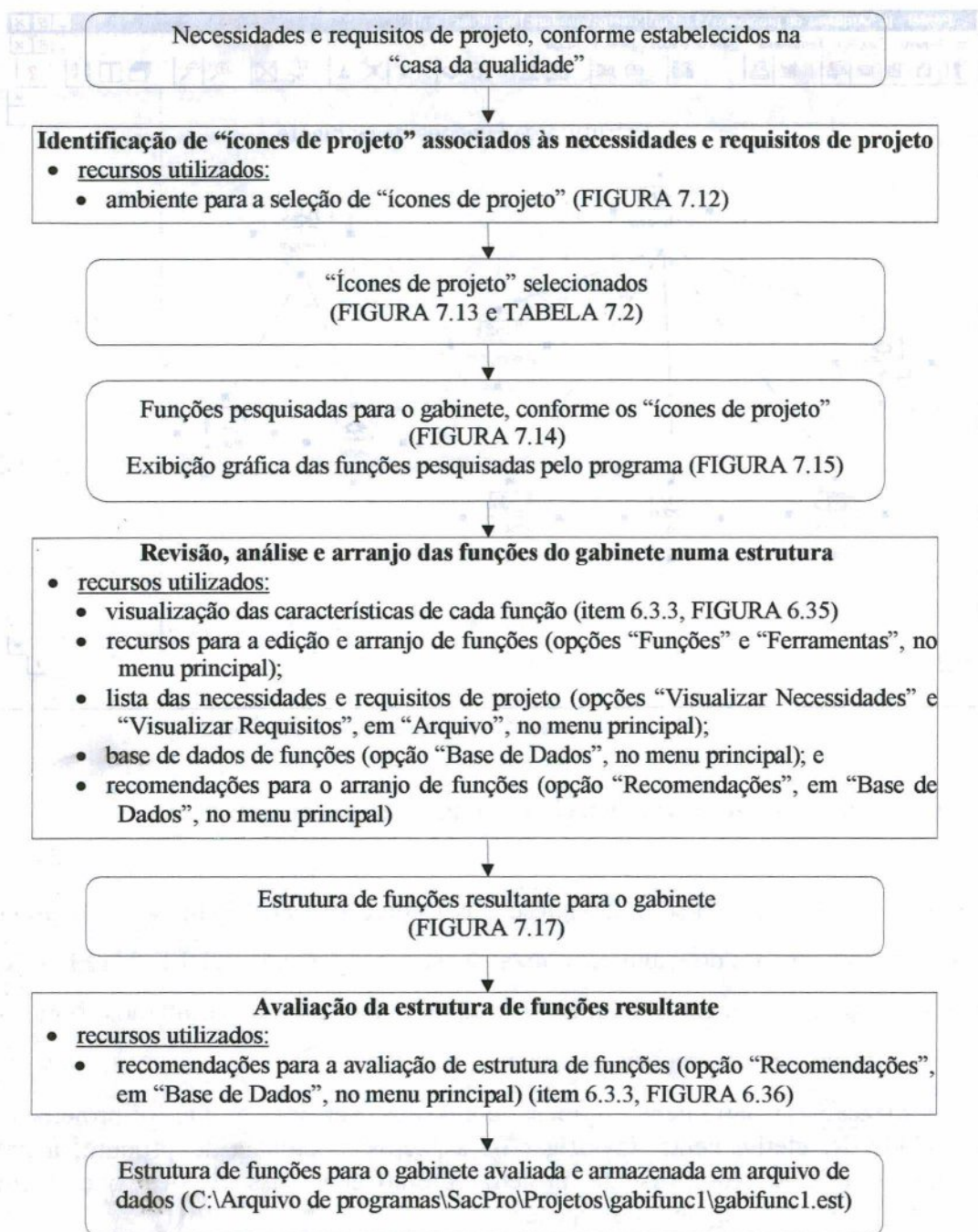


Figura 7.18 - Síntese dos procedimentos, recursos e resultados obtidos no processo de estabelecimento das funções do gabinete, com auxílio do programa PRODEF.

- sobre o arranjo das funções numa estrutura, verifica-se que as relações consideradas (derivada, associada), embora em suas configurações iniciais, possibilitam um caminho para automatização desse processo, ou seja, o de estabelecer atributos/valores (para as funções) orientados às operações de arranjo das funções; deve-se, portanto, em estudos avançados sobre esse tema, conforme já salientado ao final do item 5.3.3, pesquisar demais tipos de relações que poderão existir entre as funções de produtos e implementá-las, seja na forma de recomendações *on-line*, ou através de sistema especialista dedicado à estruturação funcional de produtos;
- sobre a avaliação da estrutura de funções resultante, observa-se, considerando-se os critérios

de avaliação estabelecidos, que é possível derivar algumas conclusões para auxiliar nesse processo; deve-se investigar, em maiores detalhes, parâmetros concretos para “medir” o valor de uma dada estrutura de funções; algumas idéias nessa direção foram apresentadas ao final do item 6.3.3, FIGURA 6.36.

7.3.4 - Estabelecimento de concepções alternativas para o gabinete

Após o estabelecimento da estrutura de funções para o gabinete, conforme descrito no item anterior, iniciou-se o processo de estabelecimento de concepções alternativas, fazendo-se uso dos recursos promovidos pelo programa MMORF. Inicialmente, sob a opção “Arquivo” no menu principal, definiu-se o diretório de trabalho para um novo projeto, denominando-o de “gabimatriz1” (recursos descritos em 6.3.4, FIGURA 6.38).

Após esta operação, procedeu-se, sob a opção “Importar”, em “Funções”, no menu principal, à recuperação do arquivo de dados da estrutura de funções do gabinete, gerada com auxílio do PRODEF. Esse arquivo, nesse caso, encontra-se sob o seguinte “caminho”: C:\Arquivos de programas\SacPro\Projetos\gabifunc1\gabifunc1.est. Diante desta operação, o programa apresenta ao projetista a lista de funções do gabinete, conforme mostrado na FIGURA 7.19.

The screenshot shows a window titled "Matriz Morfológica C:\Arquivos de programas\SacPro\Projetos\gabimatriz1\gabimatriz1.mtz". The menu bar includes "Arquivo", "Funções", "Princípios", "Concepções", "Base de Dados", "Legenda", and "Sobre". A toolbar contains icons for file operations and a "BDP" button. The main area displays a table with two columns: "FUNÇÕES" and "PRINCÍPIOS DE SOLUÇÃO". The "FUNÇÕES" column lists eight items, each with an icon and a label: "reforçar", "conectar/desconectar", "informar", "proteger", "fixar", "arranjar elem.", "enclausurar", and an unlabeled icon. The "PRINCÍPIOS DE SOLUÇÃO" column is currently empty.

FUNÇÕES	PRINCÍPIOS DE SOLUÇÃO
reforçar	
conectar/desconectar	
informar	
proteger	
fixar	
arranjar elem.	
enclausurar	

Figura 7.19 - Funções do produto apresentadas ao projetista após a operação de “Importar Funções”.

Após a recuperação das funções do gabinete acionou-se, sob a opção “Inserir

automático”, em “Princípios”, no menu principal, o mecanismo de busca automática de princípios de solução para as funções do gabinete. Esses princípios encontram-se armazenados na base de dados e estão conforme aqueles descritos no APÊNDICE E da presente tese. O resultado desta operação é mostrado na FIGURA 7.20.

FUNÇÕES	PRINCIPIOS DE SOLUÇÃO			
reforçar	[Diagram]	[Diagram]	[Diagram]	[Diagram]
conectar/desconectar	[Diagram]	[Diagram]	[Diagram]	[Diagram]
informar	DIRETO	FORMA		
proteger	[Diagram]	[Diagram]		
fixar	[Diagram]	[Diagram]	[Diagram]	[Diagram]
arrastar elem				
enclausurar	[Diagram]	[Diagram]	[Diagram]	[Diagram]
vedar	[Diagram]	[Diagram]	[Diagram]	

Figura 7.20 - Matriz morfológica após a busca, na base de dados, de princípios de solução para as funções do gabinete.

A busca por princípios de solução na base de dados se dá através do valor do atributo “Funções associadas” de cada princípio cadastrado (item 6.3.4, FIGURA 6.40). Ou seja, o algoritmo procura, para cada função (nome da função), todos aqueles princípios cujo valor de “Funções associadas” é equivalente, listando seus símbolos na matriz. Nesta, “clizando-se” com o botão direito do *mouse* sobre um dado princípio (símbolo), serão mostradas suas principais características, conforme descrito em 6.3.4, FIGURA 6.52.

Nesse momento, o projetista conta com um “campo” inicial de soluções (princípios de solução) para auxiliar no processo de estabelecimento de concepções alternativas para o gabinete. Diante dessas soluções, e sob os demais recursos do programa, procedeu-se da seguinte maneira:

1º promoveu-se uma “filtragem” na matriz morfológica, conforme as estratégias de eliminação de princípios discutidas em 5.3.4 e sob os recursos descritos em 6.3.4, FIGURAS 6.48 e 6.49; sob tal procedimento, alguns exemplos de associações entre as necessidades e os critérios de eliminação são mostrados, na FIGURA 7.21, pelas “setas” indicadas (estas “setas” não fazem parte das funcionalidades do programa). Resultou desta operação a matriz morfológica, conforme a FIGURA 7.22, cujas “setas” indicam as funções para as quais os princípios de solução foram eliminados;

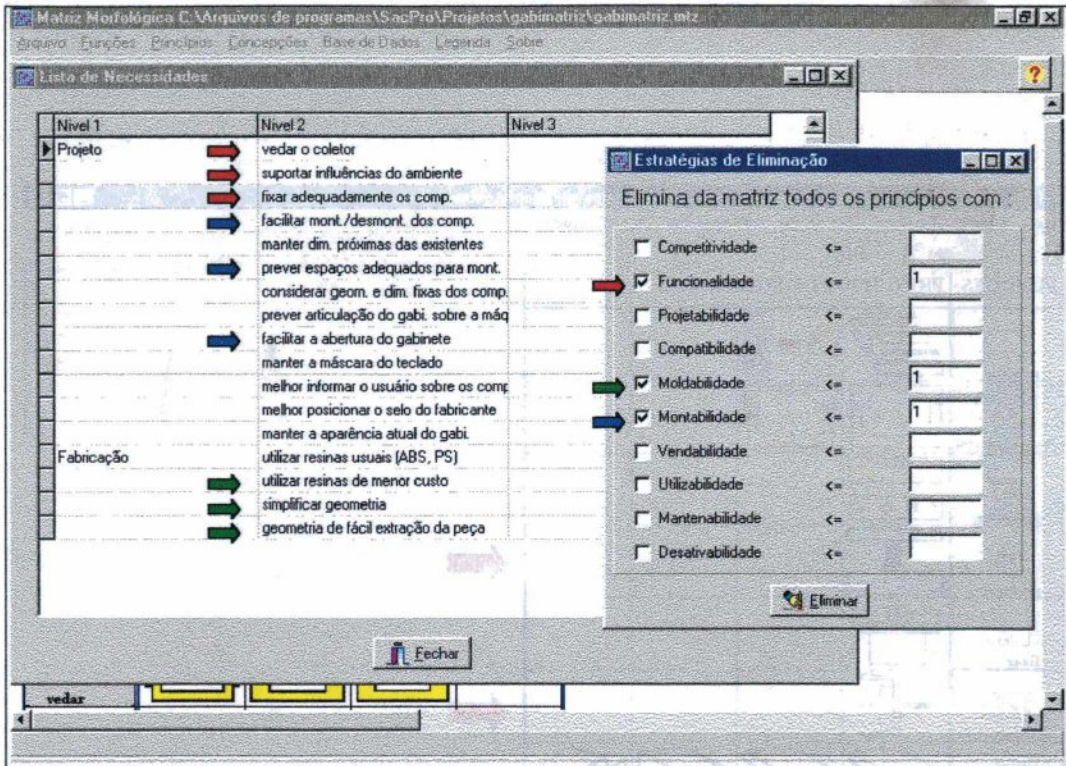


Figura 7.21 - Critérios estabelecidos para eliminação de princípios de solução e suas respectivas associações.

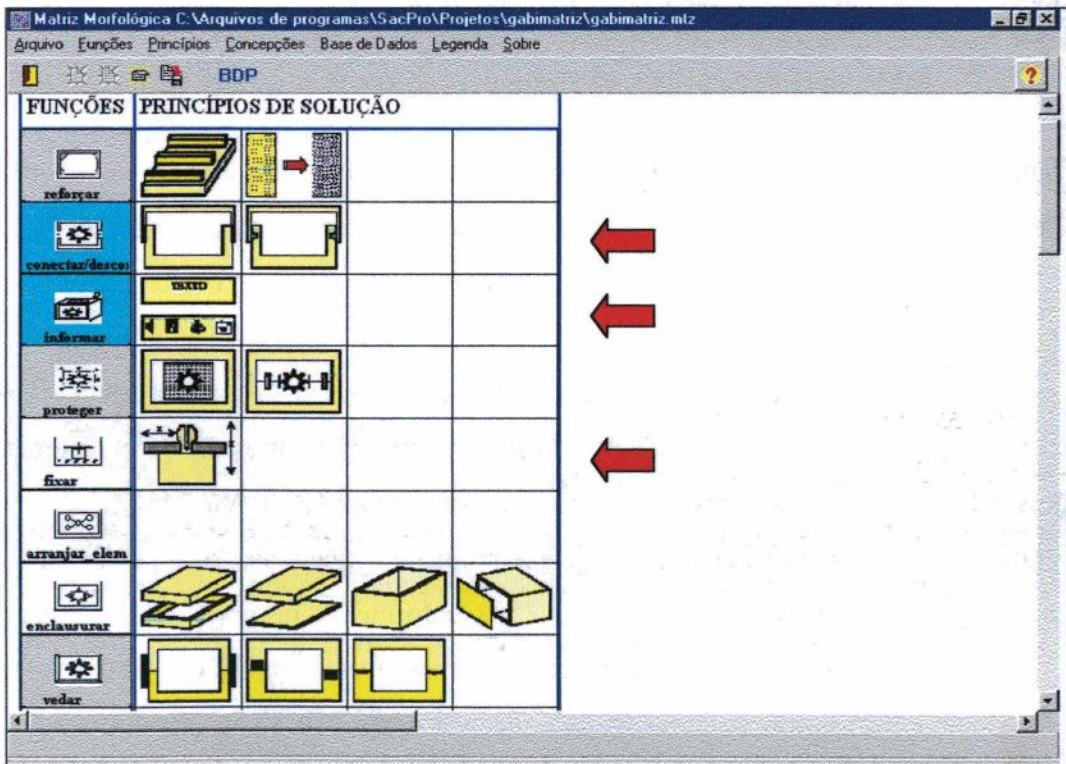


Figura 7.22 - Matriz morfológica resultante após a eliminação de princípios.

2º sob a análise da matriz resultante, conforme a FIGURA 7.22, verificou-se que os princípios para a função *proteger* não são adequados para o gabinete que se apresenta e foram eliminados

manualmente (opção “Princípios”/“Remove”); além disso, devem ser desenvolvidos princípios para a função *arranjar_ele*, para a qual nenhum princípio foi pesquisado na base de dados. Diante dessas observações e desenvolvendo-se novos princípios para as funções mencionadas (recursos descritos em 6.3.4, FIGURA 6.40), obteve-se a matriz, conforme a FIGURA 7.23, a seguir.

FUNÇÕES	PRINCÍPIOS DE SOLUÇÃO			
reforçar				
conectar/desconectar				
informar				
proteger				
fixar				
arranjar elem				
enclausurar				
vedar				

Figura 7.23 - Matriz morfológica após o desenvolvimento e inserção de novos princípios.

Diante da matriz morfológica resultante, conforme a FIGURA 7.23, procedeu-se, sob a opção “Gerar Manual” (combinações), em “Concepções”, no menu principal, à combinação de princípios de solução para configurar as concepções alternativas para o gabinete. Nesse momento, o programa solicita que seja indicado o arquivo de requisitos de projeto, o qual foi gerado com auxílio do programa QFD. Nesse caso, este arquivo encontra-se sob o seguinte caminho: C:\Arquivo de programas\SacPro\Projetos\gabiqfd1\Comos.db. Um exemplo de concepção sendo gerada sob estes procedimentos é mostrado na FIGURA 7.24.

Seguindo-se tais procedimentos, demais exemplos de concepções, os quais foram gerados para o gabinete, são mostrados na FIGURA 7.25. Conforme se observa, cada concepção do gabinete constitui-se numa estrutura, ou conjunto, de princípios de solução, correspondentes às funções do gabinete. Em outras palavras, cada concepção expressa a natureza das soluções que deverão ser consideradas durante a configuração geométrica do gabinete.

Assim, por exemplo, na concepção 1 (FIGURA 7.25), para *reforçar* o gabinete, sob determinados tipos de carregamentos, deve-se utilizar, como princípio, as propriedades dos

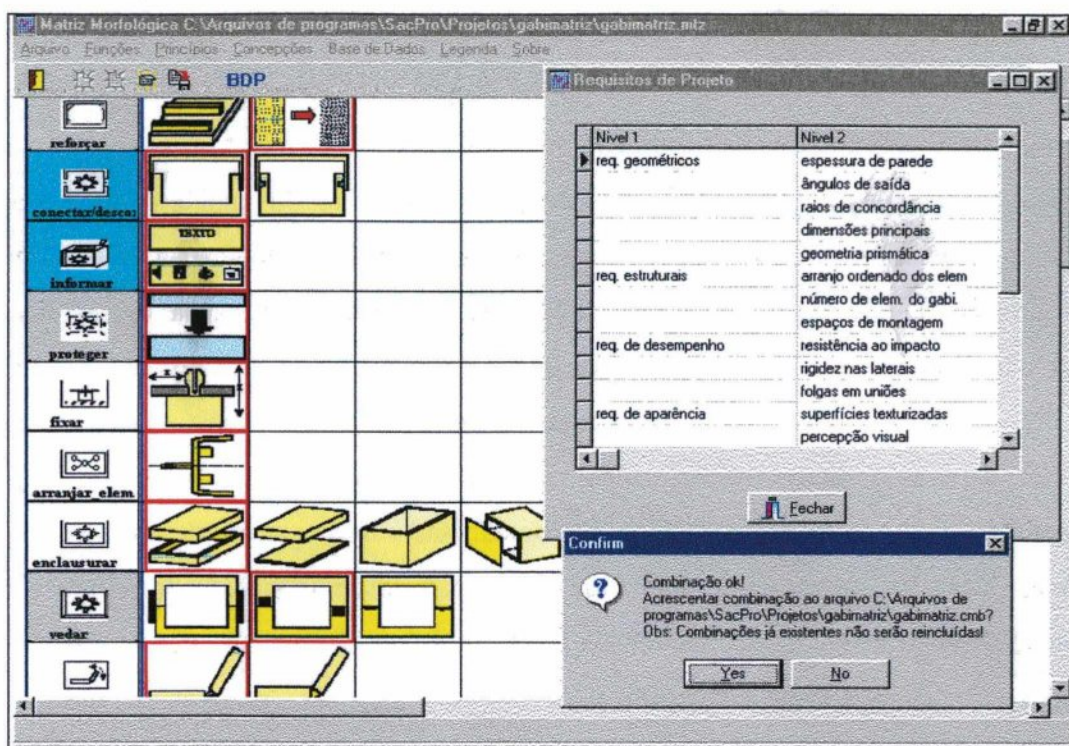


Figura 7.24 - Exemplo de concepção sendo gerada na matriz morfológica.

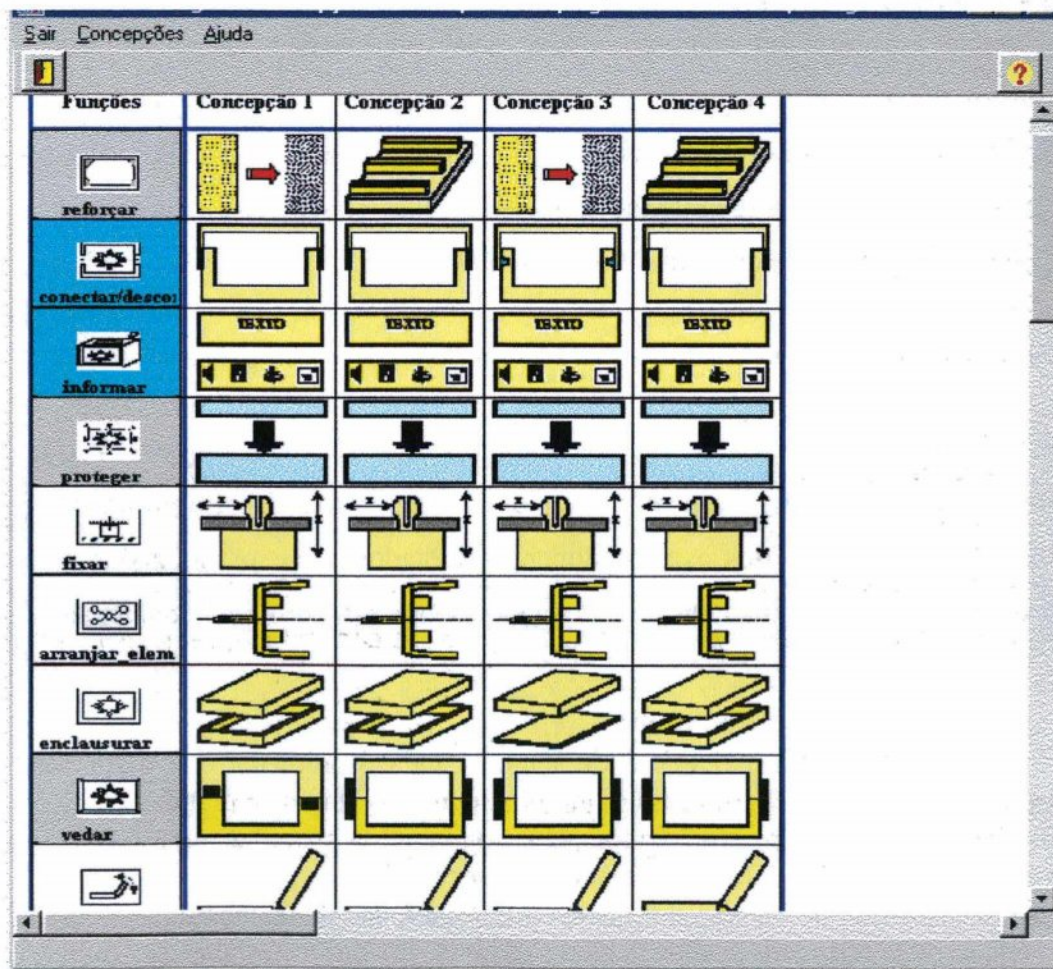


Figura 7.25 - Exemplos de concepções geradas para o gabinete.

materiais, os quais poderão ser empregados para a injeção do gabinete. Da mesma forma, na concepção 1, para *conectar/desconectar* as partes do gabinete, deve-se utilizar conexões que promovam interferência entre as partes do gabinete.

Essas orientações (princípios de solução para as funções do gabinete) proporcionarão uma maneira sistemática, orientada e efetiva para a configuração da geometria de dado produto. Tal configuração, geralmente realizada diretamente sobre uma plataforma de sistema CAD comercial, não se dá, na maioria dos casos, sob as funcionalidades e princípios de solução para o componente. Nesses casos, as possibilidades de esquecimentos ou subestimação de aspectos importantes para o projeto (necessidades, requisitos, funções) são maiores e poderão comprometer o desempenho do componente nas demais fases de seu ciclo de vida.

A evolução na utilização de uma dada concepção do componente para auxiliar em sua configuração geométrica e conduzir as demais fases do projeto dependerá de melhoramentos nas informações associadas a cada concepção e de mecanismos para “integrar” os princípios de solução individuais, numa representação de conjunto. Isso, entretanto, demandará estudos adicionais para padronizar os princípios de solução, “reconhecê-los”, através de algoritmos, e arranjá-los numa estrutura, ou conjunto único. Tais estudos deverão ser considerados em trabalhos futuros.

Diante das concepções alternativas geradas para o gabinete, deve-se proceder no sentido de avaliá-las em conjunto, para se obter indicativos daquelas, ou daquela, mais adequadas para o projeto. Esse processo de avaliação é descrito no item 7.3.5.

7.3.4.1 - Síntese do processo de estabelecimento das concepções do gabinete

Neste item, apresenta-se uma síntese e as principais considerações sobre o processo de estabelecimento das concepções alternativas para o gabinete, utilizando-se o programa MMORF. Na FIGURA 7.26, são resumidos os procedimentos adotados, recursos utilizados e resultados obtidos nesse processo. As principais considerações sobre esse processo, diante dos recursos utilizados, são:

- sob a utilização do programa MMORF, verifica-se que o projetista terá a oportunidade de, efetivamente, estabelecer um “campo” de soluções para o problema e, a partir deste, obter várias alternativas de concepções para o produto de maneira rápida e prática;
- sob a utilização dos recursos promovidos pelo programa, para auxiliar no estabelecimento de concepções alternativas, fazem-se as seguintes observações:
 - o mecanismo de busca automática de princípios de solução na base de dados encontra-se adequado e foi eficiente; deve-se, no futuro, estabelecer outros critérios para esta busca além daquele sob as “funções associadas” de cada princípio;

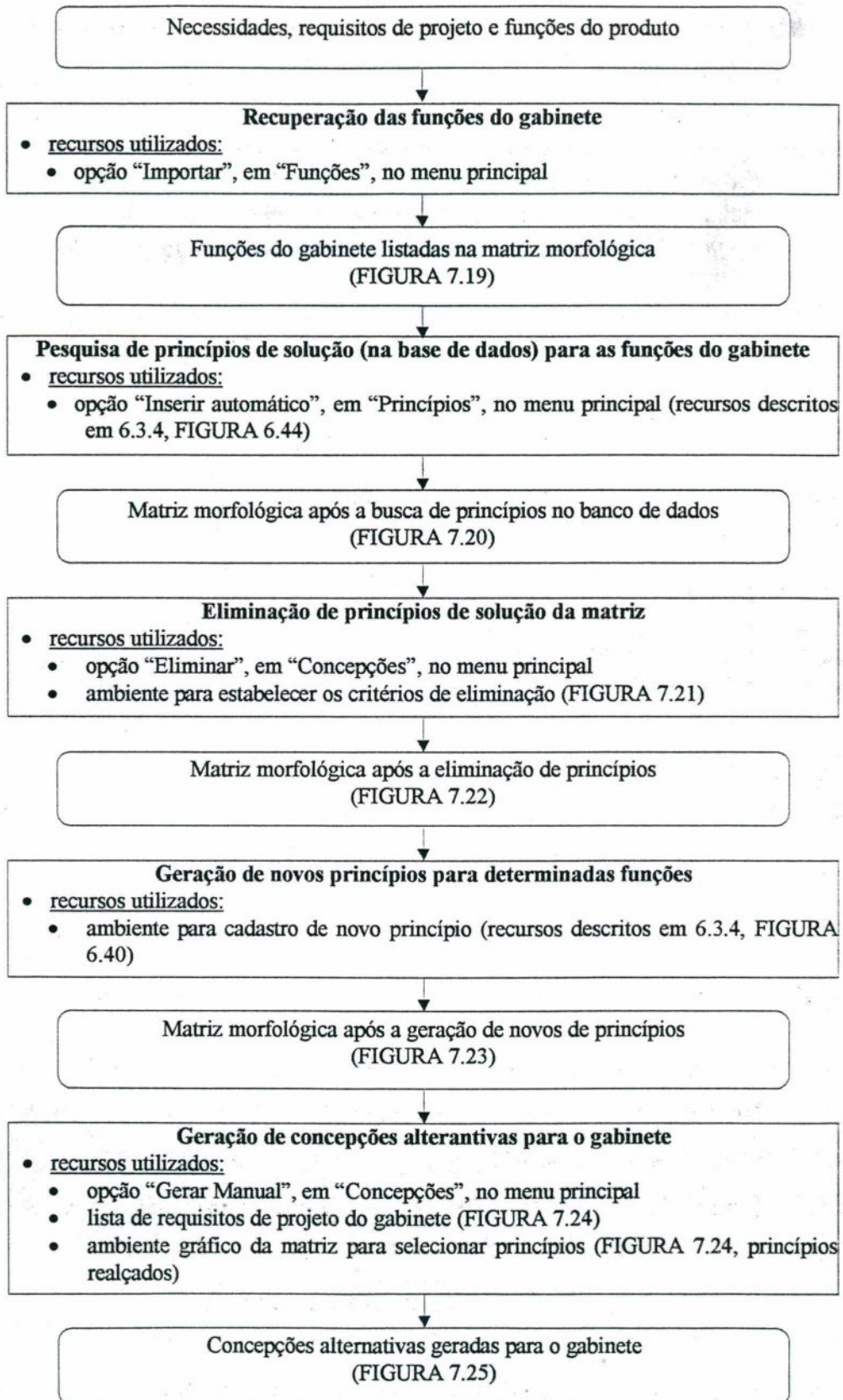


Figura 7.26 - Síntese dos procedimentos, recursos e resultados obtidos no processo de estabelecimento das concepções alternativas para o gabinete.

- o processo de eliminação de princípios constitui-se numa ferramenta que permite considerar as necessidades de projeto para melhor estabelecer os princípios na matriz morfológica; em outras palavras, possibilita que os principais problemas a serem resolvidos (necessidades) sejam efetivamente considerados nesta fase do desenvolvimento da concepção, através de critérios de eliminação (qualidades indesejadas nos princípios);
- a geração de novo princípio mostrou-se eficiente, podendo-se armazená-lo rapidamente sob uma dada estrutura de informações, para utilizá-lo no projeto em questão, ou em futuros projetos;
- a combinação de princípios de solução, em termos operacionais, mostrou-se adequada; entretanto, a utilização da lista de requisitos para auxiliar nesse processo merece estudos adicionais; parece mais adequado considerar, nessa atividade, estratégias (macros) que sintetizem os requisitos de projeto do que utilizar os requisitos de maneira “fragmentada” ou discretizada; neste último caso, serão muitas as variáveis que devem ser consideradas, o que, sem algum mecanismo automático de comparação ou associação, poderá se tornar ineficiente;
- em linhas gerais, essa ferramenta mostrou-se adequada aos propósitos de auxiliar na geração de concepções alternativas para o gabinete; ela “traduz” adequadamente os procedimentos, conforme propostos em 5.3.4, FIGURA 5.14, sob o método morfológico; sua ergonomia deverá ser melhorada, em linhas gerais, quanto à exibição gráfica dos princípios e de informações associadas a cada um deles;
- a evolução dessa ferramenta pressupõe, além da ampliação da base de dados de princípios de solução, estudos adicionais para caracterizá-los, em maiores detalhes, incluindo-se, aí, a proposição de atributos/valores dedicados às operações de combinação automática de princípios; ainda, conforme salientado ao final do item 5.3.4, devem ser pesquisados e implementados “princípios de solução” dedicados aos elementos da manufatura de componentes injetados, tais como aqueles para a moldagem, molde e materiais de injeção.

7.3.5 - Avaliação das concepções geradas

Sob as concepções alternativas geradas para o gabinete iniciou-se o processo de avaliação de cada uma delas, através dos recursos promovidos pelo programa MAVAL. Para tal, procedeu-se, inicialmente, à definição do diretório de trabalho, sob a opção “Novo Projeto”, em “Arquivo”, no menu principal do programa. Esse diretório foi denominado de “gabimaval1”.

Após esta operação e diante dos recursos desta ferramenta, procedeu-se, sob as opções “Importar Concepções” e “Importar Requisitos”, em “Arquivo”, no menu principal, à recuperação das qualidades que caracterizam as concepções geradas para o gabinete e à recuperação dos requisitos de projeto, os quais serão utilizados para o processo de avaliação.

As qualidades que caracterizam as concepções são recuperadas sob o arquivo das concepções geradas para o produto (gabinete), o qual se encontra, nesse caso, sob o seguinte “caminho”: C:\Arquivos de programas\SacPro\Projetos\gabimatriz\gabimatriz.cmb. Já os requisitos de projeto são recuperados a partir do diretório de trabalho estabelecido no programa

QFD (C:\Arquivos de programas\SacPro\Projetos\gabiqfd1\Comos.db) e serão considerados, na opção *default*, sob a classificação tradicional. Nesse caso, optando-se pela reclassificação dos requisitos, deve-se, através da opção “Relacionar”, no menu principal, “setar” a opção “Classificação do Telhado”.

Após essas operações, o programa apresenta ao projetista, a matriz de relacionamento de requisitos e qualidades, conforme mostrado na FIGURA 7.27.

Qualidades das Concepções	Critérios de Avaliação (requisitos de projeto)									
	compatibilidade	funcionalidade	projetabilidade	compatibilidade	moldabilidade	montabilidade	vendabilidade	utilizabilidade	manutenibilidade	desmontabilidade
+ espessura de parede										
+ ângulos de saída										
+ raios de concordância										
+ dimensões principais										
+ geometria prismática										
+ arranjo ordenado dos elem										
- número de elem. do gabi.										
+ espaços de montagem										
+ resistência ao impacto										
+ rigidez nas laterais										
- folgas em uniões										
+ superfícies texturizadas										
+ percepção visual										
- custo do gabinete										

Figura 7.27 - Matriz de relacionamento de requisitos e qualidades que caracterizam as concepções do gabinete.

Diante desses resultados e conforme o método proposto em 5.3.5 e recursos descritos em 6.3.5, FIGURA 6.55, deve-se estabelecer as qualidades desejadas para o gabinete, relacionando-se cada requisito de projeto com as qualidades que caracterizam as concepções. Esses relacionamentos são atribuídos considerando-se a dependência, ou não, de dado requisito, com relação a determinada qualidade. Orientações gerais para tais relacionamentos são como se segue: “+ ou - requisito x será atendido se a qualidade i for considerada na concepção”. Noutra forma, “um produto y cuja qualidade i é considerada proporciona (ou implica) + ou - o requisito x ?”. Os valores para essas atribuições dependerão, em parte, da identificação de dado relacionamento e do quanto esse relacionamento é importante para o desenvolvimento do produto.

Sob essas orientações, por exemplo, tem-se: “+ ângulo de saída será obtido se a

“moldabilidade for uma qualidade considerada na concepção do gabinete” (5); noutra forma, “um produto cuja moldabilidade é considerada proporciona + ângulos de saída”.

Sob tais considerações e exemplos, procedeu-se ao relacionamento das qualidades e requisitos para o projeto em questão. O resultado dessa atividade é mostrado nas FIGURA 7.28, a seguir.

Qualidades das Concepções	competitividade	funcionalidade	projetabilidade	compatibilidade	moldabilidade	montabilidade	vendabilidade	utilizabilidade	manutibilidade	desativabilidade
+ espessura de parede		○								
+ ângulos de saída					●					
+ raios de concordância					●					
+ dimensões principais	○	●				●				
+ geometria prismática										
+ arranjo ordenado dos elem		⊙			⊙					
- número de elem. do gabi.		●			●					
+ espaços de montagem		●				●				
+ resistência ao impacto			⊙							
+ rigidez nas laterais			○							
- folgas em uniões			⊙							
+ superfícies texturizadas										
+ percepção visual		⊙					⊙			
- custo do gabinete	⊙	⊙			●	⊙	●			

Figura 7.28 - Matriz de relacionamento de requisitos e qualidades, após a atribuição dos relacionamentos.

Alguns exemplos dos relacionamentos efetuados, e suas correspondentes justificativas, são como segue:

1. “um produto cuja moldabilidade é considerada em sua concepção proporciona redução de custo”;
2. “um produto cuja funcionalidade é considerada em sua concepção proporciona redução de custo”;
3. “maiores espaços para a montagem serão obtidos se a montabilidade for considerada na concepção”;
4. “melhor arranjo ordenado dos elementos será obtido se a funcionalidade for considerada na concepção”;
5. etc.

Diante dos relacionamentos efetuados, conforme as considerações anteriores e a FIGURA 7.28, o programa calcula o valor de cada concepção (método de valoração em 5.3.5) e apresenta-as ao projetista, conforme a FIGURA 7.29, indicando na parte superior da matriz o valor da concepção (VC). Sob tais resultados obtêm-se indicativos para a tomada de decisão,

Funções	Concepção 1 VC 6,657	Concepção 2 VC 6,570	Concepção 3 VC 6,451	Concepção 4 VC 6,382
reforçar				
conectar/desconectar				
informar				
proteger				
fixar				
arranjar elem				
enclausurar				

Figura 7.29 - Concepções valoradas para o gabinete.

sobre qual concepção será considerada nas demais fases do desenvolvimento do produto. Esse indicativo (VC), conforme o método proposto em 5.3.5, leva em conta a combinação entre os pesos das qualidades desejadas para o produto e os pesos relativos das qualidades na concepção. Demais indicativos poderão ser considerados sob a análise das concepções valoradas e suas principais diferenças (características dos princípios), decidindo-se sobre aquela que orientará a configuração geométrica do produto que se pretende.

7.3.5.1 - Síntese do processo de avaliação das concepções alternativas do gabinete

Neste item, apresenta-se uma síntese dos procedimentos adotados, recursos utilizados e resultados obtidos no processo de avaliação das concepções alternativas geradas para o gabinete sob a utilização do programa MAVAL. Essa síntese, em sua forma gráfica, é mostrada na FIGURA 7.30.

Sob a utilização da ferramenta que se apresenta, conforme resumido na FIGURA 7.30, fazem as seguintes considerações:

- trata-se de uma ferramenta simples e prática que possibilita, sob dado método de valoração, avaliar as concepções geradas para o produto, levando-se em conta os problemas técnicos a serem resolvidos (requisitos de projeto);

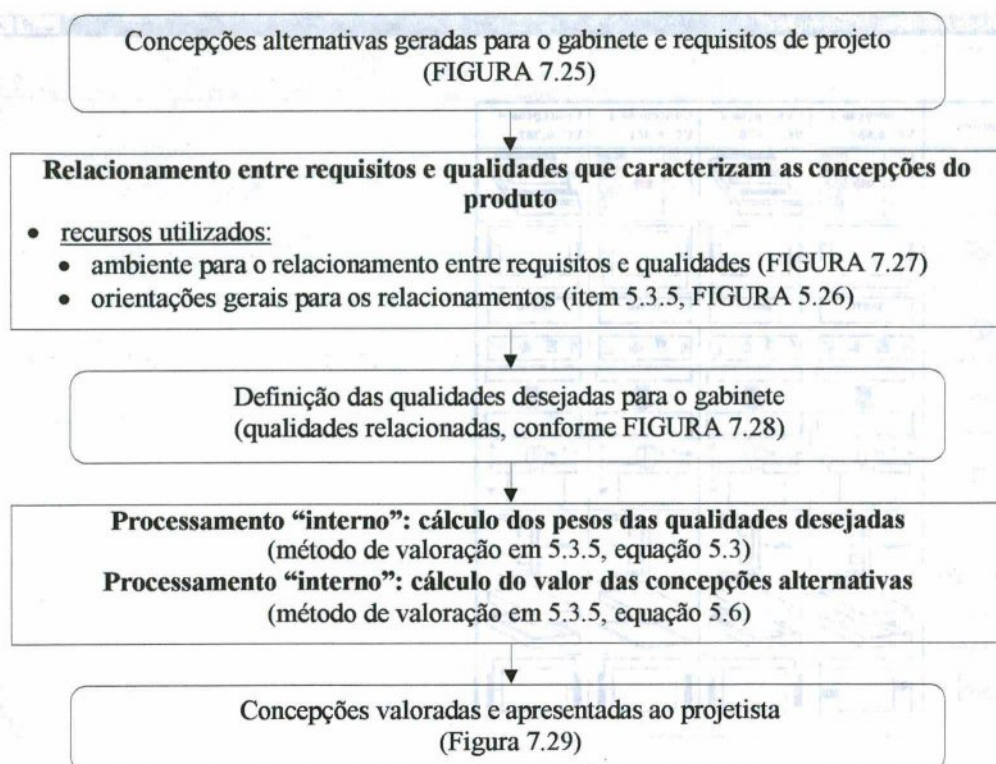


Figura 7.30 - Síntese dos procedimentos, recursos e resultados obtidos no processo de avaliação das concepções alternativas para o gabinete.

- constitui-se, em linhas gerais, numa ferramenta de apoio à tomada de decisão, indicando as concepções mais apropriadas para o problema, considerando a combinação dos pesos das qualidades desejadas para o produto e os pesos relativos das qualidades de cada princípio de solução;
- as potencialidades dessa ferramenta poderão ser melhoradas quanto à “explicação” dos “motivos” que levaram determinadas concepções a serem “melhores” ou “piores” do que outras, possibilitando-se, assim, além de um entendimento abrangente sobre os pontos fortes e fracos de cada concepção, que aquela de maior valor possa ser evoluída em função das características das demais concepções avaliadas;
- além dos aspectos anteriores, deve-se promover, ainda, orientações *on-line*, seja na forma de regras, ou de exemplos, para melhor orientar o projetista, durante a atribuição dos relacionamentos entre requisitos e qualidades, facilitando a determinação daquelas qualidades desejadas para o produto;
- em linhas gerais, entende-se que, através dessa ferramenta e do método de valoração proposto, o projetista obterá subsídios adicionais para melhor decidir sobre qual concepção ele conduzirá nas demais fases do desenvolvimento do produto, tendo-se, em mente, que o resultado desta avaliação corresponde às concepções geradas e valoradas, sob a consideração dos principais problemas a serem resolvidos, conforme estabelecido no estudo da tarefa de projeto.

7.4 - Considerações finais

No presente capítulo apresentou-se um estudo de caso sobre projeto conceitual de um

gabinete de instrumento eletrônico cujo propósito foi o de avaliar as potencialidades e as limitações das ferramentas computacionais propostas na presente tese.

Diante do problema proposto, conduziu-se o projeto conceitual do gabinete, desde o estabelecimento das necessidades até a geração e avaliação de concepções alternativas para ele, resultando num conjunto de concepções valoradas para o problema, na forma de estruturas de princípios de solução para cada uma das funções estabelecidas para o gabinete.

Em cada etapa do projeto conceitual foram descritas e analisadas as principais *funcionalidades* das ferramentas utilizadas, apontando-se os recursos promovidos e as evoluções que se fazem necessárias.

Em linhas gerais, verificou-se que as ferramentas utilizadas mostraram-se adequadas para auxiliar na condução efetiva do processo de concepção de componentes injetados, sob a metodologia proposta, conforme o CAPÍTULO 5, FIGURA 5.28.

A evolução destas ferramentas, conforme considerado em cada etapa do processo de concepção, dependerá, em grande parte, além da sistematização, em maiores detalhes, dos conhecimentos do domínio de aplicação (produtos injetados), do estudo e modelagem, através de regras, por exemplo, de típicos processos de raciocínio, normalmente conduzidos, durante as atividades de concepção de produtos. Tais estudos, entretanto, devido à complexidade e abrangência dos temas que se apresentam, deverão ser conduzidos sob procedimentos particulares prescritos em cada método de projeto considerado.

Sobre as concepções resultantes e valoradas para o gabinete, embora tenham carácter demonstrativo no presente estudo de caso, verifica-se que o projetista dispõe, através dos princípios de solução, para cada função do produto, e das demais informações geradas durante o processo de concepção, de orientações concretas para iniciar a configuração geométrica do produto, possibilitando que essa atividade seja conduzida mais rapidamente, sob um enfoque abrangente, que leva em conta as fases do ciclo de vida do produto.

Como exemplo, nesta direção, admitindo-se a concepção 1 (FIGURA 7.29) como a mais adequada para o gabinete em questão, visualiza-se o processo de configuração geométrica do gabinete, conforme representado na FIGURA 7.31.

De acordo com a FIGURA 7.31, a configuração geométrica do gabinete se dará sob a orientação da concepção gerada, tendo-se em mente o princípio de solução para a função principal do gabinete (*enclausurar* os componentes do sistema técnico). Sob esse princípio (gabinete do tipo *bipartido*), deverão ser configurados os demais princípios de solução, (conforme estabelecidos para as demais funções do gabinete), sob orientação dos requisitos de

projeto. Dessa maneira, entende-se que a configuração do produto será orientada conforme as especificações da tarefa de projeto e considerando-se os principais aspectos do ciclo de vida do produto.

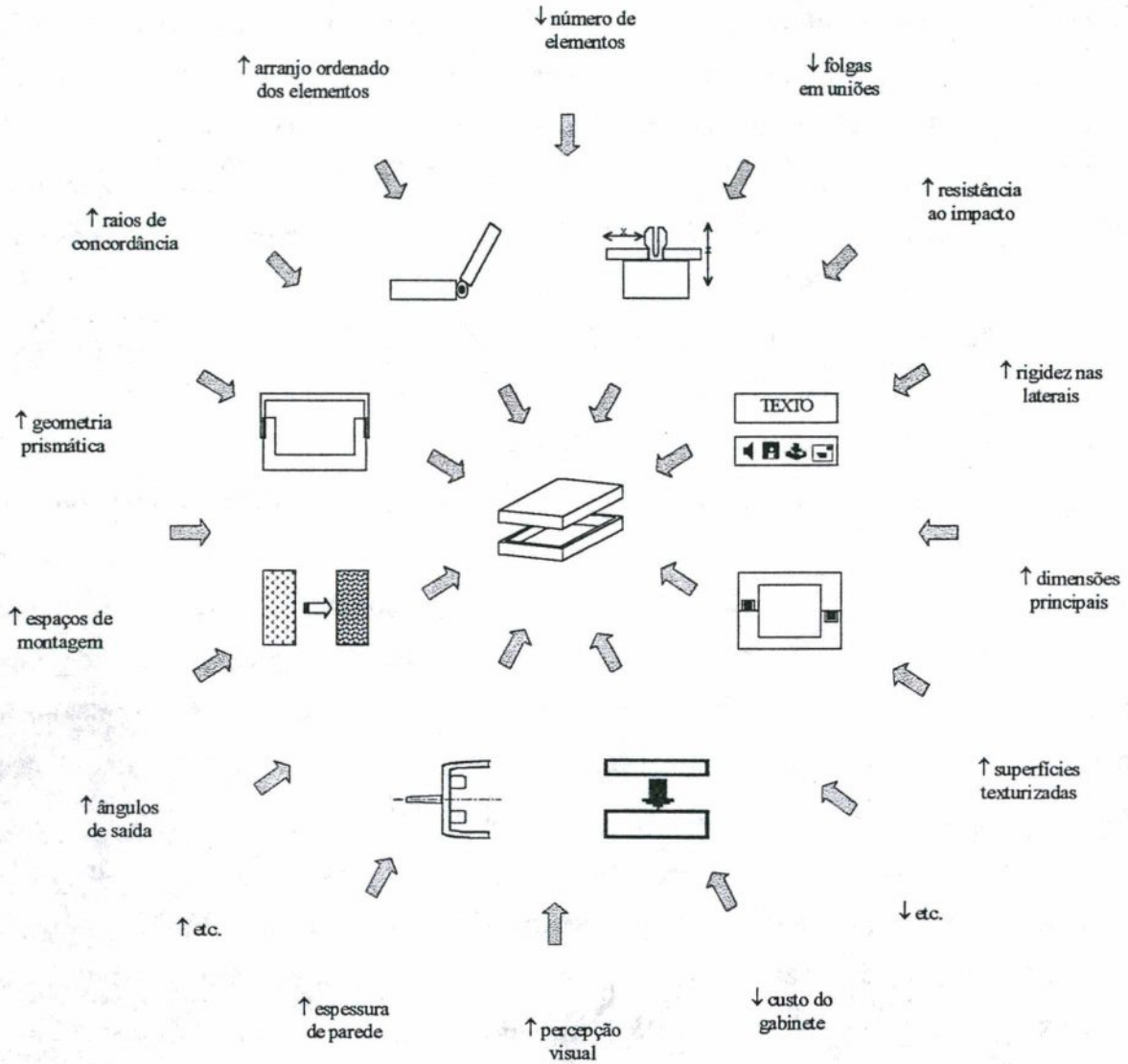


Figura 7.31 - Exemplo de procedimento em direção à configuração geométrica do gabinete orientado pela concepção gerada.

CAPÍTULO 8 - CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

8.1 - Introdução

Em parte, alguns pareceres conclusivos sobre os assuntos e resultados apresentados nesta tese foram estabelecidos durante os estudos que se realizaram nos capítulos e apêndices apresentados, sobretudo no estudo de caso, conforme o **CAPÍTULO 7**.

Cabe aqui, além de uma síntese dos trabalhos realizados, estabelecer as conclusões gerais desta tese, em função dos objetivos traçados, e estabelecer caminhos a serem perseguidos, em futuros trabalhos, sob o tema desenvolvido, visando-se à evolução da metodologia e das ferramentas propostas para o projeto conceitual de produtos injetados. Nesse sentido, são apresentadas, nos itens que se seguem, as principais conclusões e recomendações da presente tese.

8.2 - Conclusões

Esta tese se apresenta, em síntese, na forma de uma investigação geral sobre a natureza do projeto conceitual de produtos, em suas principais fases, focalizada no domínio de produtos injetados, visando-se pôr em prática, através de ferramentas computacionais simples e dedicadas, os princípios, as prescrições e as recomendações de determinados métodos de projeto. As ferramentas implementadas “traduzem” os procedimentos estabelecidos na metodologia proposta para a concepção de componentes injetados e possibilitam conduzir, sistematicamente, esta atividade, desde o estabelecimento das necessidades de projeto até a avaliação de soluções conceituais alternativas para componentes injetados.

Procurou-se, desde o início, que as atividades de concepção de produto, no caso, de produtos injetados, se tornassem efetivas, já que, sob entendimento inicial, a prática do projeto conceitual tem sido relegada, seja pelo valor dado a estas atividades, seja pela formação dos profissionais projetistas, seja, ainda, pela natureza dos projetos normalmente conduzidos na indústria. Entretanto, considerou-se que o motivo relevante da não-efetividade das atividades de concepção de produtos se deve, em grande parte, à carência de ferramentas simples e dedicadas para apoiar e orientar os projetistas durante o desenvolvimento inicial do produto: ferramentas que devem incorporar, em suas funcionalidades, os procedimentos de métodos dedicados ao processo de concepção de produtos.

Conduziu-se, assim, considerando-se, ainda, o propósito de contribuir para a evolução de metodologia para a concepção de produtos, um conjunto de pesquisas orientadas à sistematização do conhecimento para o projeto conceitual de produtos injetados, visando a sua operacionalização através de ferramentas da informática, cujas proposições e resultados foram descritos e apresentados ao longo do texto que se apresenta. Neste contexto, em linhas gerais, considerando-se os resultados obtidos, estabelecem-se as seguintes conclusões:

- 1º a sistemática estabelecida para o projeto conceitual de produtos injetados, seja em sua forma genérica, através dos elementos metodológicos e sua estrutura, seja em sua forma dedicada, através do sistema de métodos para a concepção de produtos injetados, mostrou-se adequada e útil, na medida em que ofereceu subsídios conceituais para melhor definir os caminhos e as diretrizes para a implementação de auxílios computacionais às atividades de concepção de produtos;
- 2º a sistematização de conhecimentos para o projeto de produtos injetados, sob o enfoque da sistemática estabelecida, ou seja, orientada aos métodos de projeto, foi conduzida em maiores detalhes, possibilitando melhor definir e caracterizar, desde o processo de estabelecimento das necessidades até a avaliação de soluções conceituais de componentes injetados, os elementos de informação necessários para implementar ferramentas práticas de apoio à concepção de produtos neste domínio; resultou desta sistematização, em parte, a implementação, de base de dados de questões de projeto, típicas necessidades, atributos de produtos injetados, “ícones de projeto”, funções e princípios de solução que, aliados às demais funcionalidades de cada ferramenta, auxiliam a condução efetiva da concepção de componentes injetados; noutra forma, esta sistematização possibilitou conjecturar e idealizar diferentes mecanismos para “especializar” as ferramentas propostas, visando avançar no apoio ao processo criativo e à tomada de decisão diante dos problemas que se apresentam durante as fases iniciais de desenvolvimento de produtos injetados;
- 3º os caminhos e as diretrizes considerados para a implementação de ferramentas computacionais de apoio à concepção de produtos injetados e os conhecimentos sistematizados deste domínio possibilitaram conceber, de maneira orientada e prática, ferramentas computacionais que “traduzem”, em suas funcionalidades, as prescrições dos métodos considerados para a concepção de componentes injetados; estas ferramentas, na forma de protótipos de desenvolvimento, possibilitam, em função de suas características e funcionalidades, além de melhor suportar o ensino de metodologias para a concepção de produtos, investigar os procedimentos, os conhecimentos, as informações e os mecanismos que se fazem necessários para avançar, cada vez mais, na direção de ferramentas profissionais e aplicáveis no setor industrial;
- 4º devido à abrangência e à complexidade do tema estudado e desenvolvido, embora focalizado ao domínio de produtos injetados, verificou-se que a implementação de sistemas especialistas para as atividades de concepção de produtos deve-se dar considerando-se escopos de implementação dedicados aos procedimentos particulares de cada método implementado; estas constatações foram descritas ao longo do texto associadas às diretrizes e idéias para o desenvolvimento de futuros sistemas especialistas de apoio à concepção de produtos injetados.

Em linhas gerais, a metodologia e as ferramentas que se apresentam sob o sistema SACPRO oferecem recursos à equipe de projeto de componentes injetados para investigar as diferentes implicações relacionadas ao ciclo de vida do componente, a funcionalidade e as alternativas conceituais para o componente, de maneira genérica e abrangente, aumentando-se as

oportunidades de, além de melhorar o entendimento dos problemas que se apresentam, obter soluções melhoradas ou inovadoras para o componente; propósitos normalmente limitados, quando o projeto se inicia ou é conduzido sob soluções prévias ou sob procedimentos voltados diretamente para a configuração geométrica do produto.

Deve-se considerar, ainda, que as limitações das ferramentas propostas, visando consolidar a atividade de projeto conceitual de componentes injetados, deverão ser supridas, conforme já mencionado, sob mecanismos especializados de auxílio à resolução de problemas e de apoio à tomada de decisão, nas diferentes fases do processo de concepção. Em outras palavras, faz-se necessário evoluir estas ferramentas na forma de sistemas especialistas para a concepção de componentes injetados.

Sob tais conclusões, entende-se que os principais objetivos da presente tese foram alcançados, e considerando-se os estudos e as implementações que se fazem necessários para avançar neste campo de conhecimento, descrevem-se, a seguir, as recomendações consideradas importantes para orientar os avanços pretendidos sob as propostas e os resultados desta tese.

8.3 - Recomendações

Conforme mencionado anteriormente, procurou-se, na presente tese, pôr em prática as atividades de concepção de produtos injetados, sob o auxílio de ferramentas computacionais simples e dedicadas. Da maneira como se apresenta, entende-se que o SACPRO contribui para tais propósitos, possibilitando conduzir, passo a passo, sob interfaces simples e fáceis de operar, as atividades de concepção de componentes injetados, desde o estabelecimento das necessidades de projeto até a avaliação de soluções conceituais alternativas para o componente.

Derivado destas contribuições, verificou-se que, sob as ferramentas propostas e suas principais características, há potencial para futuras pesquisas e implementações, visando-se “automatizar” determinados recursos, suportando cada vez mais a equipe de projeto em atividades tais como manipulação de informações de projeto e de auxílio à tomada de decisão.

Para suportar esses avanços, também se fazem necessários estudos adicionais sobre a sistematização de metodologia, de conhecimentos e de processos cognitivos conduzidos pelo projetista, voltados às atividades de concepção de produtos. Dessa maneira, estabelecem-se, a seguir, as recomendações da presente tese, considerando-se aquelas de natureza teórica, bem como aquelas de natureza dedicada às ferramentas propostas e ao domínio de projeto considerado.

- 1º para investigar determinados processos de raciocínio conduzidos pelos projetistas, durante as atividades de concepção de produtos, fez-se uso de alguns modelos que procuram estabelecer como as pessoas reconhecem e processam as informações de dado contexto; embora utilizados em seus princípios básicos e visando-se identificar, caracterizar e estabelecer elementos de informação para suportar a implementação de ferramentas de apoio ao projeto conceitual de produtos, aqueles modelos, entre outros, deverão ser investigados em maiores detalhes sob o enfoque de dado domínio de aplicação, procurando-se “mapear” a natureza das informações utilizadas e relacionadas durante a concepção de produtos; entende-se, sob esta recomendação, um meio de auxílio para definir diretrizes à sistematização de conhecimentos necessários à implementação de ferramentas computacionais dedicadas à concepção de produtos;
- 2º os métodos de projeto considerados e implementados na presente tese caracterizam-se por uma natureza sistemática, em suas prescrições, ou seja, orientam, passo a passo, a definição e a resolução de problemas de projeto; entretanto, existem outros métodos de projeto, de natureza intuitiva, por exemplo, os quais também suportam as atividades do projetista, principalmente sob a condução de processos criativos; entende-se, assim, que tais métodos deverão ser investigados, em maiores detalhes, visando-se “traduzir”, através de recursos computacionais, suas prescrições; embora se esteja distante do desenvolvimento de “máquinas criativas”, conjetura-se a possibilidade de, através de ferramentas computacionais, “assessorar”, suportar ou orientar o processo criativo do projetista, seja através de mecanismos suportados por ferramentas de multimídia, por exemplo, seja através de componentes de estímulo ao processo criativo;
- 3º a natureza das informações tratadas durante a concepção de componentes injetados, sob as ferramentas propostas, caracterizam-se por serem flexíveis em suas representações e registro; em parte, tais características são inerentes à natureza das atividades de concepção de produtos; entretanto, assim como ocorre para as fases mais concretas do projeto (projeto preliminar e detalhado do produto), deve-se investigar, em maiores detalhes, padrões para a representação e armazenamento dos resultados obtidos durante as atividades de concepção de dado produto, ou seja, desenvolver uma estrutura para documentar os resultados do projeto conceitual de dado produto;
- 4º a natureza da concepção desenvolvida para o componente injetado, conforme as propostas da presente tese, ou seja, na forma de uma estrutura de princípios de solução, destina-se à orientação do projetista durante a configuração geométrica do componente, através de ferramentas convencionais de apoio ao projeto; visando tornar esta orientação concreta e efetiva, entende-se que, na forma de evolução da metodologia e das ferramentas implementadas, deve-se, além de padronizar os princípios de solução propostos para as diferentes funções de componentes injetados, desenvolver mecanismos para “reconhecer” e “integrar” tais princípios, numa solução de conjunto, estabelecendo-se, assim, uma “ligação” efetiva entre o projeto conceitual e o início do projeto preliminar do componente;
- 5º as ferramentas implementadas caracterizam-se, em parte, na forma de ambientes e de base de dados que auxiliam a equipe de projeto, desde o estabelecimento das necessidades até a geração e avaliação de soluções conceituais alternativas para o componente; elas foram concebidas sob o enfoque de métodos de projeto dedicados às principais fases da concepção de produtos; entretanto, devido à natureza das atividades de concepção, principalmente em suas fases iniciais (de planejamento e definição da tarefa de projeto) e devido às diferentes situações ou condições que poderão se fazer presentes durante a concepção de dado produto, entende-se que se faz necessário investigar e desenvolver mecanismos ou componentes gerenciais aplicados às ferramentas propostas, ou seja, por exemplo, mecanismos para o acompanhamento das atividades sendo desenvolvidas e resultados sendo obtidos, mecanismos para o compartilhamento de informações entre diferentes equipes de desenvolvimento do produto, mecanismos para traçar estratégias e decidir sobre os melhores caminhos para o desenvolvimento do produto, dependendo do estado de desenvolvimento, entre outros;
- 6º de caráter aplicado enfatiza-se a necessidade de pôr em prática, em diferentes estudos de caso, as ferramentas propostas, visando colher subsídios conceituais e práticos para a evolução das funcionalidades implementadas e extensão de base de dados dedicados ao projeto de produtos

injetados; inclui-se, nesse escopo, o desenvolvimento e a implementação de base de dados relacionados às “soluções conceituais” voltadas à manufatura de componentes injetados (materiais, processo e molde para a injeção).

Em síntese, considerando-se os resultados e as conclusões da presente tese, acredita-se ter contribuído, em linhas gerais, para que o projeto conceitual de produtos possa ser conduzido de maneira efetiva, possibilitando-se, cada vez mais, avançar neste campo de conhecimento, que se faz necessário e se constitui importante para se obterem produtos competitivos, de sucesso comercial e, sobretudo, de qualidade.

APÊNDICE A - Análise crítica sobre a síntese de funções do produto

A.1 - Introdução

A síntese de funções do produto tem sido proposta, na literatura, sob vários enfoques, desde aqueles clássicos, da escola alemã do projeto de engenharia, até aqueles orientados a um dado domínio de aplicação. Algumas dessas abordagens serão analisadas e criticadas, no texto que se segue, para o levantamento de subsídios conceituais à proposição de procedimentos à síntese de funções de produtos de plástico injetados.

A.2 - Síntese de funções segundo a escola alemã de projeto

Segundo PAHL & BEITZ [83], *Hansen, Bishoff, Bock*, entre outros membros da escola de Ilmenau, estabeleceram algumas das bases conceituais onde a problemática funcional do produto começou a ser considerada. Nas proposições de *Hansen (1956)*, por exemplo, o projeto do produto inicia-se com a análise e crítica da tarefa de projeto, resultando em sua especificação. Segue com o estabelecimento de um princípio básico para resolver a tarefa especificada. Este princípio deve ser abstrato e abranger a função global do produto. A segunda fase constitui a pesquisa sistemática por elementos de solução e suas combinações, em meios de operação para o produto. Incluem-se, aí, princípios de operação e princípios de forma. As demais fases procuram evoluir dos meios de operação para um estado otimizado da solução proposta.

Nessa abordagem, embora não explicitamente formulada, introduz-se o conceito de função global do produto, na forma de um princípio básico para a solução da tarefa de projeto. Nota-se, também, que são empregados princípios da divisão do problema em partes de menor complexidade, através da decomposição do princípio básico em meios de operação.

Rodenacker (1970), apud PAHL & BEITZ [83], por sua vez, sob a premissa de que toda a máquina ou sistema técnico deve satisfazer certas funções, através da transformação de grandezas físicas do tipo energia, material e sinal, introduz, explicitamente, a filosofia sobre o projeto funcional do produto, a qual tem sido estudada e desenvolvida por vários autores até o presente. De acordo com YOSHIKAWA [17], as proposições de *Rodenacker* estabeleceram a filosofia da escola semântica de projeto de engenharia, onde as relações entre entradas e saídas do sistema técnico definem sua funcionalidade. Na proposta de *Rodenacker*, as etapas de projeto são estabelecidas conforme a FIGURA A.1.

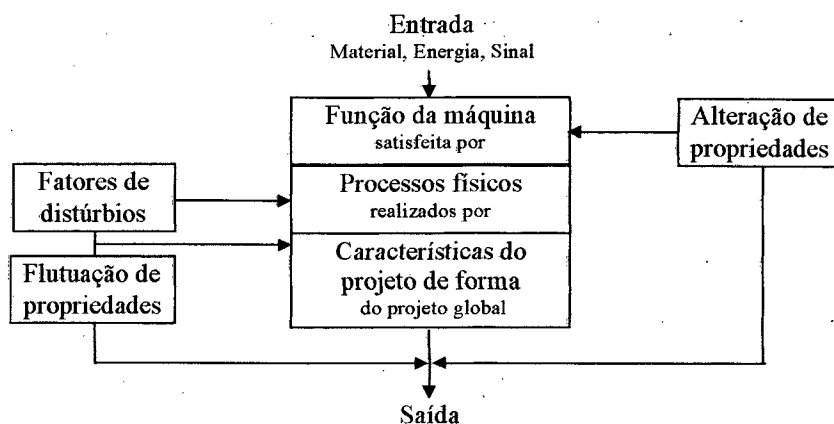


Figura A.1 - Etapas do projeto segundo *Rodenacker (1970)*, apud PAHL & BEITZ [83].

De acordo com a FIGURA A.1, o início do projeto se dá pela abstração e definição de uma estrutura de funções para o sistema técnico. A seguir são pesquisados os processos físicos capazes de resolver as funções definidas. Tais processos são desenvolvidos considerando as formas requeridas para o produto, resultando em seu projeto global. Essas etapas do projeto devem ser realizadas sob as seguintes regras:

- Regra 1: esclarecer a tarefa (os relacionamentos requeridos);
- Regra 2: estabelecer a estrutura de funções (os relacionamentos lógicos);
- Regra 3: escolher os processos físicos (os relacionamentos físicos);
- Regra 4: determinar a configuração (os relacionamentos construcionais);
- Regra 5: verificar os relacionamentos lógicos, físicos e construcionais, através de cálculos apropriados;
- Regra 6: eliminar erros e fatores de distúrbios;
- Regra 7: finalizar o projeto global;
- Regra 8: revisar o projeto escolhido.

Nota-se que as regras de projeto estabelecidas por *Rodenacker* têm sido empregadas, hoje, como processos (subprocessos) do projeto de produtos em várias outras abordagens. Verifica-se, ainda, conforme a FIGURA A.1, que o processo de projeto é estabelecido considerando a evolução do modelo do produto, desde suas funções. As funções, por sua vez, são propostas na forma dos relacionamentos lógicos do produto ou sistema. Para descrever essa lógica o autor propôs as seguintes funções: SEPARAÇÃO (*separation*), CONEXÃO (*connection*) e, para o fluxo de energia, material ou sinal, CONDUÇÃO (*channelling*).

Sob esse nível de abstração, pretende-se que as soluções de projeto sejam concebidas com base em princípios físicos. Essa filosofia parece ter sido derivada do processo de análise e justificativa sobre como os sistemas técnicos funcionam. "Invertendo" esse processo, é possível sintetizar soluções alternativas para o sistema, se se considerarem, inicialmente, suas funções.

Seguindo a escola semântica de projeto de engenharia, inclui-se uma série de outras proposições, tais como aquelas de ROTH [24], KOLLER [25] e PAHL & BEITZ [12], as quais

consideram a síntese de funções na fase conceitual do projeto de produtos.

Na proposições de ROTH [24], por exemplo, o processo de projeto é dividido em três fases principais: formulação da tarefa, fase funcional e fase de configuração (*embodiment*). Na formulação da tarefa o problema de projeto é estabelecido de maneira genérica, incluindo a declaração da tarefa e a declaração das funções do produto, conforme exemplos na TABELA A.1. Nota-se, aqui, que as funções do produto são estabelecidas na forma de pares *verbo/substantivo*, indicando as tarefas que o produto deve realizar durante sua utilização.

Tabela A.1 - Elementos das fases iniciais do projeto (adaptado de ROTH [24]).

Fase de projeto	Tipo de modelo	Exemplo	Elementos do modelo
Formulação da tarefa	Declaração da tarefa	Projeto de produto técnico para elevar automóveis	Frases, sintaxe
	Declaração das funções do produto	Elevar automóvel Manter automóvel elevado Abaixar automóvel	Verbos, substantivos, sintaxe
Fase funcional	Modelo da função global		Material, energia, sinal, diagrama de blocos
	Estrutura de funções genéricas		Funções genéricas, diagrama genérico de fluxo de grandezas
	Estrutura de funções lógicas		Símbolos da lógica binária
	Estrutura de funções especiais		Intensidades, quantidades físicas
....

Na fase funcional, o produto é desenvolvido sob vários modelos de estrutura de funções. Inicia-se pela formulação da função global, na forma de diagrama de blocos, representando a transformação das grandezas de energia, material e sinal. A função global é desenvolvida, posteriormente, na forma de estrutura de funções genéricas, funções lógicas, funções especiais, entre outras, dependendo das necessidades ou interesses no desenvolvimento do produto.

A estrutura de funções genéricas expressa, em maiores detalhes, o fluxo das grandezas de material, energia e sinal; a estrutura de funções lógicas expressa a lógica de funcionamento do produto, durante sua operação, e a estrutura de funções especiais expressa as relações entre as grandezas físicas dos processos envolvidos durante o funcionamento do produto.

De acordo com as proposições de ROTH [24], a estrutura de funções genéricas, além de estabelecer o fluxo das grandezas de energia, material e sinal, pode ser variada sistematicamente

através de operações como, inclusão, exclusão, composição de funções, entre outras, propiciando o estabelecimento de arranjos alternativos e, conseqüentemente, possibilitando a inovação do produto. Além disso, busca-se empregar catálogos de princípios de solução, os quais são construídos para cada função genérica do produto, acelerando, assim, o processo de concepção e possibilitando sua implementação computacional.

Recentemente, ROTH [84] apresentou um trabalho em que estabelece um conjunto de estratégias para tratar com o desenvolvimento de princípios de solução para o produto, através das relações entre funções, efeitos e formas. Essas estratégias, e seus respectivos campos de aplicação, são mostradas na FIGURA A.2. Nessa proposta, o autor reconhece que, na prática de projeto, em função de vários aspectos, incluindo, por exemplo, a preparação dos projetistas para a abstração e o valor, ou interesse, sob determinada tarefa de projeto, são aplicadas diferentes maneiras para resolver os problemas durante suas fases iniciais. Entretanto, o autor salienta que a estratégia I é aquela que apresenta maior abrangência no desenvolvimento do produto e, conseqüentemente, maiores possibilidades para sua inovação.

Relativamente à abordagem de *Rodenacker* (1970), ROTH [24] propõe as seguintes funções genéricas para modelar o produto na forma de estrutura de funções genéricas: TRANSFORMAR (*change*), UNIR (*connect*), CONDUZIR (*channel*) e ARMAZENAR (*store*).

KOLLER [25], por sua vez, estabelece o processo de projeto em quatro fases principais: planejamento do produto, síntese de funções, síntese qualitativa e síntese quantitativa. O planejamento do produto, a partir da análise de mercado, resulta na especificação da tarefa, seguida das necessidades do mercado. Na síntese de funções, por sua vez, os resultados incluem a função total do produto (*Hauptfunktion*), a estrutura de funções parciais (*Teilfunktionen*) e a estrutura de operações básicas (*Grundoperations*).

A função total descreve o sistema na forma de transformação de energia, material e sinal. Resulta da análise da tarefa de projeto, indicando o objetivo do sistema técnico e as principais grandezas envolvidas no processo de transformação. Essa abordagem é similar àquela de ROTH [24]; diferencia-se, em parte, pela especificação das grandezas sendo transformadas. Um exemplo dessa função, conforme BACK [3], é mostrado na FIGURA A.3.

A estrutura de funções parciais consiste no desdobramento da função total em funções que procuram dividir o objetivo do sistema técnico em objetivos mais simples, para os quais podem ser associadas, diretamente (ou não), soluções conhecidas. Uma função parcial é constituída de duas ou mais funções elementares. Se resolvida diretamente, em sua proposição, esta função não necessita ser desdobrada. Caso contrário, deve-se chegar até o nível de funções

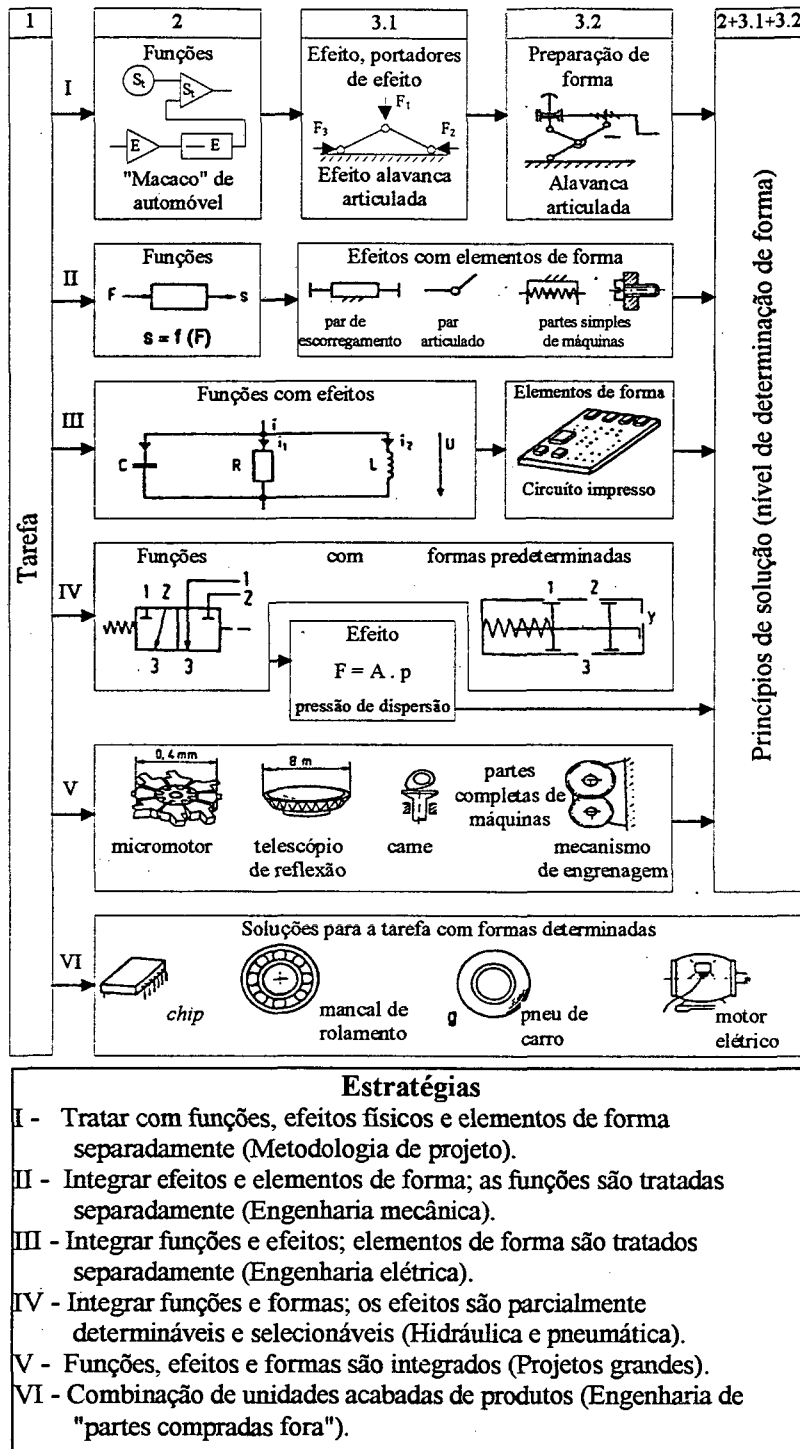


Figura A.2 - Estratégias para o desenvolvimento de princípios de solução, de acordo com o campo de aplicação (ROTH [84]).

elementares. Estas últimas, por sua vez, não são divisíveis e expressam processos físicos elementares do sistema, indicando a natureza das grandezas processadas. A FIGURA A.4, conforme BACK [3], mostra um exemplo de estrutura de funções parciais e elementares, seguindo o desdobramento da função total mostrada na FIGURA A.3.

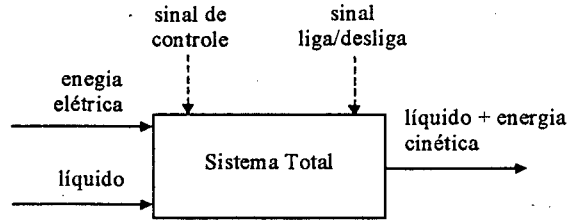


Figura A.3 - Exemplo de função total do produto que descreve um sistema de bombeamento (adaptado de BACK [3]).

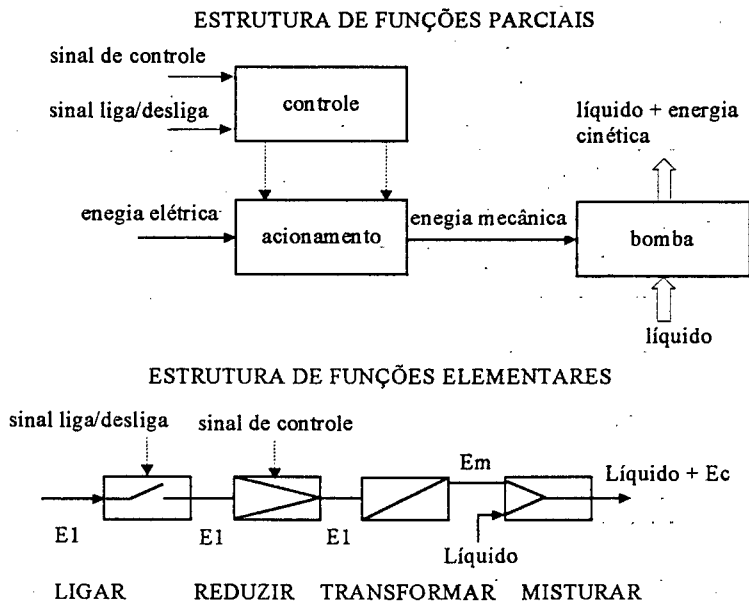


Figura A.4 - Estrutura de funções parciais/elementares de sistema técnico (adaptado de BACK [3]).

A estrutura de operações básicas, segundo KOLLER [25], consiste na abstração das funções parciais/elementares do sistema, generalizando as grandezas sendo processadas. Dessa maneira, podem ser obtidas soluções alternativas para o sistema técnico, variando o arranjo das operações básicas, incluindo o número, a seqüência e a natureza das funções. Um exemplo dessa estrutura e sua variante é mostrado na FIGURA A.5.

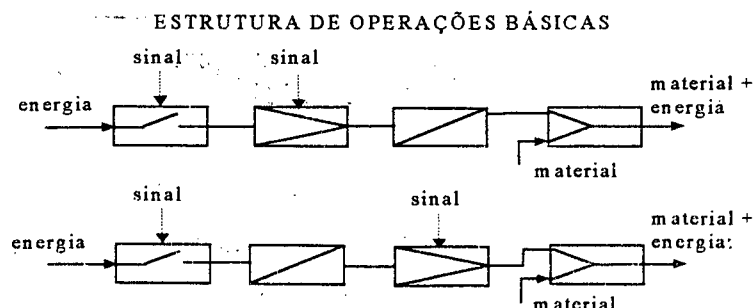


Figura A.5 - Estrutura de operações básicas e sua variante (adaptado de BACK [3]).

Relativamente às abordagens anteriores, *Koller*, apud BACK [3], propõe um conjunto de doze operações básicas, e suas inversas, para descrever abstratamente os sistemas técnicos sendo projetados. Essas operações são: TRANSFORMAR (RETROTRANSFORMAR), AMPLIAR (REDUZIR), MUDAR DIREÇÃO (MUDAR DIREÇÃO), TRANSMITIR (ISOLAR), MISTURAR (SEPARAR), UNIR (DIVIDIR), ACUMULAR (DESACUMULAR), GUIAR (NÃO GUIAR), AGRUPAR (DISPERSAR), LIGAR (INTERROMPER), RETIFICAR (OSCILAR), EMITIR (ABSORVER).

Segue-se à síntese funcional, na proposta de KOLLER [25], a fase de síntese qualitativa do sistema técnico, onde as operações básicas, com ajuda de catálogos de princípios de solução, são resolvidas através da escolha e variação de efeitos e de portadores de efeitos. Os efeitos expressam, em síntese, as leis físicas, químicas ou biológicas, e os portadores de efeito, as possíveis formas, materiais ou elementos construtivos que conduzem ou portam dado efeito. Resulta da síntese qualitativa, variando e combinando os efeitos e portadores de efeito, uma ou mais concepções para o sistema técnico.

Nota-se, ainda, na abordagem de KOLLER [25], que a descrição da função total do produto e da estrutura de funções parciais/elementares constitui-se numa abordagem menos abstrata do que aquela de ROTH [24], uma vez que, nesse caso, considera-se a especificação da natureza das grandezas de energia, material e sinal sendo transformadas. Entretanto, a síntese de funções genéricas (ROTH [24]), ou de operações básicas (KOLLER [25]), apresenta propósitos similares, diferindo no número e tipo de funções consideradas.

PAHL & BEITZ [12], por sua vez, propõem o processo de projeto em quatro fases principais: planejamento e esclarecimento da tarefa de projeto, projeto conceitual, projeto preliminar e projeto detalhado do produto. Sob a fase do projeto conceitual desenvolve-se a síntese de funções do produto.

Segundo os autores [12], a partir da lista de requisitos, ou especificações de projeto, (desenvolvida no planejamento do produto), o projeto conceitual deve iniciar-se com atividades de abstração para identificar os problemas essenciais, estabelecendo-os na forma de uma função global para o produto. Essa função deve expressar os relacionamentos entre as grandezas de entrada e de saída do sistema técnico independente de soluções preconcebidas. É representada, em geral, através de par *verbo/substantivo*, indicando o que o sistema técnico deve fazer. Procura-se caracterizar, também, a natureza das grandezas de entrada e de saída do sistema técnico. A FIGURA A.6 mostra um exemplo dessa representação.

Tabela A.2 - Funções genéricas para o desenvolvimento da estrutura de funções de sistemas técnicos (*Krumhauer (1974), apud PAHL & BEITZ [12]*).

Característica da grandeza de Entrada (E)/Saída (S)	Função genérica	Símbolo	Explicação
Tipo	TRANSFORMAR		Tipo da grandeza de E e S diferem
Magnitude	VARIAR		E < S E > S
Número	UNIR		número de E > S número de E < S
Lugar	CONDUZIR		Lugar de E ≠ S Lugar E = S
Tempo	ARMAZENAR		Tempo de E ≠ S

para o problema de projeto e, conseqüentemente, ampliar as oportunidades de inovação ou melhoramento do produto. Um resumo da evolução da solução do produto, desde as funções genéricas, pode ser observado na FIGURA A.8.

Subfunção	Efeito físico (independente de solução)	Princípio de operação para uma subfunção (efeito físico, características geométricas e de material)
	<p>Atrito</p> $F_f = \mu \cdot F_N$	
	<p>Alavanca</p> $F_A \cdot a = F_B \cdot b$	
	<p>Expansão</p> $\Delta l = \alpha \cdot l \cdot \Delta \theta$	<p>Tira bi-metálica</p>

Figura A.8 - Síntese do processo de solução de funções genéricas do produto, conforme PAHL & BEITZ [12].

Diversas outras abordagens que tratam sobre o estabelecimento das funções do produto e sua estrutura têm seguido, de maneira geral, as filosofias dos autores analisados anteriormente. Incluem-se, aí, por exemplo, os trabalhos de HUNDAL [85], [86] e FIOD [10], porém com enfoques na implementação de auxílios computacionais à síntese de funções do produto. Em linhas gerais, as propostas apresentam características semelhantes, diferindo com relação aos

tipos e natureza dos modelos para representar as funções do produto.

Em resumo, a filosofia do projeto funcional de produtos, segundo da escola alemã do projeto de engenharia, pode ser estabelecida conforme o modelo genérico da FIGURA A.9. Nesta, o projeto conceitual do produto consiste, num primeiro momento, de atividades de síntese e abstração da tarefa de projeto, resultando numa função global para o produto. Essas atividades têm o propósito de identificar os problemas essenciais de projeto, desconsiderando detalhes ou características que possam conduzir às soluções preconcebidas para o produto. Isto não implica, porém, que sistemas técnicos conhecidos ou similares, para resolver a tarefa de projeto, não possam ser considerados na síntese da função global. De fato, o são. Entretanto, na medida em que se procura abstrair os detalhes de projeto, propiciam-se meios para o desenvolvimento de soluções alternativas, aumentando-se as chances de inovação e melhoramento do produto.

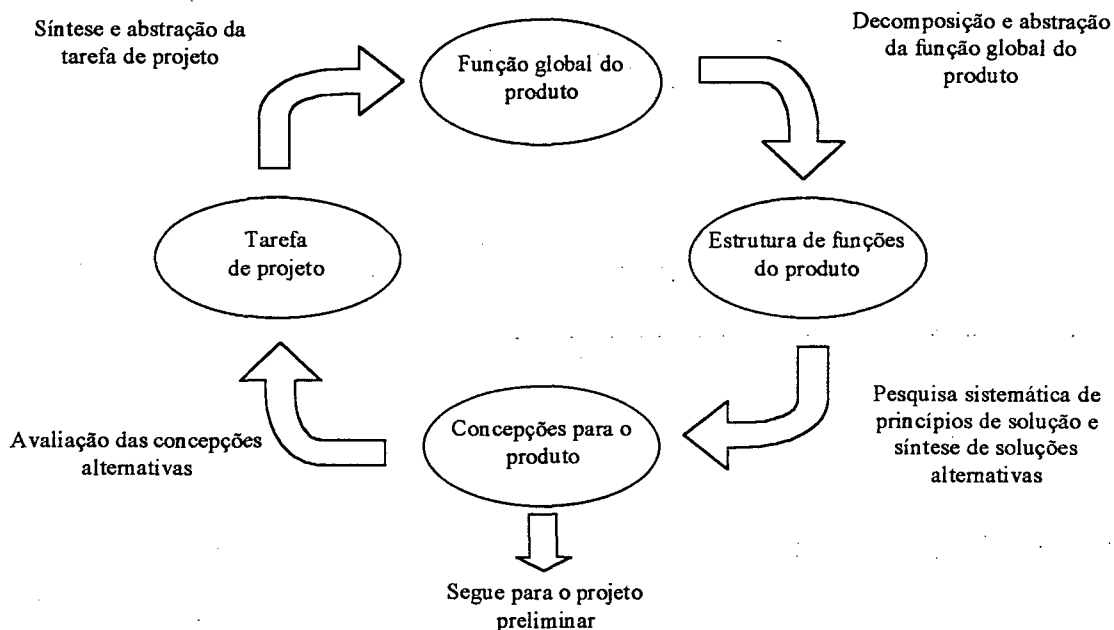


Figura A.9 - Síntese das abordagens de projeto conceitual do produto, segundo a escola alemã de projeto de engenharia.

Seguindo a função global realizam-se processos de decomposição e abstração, com o propósito de dividir o problema em partes de menor complexidade, preservando, porém, a natureza abstrata do problema. Procura-se, também, nessa etapa, obter soluções alternativas para o produto, variando a estrutura de funções. Pretende-se, ainda, estabelecendo o produto na forma de funções genéricas, algoritmizar o processo de solução subsequente, através da pesquisa de princípios de solução em catálogos de projeto.

Na pesquisa sistemática de princípios de solução, cada função genérica do produto é

resolvida individualmente. Resulta, daí, um campo de soluções para o produto, viabilizando a síntese de concepções alternativas. Os princípios de solução são configurados, em geral, através de efeitos e portadores de efeitos, os quais representam, por exemplo, leis físicas e características de forma, respectivamente.

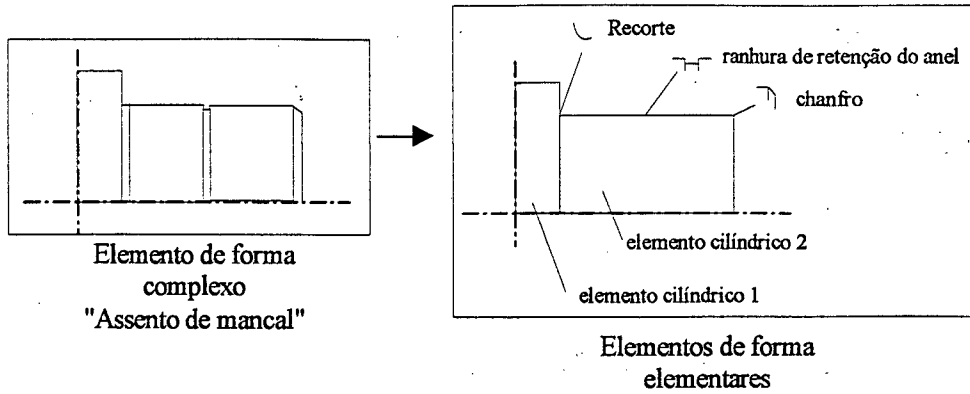
Sob o campo de soluções para o produto, cada princípio de solução é combinado, sistematicamente, com os demais, considerando o arranjo da estrutura de funções e critérios de combinação; geralmente técnicos e econômicos. Deste processo resulta um conjunto de concepções alternativas para o produto, as quais são confrontadas, ao final, com as especificações da tarefa de projeto.

Embora simples, em sua essência, essa filosofia de projeto apresenta certas dificuldades, principalmente quando se trata do projeto de produtos, onde o fluxo de grandezas de energia, material e sinal não são diretamente evidentes, tais como no projeto de componentes de plástico injetados. Nesse caso, os produtos projetados são componentes individuais, ou parte de sistemas maiores, cujas funções são definidas, em geral, pelas entidades geométricas que o componente apresenta. Adicionalmente, o nível de abstração considerado nas abordagens clássicas confronta, em parte, com o modo natural como os projetistas de produtos de plástico injetados percebem ou entendem determinadas soluções de projeto, propiciando a não-efetividade dos procedimentos prescritos. Dessa maneira, entende-se que, para a síntese de funções de produtos de plástico injetados, a partir de necessidades e requisitos de projeto, a aplicação das abordagens clássicas, principalmente com relação à representação das funções e seus níveis de abstração, não é direta. São necessários estudos adicionais para definir e caracterizar as funções daquele domínio, além de meios para melhor suportar esta síntese.

A.3 - Demais proposições para a síntese de funções do produto

Analisa-se, a seguir, um conjunto de outras propostas orientadas à síntese de funções do produto, incluindo-se aquelas que relacionam função e forma, aquelas orientadas à análise do valor e aquelas dedicadas ao domínio de produtos de plástico injetados.

SCHULTE & WEBER [87], por exemplo, considerando, também, que as abordagens funcionais clássicas tratam com funções num nível muito abstrato para representar produtos, propõem um conjunto de funções mais concretas (funções técnicas), relacionando-as às formas dos produtos técnicos e considerando-as sob diferentes fases do ciclo de vida do produto. Um exemplo desta proposta é mostrado na FIGURA A.10.



Elemento de forma elementar	Funções de projeto (básicas)	Funções de resistência	Funções de montagem	Funções de manufatura
Elemento cilíndrico 1	Suportar forças axiais e movimentos relacionados		Bloquear o movimento durante a operação de montagem do mancal de rolamento	
Elemento cilíndrico 2	Comprimento construtivo Suporte de forças radiais e movimentos relacionados			
Chanfro			Centrar o mancal de rolamento durante o processo de montagem	Estabelecer uma forma definida na aresta
Ranhura	Assentar um anel de retenção para suportar forças axiais e movimentos relacionados			
Recorte		Diminuir o fator de redução da resistência à fadiga com relação à transição de diâmetro		Propiciar saída para a ferramenta de retífica

Figura A.10 - Exemplo de funções técnicas associadas aos elementos de forma do produto [87].

De acordo com a FIGURA A.10, verifica-se que as funções do produto são estabelecidas, em parte, pela "justificativa" da existência de determinado elemento de forma ou entidade geométrica, sob diferentes aspectos, incluindo, aí, as fases do ciclo de vida do produto. Essa maneira de raciocinar e identificar funções de produtos parece se encontrar mais próxima daquela normalmente empregada na indústria. Entretanto, essa abordagem se aplica à análise das funções de produtos existentes. Questões relacionadas com a identificação das funções do produto a partir das especificações da tarefa de projeto e com o arranjo destas, numa estrutura que oriente a síntese de soluções, não têm sido investigadas pelos autores [87].

Outra abordagem que tem sido apresentada na literatura considera o princípio da "causalidade vertical" para a decomposição das funções de um sistema técnico. Proposto por Hubka (1976), apud BURR [88], esse princípio estabelece que a decomposição de uma função particular em subfunções somente é possível quando um meio é escolhido para realizar aquela função. O meio é entendido, nesse caso, como uma designação geral para as soluções de sistemas técnicos, isto é, um princípio técnico, um componente, um subsistema, um processo,

entre outros, os quais realizam as funções requeridas. Essa abordagem tem sido empregada sob a representação de uma "árvore de funções/meios", conforme o exemplo da FIGURA A.11.

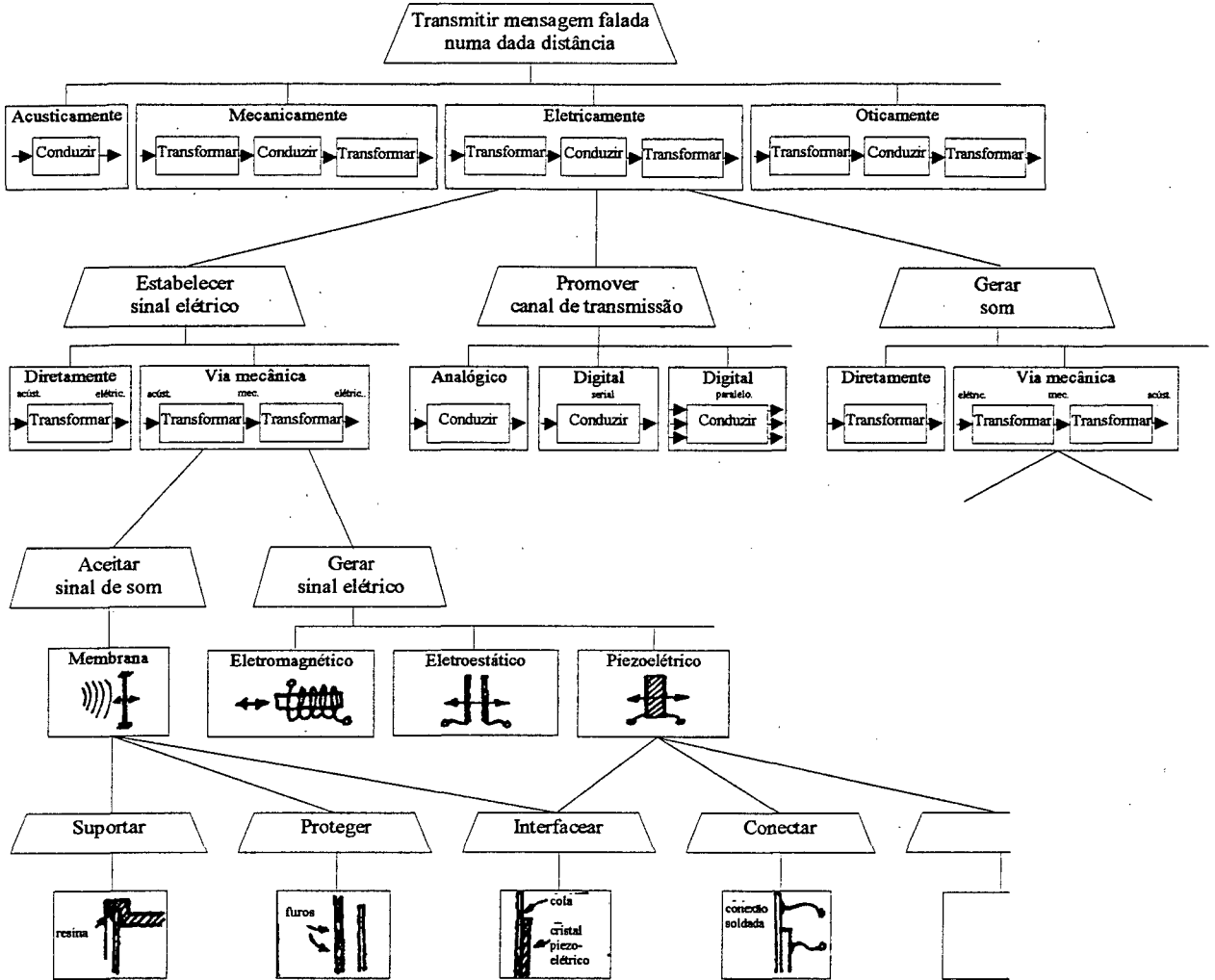


Figura A.11 - Exemplo parcial de uma "árvore de funções/meios" de um sistema telefônico [88].

Nota-se que a abordagem da "causalidade vertical" é semelhante àquela de SCHULTE & WEBER [87], na medida em que a identificação de uma dada função se dá pela associação com uma solução conhecida. Nesse caso, porém, as soluções (meios) são consideradas num sentido mais abrangente e não apenas como elementos de forma ou entidades geométricas de um produto técnico, mas como processos técnicos, princípios técnicos, entre outros.

Verifica-se, entretanto, que a problemática relacionada à identificação das funções do produto a partir das especificações de projeto e orientações concretas para se estabelecerem os relacionamentos entre as funções, ou seja, sua estrutura, ainda não tem sido contemplada. Outro aspecto que não fica claro nessa abordagem é sobre a geração de alternativas de solução para o problema, uma vez que as funções são determinadas a partir de soluções técnicas conhecidas.

Deve-se variar estas soluções? Deve-se eliminá-las da árvore de funções/meios e procurar soluções alternativas para as funções resultantes? Essas questões não se encontram devidamente respondidas.

Sob o enfoque do reprojeto de produtos, HASHIM et al. [89] propõem uma abordagem funcional baseada em "grafos conceituais" para representar as funções do produto e as entidades de projeto. Nesse caso, a função é definida como um propósito ou relacionamentos entre entidades de projeto. Uma entidade de projeto, por sua vez, pode ser um produto, um subsistema, um componente ou uma *feature*.

Os grafos conceituais são meios para representar modelos mentais sobre determinadas entidades e suas relações, visando significá-las. Empregam-se símbolos para representar conceitos e relações, conforme exemplo na FIGURA A.12.

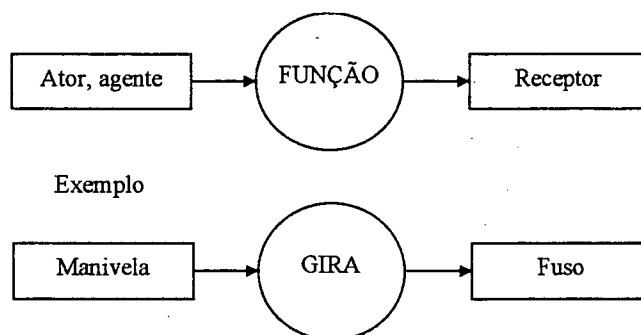


Figura A.12 - Exemplo da representação de entidades e seus relacionamentos através de grafos conceituais [89].

De acordo com a FIGURA A.12, os retângulos representam as entidades de projeto, enquanto o círculo, representa o relacionamento funcional entre aquelas entidades. Nesse caso, as entidades de projeto que desempenham a função são chamadas de "functores" (atores ou agentes de uma função) e aquelas sobre as quais a função está sendo aplicada, de "acceptores" (receptor de uma dada função).

Sob essa proposta, os autores [89] têm identificado um conjunto de funções primitivas para relacionar as entidades de projeto. Essas funções e suas características são mostradas na TABELA A.3.

Nesse caso, a identificação de funções do produto se dá pela análise dos relacionamentos entre as entidades de projeto, considerando as funções primitivas, tais como aquelas da TABELA A.3. De forma similar às abordagens anteriores, o processo de síntese de funções não é contemplado nesta proposição. Por outro lado, as funções sistematizadas pelos autores fornecem alguns subsídios conceituais para a caracterização de típicas funções de produtos de dado

Tabela A.3 - Funções primitivas que relacionam entidades de projeto, segundo HASHIM et al. [89].

Função	Sinônimos	Considerações	Relacionamentos
SUPORTAR (<i>support</i>)	<i>carry, mount</i>	Suportar parcialmente, ou no todo, o peso de uma entidade de projeto	Contato
SEGURAR (<i>hold</i>)	<i>fasten, join, fix, attach</i>	Similar a suportar, mas realizada utilizando solda, parafusos, cola, etc.	Ligação rígida
POSICIONAR (<i>locate</i>)	<i>position</i>	Posicionar uma entidade de projeto	Restrição
RESTRINGIR (<i>constrain</i>)	<i>limit, restrain, restrict</i>	Restringir por força	Restrição
VEDAR (<i>seal</i>)	<i>contain, store</i>	Evitar o fluxo de líquidos ou gases de um lugar para outro Fechar hermeticamente	Restrição Ligação rígida
COBRIR (<i>cover</i>)	<i>house, shield</i>	Encobrir e proteger uma entidade de projeto Envolver a função de suporte	Contato
ACIONAR (<i>drive</i>)	<i>push, transmit force, propel</i>	Ambos, o objeto e o sujeito se movem	Contato
GUIAR (<i>guide</i>)		Controlar o movimento ou curso de uma entidade de projeto. Implica no sujeito estacionário e o objeto em movimento	Restrição
PRENDER (<i>clamp</i>)	<i>grasp, grip, secure</i>	Realizada utilizando um dispositivo mecânica com garras móveis	Ligação rígida
ACOPLAR (<i>couple</i>)	<i>connect, link</i>	Duas entidades que se conectam com tendência à rotação	Ligação rígida

domínio. Tais subsídios consistem, por exemplo, nos atributos empregados para caracterizar as funções, tais como sinônimos associados a dada função e tipo, ou natureza, dos relacionamentos que a função representa.

Sob um enfoque mais abrangente e sistêmico, encontram-se propostas para a síntese funcional do produto que consideram princípios da Análise do Valor. Essa abordagem foi proposta, segundo CROW [90], por *Lawrence Miles*, engenheiro do setor de desenvolvimento de produtos da *General Electric, USA*, em 1947, como um método para melhorar a qualidade de produtos considerando seus valores. O valor do produto, nesse caso, é definido como a relação entre sua função e custo ($\text{Valor} = \text{Função} / \text{Custo}$). Dessa maneira, o valor do produto para o consumidor pode ser melhorado não apenas pela minimização de seus custos, mas pela maximização de suas funções.

Sob esse método, as funções do produto são definidas como funções básicas e funções secundárias. Uma função básica é "qualquer coisa que faz o produto operar (*work*) ou vender (*sell*)". Ela estabelece as características primárias do produto ou serviço para atender aos requisitos do consumidor. Em princípio, uma função definida como básica não pode ser alterada. Uma função secundária, por sua vez, é definida como uma "função de suporte", descrevendo a maneira pela qual a função básica é implementada. As funções secundárias podem ser modificadas, ou eliminadas, para reduzir os custos do produto. Como exemplo, considerando genericamente um veículo, uma função básica poderia ser "*transportar pessoas*" e uma função secundária, "*controlar automaticamente a pressão dos pneus*".

Sob essa abordagem, as funções do produto são estabelecidas ou representadas na forma de pares *verbo/substantivo*. Sua identificação se dá através de um conjunto de questões investigativas sobre o problema sendo estudado. Para definir o *verbo*, por exemplo, procura-se responder a questões do tipo: "o que deve ser feito?" ou "o que isto faz?". Para estabelecer o *substantivo*, a questão investigativa é: "sobre o que deve ser feito?".

A técnica FAST (*Functional Analysis System Technique*) é uma evolução do método de Análise do Valor. Essa técnica descreve um item ou sistema sendo estudado através de um diagrama, proporcionando ao grupo de desenvolvimento linguagem e entendimento comum dos problemas, na forma das funções que aquele item ou sistema desempenha. O diagrama FAST é construído sob duas dimensões principais: horizontal e vertical. Na dimensão horizontal, as funções são determinadas, e logicamente organizadas, sob as questões COMO e POR QUE e, na dimensão vertical, sob a questão QUANDO (nesta, estabelecem-se as relações de causa e efeito entre as funções). Um exemplo desse diagrama é mostrado na FIGURA A.13.

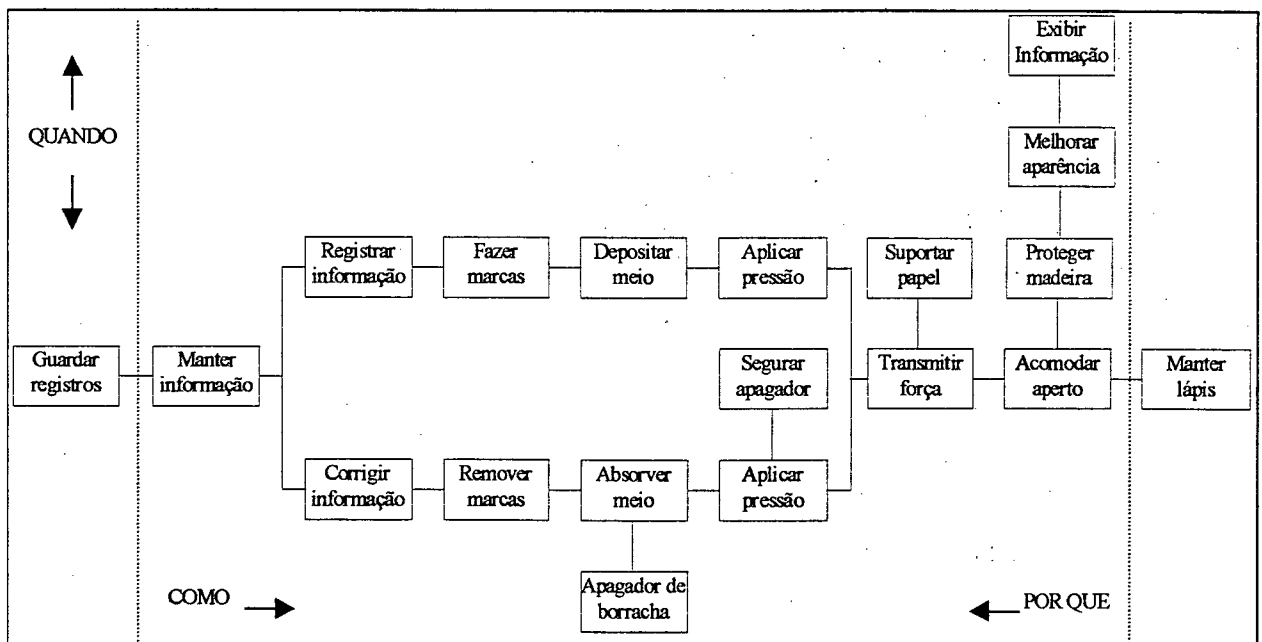


Figura A.13 - Diagrama FAST para análise de um lápis [90].

A abordagem de Análise do Valor e Técnica FAST foram propostas, em sua concepção, para a análise e melhoramento de produtos existentes. Entretanto, elas também podem ser aplicadas para o desenvolvimento de novos produtos. Nesse caso, porém, não se encontram regras muito bem definidas para identificar as funções do produto e seus relacionamentos, assim como ocorre com as demais abordagens estudadas.

A.4 - Considerações gerais sobre as abordagens funcionais

Considerando as abordagens funcionais analisadas anteriormente, verifica-se, em linhas gerais, que há uma tendência à "particularização" ou caracterização das funções de produtos, conforme o domínio de aplicação. Essa tendência pode ser explicada, em parte, pelas dificuldades em se tratar com as funções num nível muito abstrato, conforme aquele proposto pelas abordagens alemãs de projeto de engenharia, principalmente quando se trata de produtos onde o fluxo de grandezas físicas não se apresenta diretamente evidente.

Noutra forma, observa-se, ainda, que a caracterização das funções do produto tem sido estabelecida através de justificativas para a existência de determinadas entidades geométricas ou parâmetros de configuração do produto, sob vários aspectos, seguindo, tipicamente, processos de análise de soluções técnicas existentes ou conhecidas.

Sob estas observações propõe-se que a identificação e o arranjo das funções de determinado produto deve-se basear num determinado "conceito de transição", associado às declarações de necessidades e requisitos de projeto, o qual considere os conhecimentos fatuais, episódicos, procedurais, entre outros, que o projetista tem sobre o domínio de aplicação. Deve-se evitar, porém, que este "conceito de transição" inclua soluções técnicas concretas para o produto ou detalhes de projeto, os quais, em linhas gerais, reduzirão as possibilidades de inovação e, muito provavelmente, condicionarão a síntese de funções do produto. Essa idéia é mostrada genericamente na FIGURA A.14.

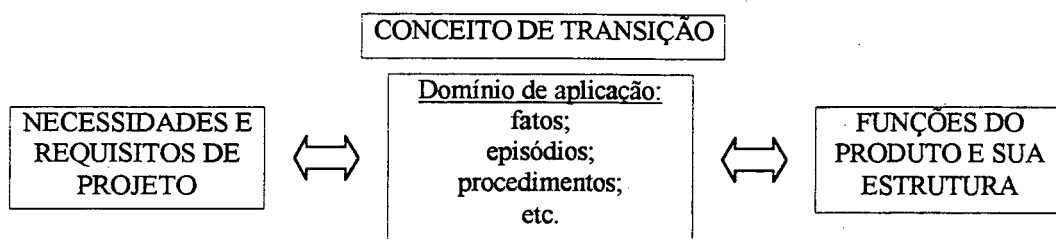


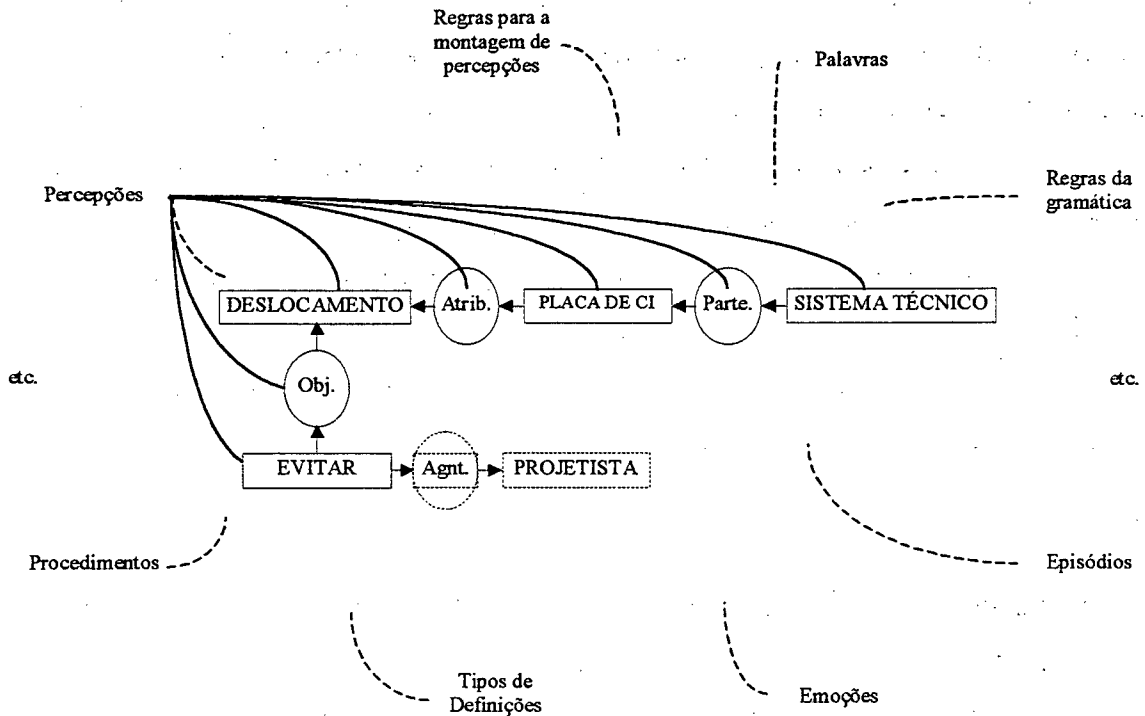
Figura A.14 - Elementos de apoio à identificação e arranjo das funções de produtos.

Sob as proposições anteriores, define-se o "conceito de transição" citado como sendo *ícones de projeto*, cuja natureza e principais características serão descritas a seguir.

A.5 - Ícones de projeto

Quando o projetista ou a equipe de projeto está diante de uma declaração de necessidade ou de requisito de projeto, sua interpretação ou percepção daquela declaração se dará através de

uma vasta rede de relacionamentos com outras entidades conceituais provenientes do conhecimento do projetista, conforme o modelo proposto por SOWA [37] e descrito em 3.2.2. Essa rede de relacionamentos foi denominada de rede semântica. Assim, por exemplo, a declaração de necessidade do tipo "*evitar deslocamentos da placa de circuito integrado (...)*" será percebida, ou configurada, na mente do projetista, conforme o modelo da FIGURA A.15.



Lê-se o grafo da declaração da seguinte maneira:

- *deslocamento* é um atributo da *placa de CI* (subentendido);
- *placa de CI* é parte do *sistema técnico*;
- *deslocamento* é objeto da ação *evitar*; e
- *projetista* é agente da ação *evitar* (subentendido)

Figura A.15 - Exemplo de modelo para a percepção de uma declaração de necessidade de projeto.

De acordo com a FIGURA A.15, a declaração de necessidade citada será configurada na forma de um grafo conceitual constituído de conceitos e de relações percebidas através de conhecimentos prévios do projetista (percepções provenientes do conhecimento armazenado na memória do projetista). Além dessas percepções, existem outros elementos de conhecimento do projetista, tais como procedimentos, episódios, tipos de definições, regras, entre outros, os quais poderão ser empregados para inferir demais conhecimentos ou resolver dado problema. Assim, por exemplo, diante do problema de "*(...) identificar as funções do produto (...)*" (também será reconhecido conforme o modelo da FIGURA A.15), o projetista tentará recuperar em sua

memória aqueles elementos de conhecimento que têm relações entre os conceitos das declarações de necessidades e da tarefa atribuída. Nessa tentativa, por exemplo, o projetista poderá recuperar um *episódio* experimentado, tal como "(...) o *parafuso segurou o elemento na posição desejada (...)*" (será um episódio reconhecido conforme o modelo da FIGURA A.15), e inferir, a partir daí, a função SEGURAR A PLACA DE CI ou, utilizando seus conhecimentos de sinônimos entre verbos, FIXAR A PLACA DE CI.

Além dos conhecimento recuperados na memória do projetista para realizar as inferências e resolver determinados problemas, ele pode fazer uso de fatos ou observações concretas sobre o ambiente de desenvolvimento do produto. No caso, por exemplo, ele poderia estar observando como as pessoas normalmente utilizam determinado produto e reconhecer ou identificar as funções desse produto a partir dos ícones sensoriais sendo capturados e percebidos pelo projetista.

Diante das considerações anteriores, define-se um *ícone de projeto* como sendo *parcelas de conhecimentos* sobre os elementos do domínio de aplicação (objetos, processos, agentes, fenômenos, etc.) associados a fatos, episódios, procedimentos, regras, etc., que "ativam" ou "disparam" o reconhecimento de relações entre as necessidades e requisitos de projeto com as funções do produto.

Sob tal definição, a identificação de funções do produto pode ser auxiliada através de uma base de ícones de projeto do domínio de aplicação. Num primeiro momento, o projetista pesquisa na base de ícones de projeto aqueles que se relacionam com as declarações de necessidades e de requisitos de projeto. Sob tais ícones, num segundo momento, ele pesquisa na base de dados de funções do produto aquelas que se relacionam com os ícones de projeto considerados. Dessa maneira, ao final, o conjunto de funções estabelecido representará ou "traduzirá" as necessidades e requisitos especificados.

Uma característica importante dos ícones de projeto consistirá na generalidade de suas formulações, ou seja, elas deverão ser desprovidas de soluções concretas conhecidas ou detalhes de projeto, com o propósito de promover uma identificação "isenta" das funções do produto.

A utilização e implementação prática desse conceito pressupõe a sistematização de uma base de ícones de projeto relacionada ao domínio de aplicação, o que não se constitui numa tarefa simples e imediata, pois a quantidade e variedade de fatos, procedimentos, episódios, regras, etc., sobre dado domínio podem ser bastante extensas. Propõe-se, dessa maneira, que a construção de tal base deva iniciar-se pelos conhecimentos sobre a utilização do produto sendo projetado, levando-se em conta os principais elementos que têm relação direta com o

produto. No caso de gabinetes moldados por injeção, por exemplo, tais elementos foram propostos na FIGURA 5.5, ou seja, o usuário do produto, o ambiente de produto, demais sistemas técnicos e os componentes e ou mecanismos internos do produto. Um exemplo simples de como tal base seria configurada é mostrado na TABELA A.4.

Tabela A.4 - Exemplo parcial de uma base de ícones de projeto relacionados a gabinetes de produtos em geral.

Tipos de conhecimentos	Elementos do domínio	Ícones de projeto	Funções associadas (relativo ao gabinete)
episódios	usuário do produto etc.	"o usuário descuidou-se na utilização da calculadora e esta caiu no chão"; etc.	Proteger os elementos do sistema técnico; Regular os mecanismos do sistema técnico; etc.
procedimentos	ambiente do produto	"antes de deixar o local de trabalho verifique se os computadores estão devidamente desligados"; etc.	Informar as operações do sistema técnico; etc.
regras	componentes do produto	"as placas de circuito integrado da calculadora não podem encostar nas paredes do gabinete" etc.	Suportar placas de CI; Espaçar placas de CI; etc.
fatos	componentes do produto	"o sistema técnico sendo projetado tem uma placa de CI sensível ao calor"; etc.	Ventilar a placa de CI etc.
etc.	etc.	etc.	etc.

APÊNDICE B - Formulação de questões e preparação de questionário estruturado para auxiliar no levantamento de necessidades de projeto

B.1 - Introdução

O método de questionário estruturado, empregado para auxiliar no levantamento de necessidades de projeto, consiste na aplicação de questões investigativas para cada um dos clientes do projeto, ou seus representantes, visando obter interesses relacionados ao desenvolvimento de dado produto. Esses interesses formarão a base para o estabelecimento das declarações de necessidades de projeto.

Nesse contexto diferentes procedimentos devem ser conduzidos. Em primeiro lugar, considerando uma base inicial de questões de projeto, deve-se selecionar aquelas mais adequadas para o problema em questão. As questões selecionadas configuram os questionários, segundo determinados critérios. Segue-se, então, com a aplicação dos questionários propriamente dita, através de diferentes meios de aplicação. Ao final, sob as respostas obtidas e registradas, estabelecem-se as declarações de necessidades.

Nota-se que, sob tais procedimentos, alguns aspectos são importantes na aplicação desse método. Dentre eles, a formulação de uma base de questões, o estabelecimento de critérios para estruturá-las em questionários aplicáveis ao problema e a determinação dos meios mais apropriados de aplicação e registro de respostas. Alguns destes aspectos serão analisados em maiores detalhes nos itens que se seguem.

B.2 - Formulação de questões de projeto

A formulação de questões para configurar os questionários estruturados depende, entre outros, dos seguintes fatores: dos elementos que constituem o domínio de aplicação e dos cenários que poderão configurar-se durante o desenvolvimento do produto.

Os elementos que constituem o domínio de aplicação são as informações, os processos e os agentes daquele domínio. No caso de produtos de plástico injetados, por exemplo, os elementos do domínio, conforme os estudos do CAPÍTULO 5, são: a natureza dos gabinetes moldados por injeção de plástico, a natureza dos típicos projetos de gabinetes, os típicos requisitos para o projeto de gabinetes, as funções de gabinetes injetados, as fases do ciclo de vida de componentes injetados, os típicos clientes do projeto de produtos de plástico injetados, entre

outros. Sob cada um destes elementos constituem-se diversos temas, que poderão ser empregados para a formulação das questões de projeto.

Sobre os cenários, que poderão configurar-se no desenvolvimento do produto, considera-se a natureza do projeto que será desenvolvido e a natureza da estrutura de desenvolvimento. Se o projeto é de inovação, por exemplo, e a empresa é de pequeno porte, onde nem todos os clientes, conforme a TABELA 5.3, se fazem presentes, então as questões de projeto deverão ser formuladas sob um escopo bem mais abrangente e detalhado de temas relacionados ao desenvolvimento do produto.

Diante dos aspectos anteriores é possível formular uma estrutura de temas relevantes sobre o domínio de aplicação para suportar a formulação de questões de projeto. Essa diretriz é representada na FIGURA B.1.

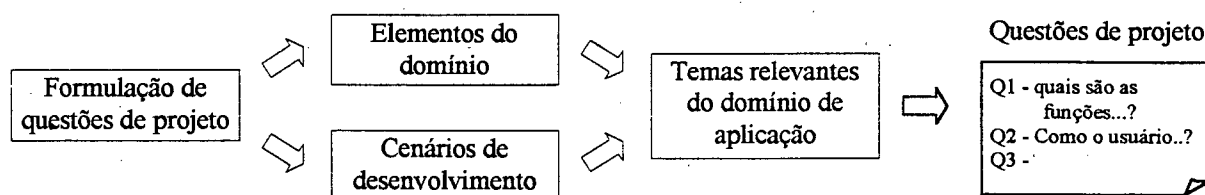


Figura B. 1 - Diretriz para a formulação de questões de projeto.

Sob a diretriz da FIGURA B.1 e considerando os estudos do CAPÍTULO 5 propõe-se, conforme a TABELA B.1, uma estrutura de temas a serem investigados no desenvolvimento inicial de produtos de plástico injetados (gabinetes moldados por injeção), através de questões de projeto. Os temas propostos foram identificados tendo em mente as seguintes questões: *o que deve ser investigado sobre(contratação, projeto, fabricação, etc.)?* e *qual a relevância deste tema para a concepção do produto (gabinete)?*

Devido à abrangência e à complexidade na formulação de uma estrutura de temas “completa” para dado domínio de aplicação, limitou-se à proposição de temas relacionados às fases do ciclo de vida de produtos injetados, conforme estabelecidas no item 5.2.5. Temas relativos aos demais elementos do domínio de aplicação e prováveis cenários deste domínio deverão ser considerados em trabalhos futuros.

Tabela B.1 - Estrutura de temas relacionados às fases do ciclo de vida de produtos de plástico injetados e questões de projeto associadas.

Fases do CV	Temas/subtemas	Propósitos	Questões de projeto associadas	Respondente	Origem do projeto	Execução do projeto
CONTRATAÇÃO	produtos da empresa	Projeto original/adaptativo: investigar os pontos fortes e fracos dos produtos da empresa para estabelecer, ou não, novas oportunidades de negócios	<ul style="list-style-type: none"> Qual é a situação atual dos produtos de nossa empresa? Sob quais características nossos produtos poderão ser inovados? 	contratante projetista do produto	empresa	inicial
		<p>produtos concorrentes</p> <p>Projeto adaptativo: verificar os pontos fortes e fracos de produtos concorrentes para melhorar a competitividade dos produtos sendo projetados</p> <p>Projeto original: verificar a natureza e as características dos produtos concorrentes similares ao produto pretendido para obter subsídios ao desenvolvimento</p>	<ul style="list-style-type: none"> Quais são as vantagens e desvantagens dos produtos concorrentes em relação ao produto em questão? Quais são as principais características de produtos similares a este encontrados no mercado? 	contratante projetista do produto	empresa	inicial
	usuários do produto	Projeto adaptativo: verificar a natureza e as características dos usuários do produto em questão	<ul style="list-style-type: none"> Quais são as principais características dos usuários deste produto? Como os usuários estão utilizando este produto? Quem serão os possíveis compradores e/ou usuários deste produto (faixa etária, sexo, escolaridade, comportamentos, etc.)? 	contratante projetista do produto	empresa contratado	inicial
		<p>usuários do produto</p> <p>Projeto original: verificar quais serão os possíveis usuários do produto pretendido</p>	<ul style="list-style-type: none"> Quais são as principais características dos usuários deste produto? Como os usuários estão utilizando este produto? Quem serão os possíveis compradores e/ou usuários deste produto (faixa etária, sexo, escolaridade, comportamentos, etc.)? 	contratante projetista do produto	empresa contratado	inicial
	tecnologias	Projeto adaptativo: verificar se a empresa tem capacidade tecnológica para o projeto e a produção do produto em questão	<ul style="list-style-type: none"> Quais serão as tecnologias não dominadas pela empresa necessárias para o desenvolvimento deste produto? Haverá necessidade de investimentos em novas tecnologias? Quais serão as tecnologias necessárias para o desenvolvimento deste produto? 	projetista do produto eng. produção	empresa contratado	inicial
		<p>tecnologias</p> <p>Projeto original: verificar quais serão as tecnologias necessárias para o desenvolvimento do produto pretendido</p>	<ul style="list-style-type: none"> Quais serão as tecnologias necessárias para o desenvolvimento deste produto? Haverá necessidade de investimentos em novas tecnologias? Quais serão as tecnologias necessárias para o desenvolvimento deste produto? 	projetista do produto eng. produção	empresa contratado	inicial
	aspectos econômicos	Projeto adaptativo: verificar se os custos do produto poderão ser reduzidos para torná-lo mais competitivo	<ul style="list-style-type: none"> Qual será o potencial de redução de custos deste produto mantendo sua qualidade? 	contratante projetista do produto	empresa contratado	inicial
		<p>aspectos econômicos</p> <p>Projeto original: verificar se o produto pretendido será viável economicamente</p>	<ul style="list-style-type: none"> Qual será o volume de produção deste produto? Quais serão os principais elementos de custo deste produto? 	contratante projetista do produto	empresa contratado	inicial
	gabinete do produto	Projeto adaptativo: verificar, em particular, as principais características do gabinete existente	<ul style="list-style-type: none"> Qual é a natureza do gabinete deste produto (tipo, material, formas, acabamento, design, etc.)? Quais são os elementos do produto (componentes, mecanismos, demais sistemas técnicos) e suas características que se relacionam com o gabinete? Quais são os pontos fortes e fracos do gabinete deste produto? Quais são as principais características dos gabinetes de produtos concorrentes? Como o usuário se relaciona com o gabinete deste produto? Quais são as principais influências do ambiente sobre o gabinete deste produto? 	contratante projetista do produto	empresa contratado	inicial
		<p>gabinete do produto</p> <p>Projeto original: verificar, em particular, as principais implicações de um gabinete para o produto pretendido</p>	<ul style="list-style-type: none"> Qual será a importância de um gabinete para este produto? Quais serão os propósitos de um gabinete para este produto (estéticos, estruturais, ambos)? Qual será a natureza dos elementos deste produto que se relacionarão com o gabinete? 	contratante projetista do produto	empresa contratado	inicial

Tabela B.1 - Continuação

PROJETO	dinâmica do gabinete	Projeto adaptativo: conhecer e avaliar as principais condições de carregamento sobre o gabinete existente	Projeto original: prever as possíveis condições de carregamento sobre o gabinete do produto pretendido	<ul style="list-style-type: none"> Quais são os principais tipos e a natureza dos carregamentos que atuam sobre o gabinete e/ou suas partes? O gabinete está suportando adequadamente os carregamentos existentes? O gabinete encontra-se suficientemente rígido para cumprir suas funções? O peso de gabinete encontra-se dentro de limites aceitáveis? Quais são as regiões críticas do gabinete que apresentam problemas em função dos carregamentos existentes? Quais serão os prováveis carregamentos que este gabinete estará sujeito? Quais serão as origens dos prováveis carregamentos que este gabinete estará sujeito? Os prováveis carregamentos sobre o gabinete serão controláveis durante a utilização do produto? Qual será a influência do peso deste gabinete na utilização do produto? Qual será a influência da rigidez do gabinete na utilização deste produto? Quais serão as regiões críticas deste gabinete, considerando os prováveis carregamentos sobre ele? 	projetista do produto	empresa contratado	concepção
	desempenho do gabinete	Projeto adaptativo: conhecer e avaliar os efeitos sobre o gabinete, em função de suas condições de uso	Projeto original: prever o comportamento do gabinete em função de determinadas condições de utilização	<ul style="list-style-type: none"> Como tem sido o comportamento do gabinete sob condições de atrito, vibrações, choques, pressão, temperaturas elevadas, entre outras variáveis? Como tem sido o comportamento do gabinete sob a influência de partículas ou líquidos indesejados? Como tem sido o comportamento do gabinete sob a influência das características do usuário do produto? Qual deverá ser o comportamento do gabinete sob condições de atrito, vibrações, choques, pressão, temperaturas elevadas, entre outras variáveis? Qual deverá ser o comportamento do gabinete sob a influência de partículas ou líquidos indesejados? Qual deverá ser o comportamento do gabinete sob a influência das características do usuário do produto? 	contratante projetista do produto	empresa contratado	concepção
	segurança do gabinete	Projeto adaptativo: conhecer e avaliar as condições de segurança do gabinete, com relação ao usuário e ao produto	Projeto original: prever condições de insegurança, sob as quais o gabinete do produto pretendido estará sujeito	<ul style="list-style-type: none"> Quais são as condições de insegurança a que este produto está sujeito? Quais são os pontos fortes e fracos deste gabinete diante de condições inseguras? Quais foram os efeitos sobre o usuário e as demais partes do produto quando o gabinete falhou sob condições inseguras? Quais serão as prováveis condições de insegurança que o produto pretendido estará sujeito? Qual será o papel do gabinete quando o produto pretendido encontrar-se diante de condições inseguras? Quais serão os prováveis efeitos sobre o usuário e as demais partes do produto se o gabinete falhar sob condições inseguras? 	projetista do produto	empresa contratado	concepção

Tabela B.1 - Continuação.

PROJETO	ergonomia do gabinete	Projeto adaptativo: conhecer e avaliar os aspectos ergonómicos do gabinete existente	Projeto original: prever os aspectos ergonómicos mais importantes para o projeto do gabinete do produto pretendido	Projeto adaptativo: conhecer e avaliar os aspectos de <i>design</i> do gabinete existente	Projeto original: prever os aspectos de <i>design</i> mais importantes para o projeto do gabinete do produto pretendido	Projeto adaptativo: verificar a necessidade de prototipagem do gabinete e quais serão suas implicações	molde de injeção	Projeto adaptativo: conhecer e avaliar as características do molde utilizado para a injeção do gabinete e suas implicações no projeto (reprojeto) do gabinete	Projeto original: prever as principais implicações do projeto e fabricação do molde no projeto do gabinete	projetista do produto	empresa contratado	concepção
		<ul style="list-style-type: none"> O gabinete em questão informa adequadamente o usuário sobre as condições de utilização do produto? O gabinete em questão promove algum tipo de dificuldade motora ou sensorial na utilização do produto? O acesso aos controles do produto, através das superfícies do gabinete, apresenta alguma dificuldade evidente? 	<ul style="list-style-type: none"> Quais serão as principais características sensoriais e motoras do usuário do produto que deverão ser consideradas no projeto funcional do gabinete e no projeto de sua forma? 	<ul style="list-style-type: none"> A aparência do gabinete causa algum tipo de insatisfação ao usuário? A aparência do gabinete encontra-se conforme as tendências atuais? O gabinete combina com os demais produtos a sua volta? 	<ul style="list-style-type: none"> Quais são as principais tendências na aparência de produtos como este pretendido? O gabinete oferecerá condições para contemplar as tendências atuais na aparência deste tipo de produto? 	<ul style="list-style-type: none"> A empresa dispõe de recursos para a prototipagem de produtos? O nível de responsabilidade do gabinete, para o produto pretendido, demanda estudos adicionais sobre suas características? Quais serão os prováveis riscos no projeto e fabricação deste gabinete? 	<ul style="list-style-type: none"> Quais foram as principais dificuldades no projeto do molde para as partes deste gabinete? Os custos e prazos associados ao projeto e fabricação do molde para este gabinete atenderam às expectativas da empresa? Quais foram as regiões críticas deste gabinete que influenciaram significativamente no projeto e fabricação do molde? 	<ul style="list-style-type: none"> Quais serão as regiões críticas deste gabinete que influenciarão significativamente no projeto e fabricação do molde (Haverá margem para a simplificação do gabinete)? Os custos estimados para o molde deste gabinete estão dentro do previsto no orçamento? Quais serão os riscos associados ao projeto e fabricação do molde para este gabinete? O volume de produção pretendido é suficiente para amortizar os prováveis custos do projeto e fabricação do molde? 	contratante projetista do produto	empresa contratado	concepção	
										projetista do molde	empresa contratado	concepção

Tabela B.1 - Continuação.

FABRICAÇÃO	injeção do gabinete	materiais de injeção	Projeto adaptativo: conhecer e avaliar as principais características dos materiais plásticos utilizados na injeção do gabinete	Como o material deste gabinete se comportou diante das condições de uso do produto? Quais foram os pontos fortes e fracos do material empregado neste gabinete? Existem materiais no mercado com propriedades melhoradas? Os custos associados ao material deste gabinete atenderam às expectativas da empresa?	eng. produção	empresa contratado	concepção
			Projeto original: prever as principais restrições dos materiais plásticos utilizáveis para a injeção do gabinete	Qual é a natureza dos materiais que poderão ser empregados para a injeção deste gabinete? Quais serão os custos associados aos materiais que poderão ser empregados para a injeção deste gabinete? Os materiais disponíveis necessitarão de cuidados especiais durante o processo de injeção? Quais? Os materiais disponíveis oferecerão restrições ao projeto geométrico do gabinete? Quais? Os materiais disponíveis oferecerão restrições ao projeto do molde?	eng. produção	empresa contratado	concepção
		processo de injeção	Projeto adaptativo: conhecer e avaliar as principais características do processo de injeção empregado na injeção do gabinete	Sob que condições o gabinete existente foi injetado? (características do equipamento/processo de injeção empregado)? Quais foram as principais dificuldades encontradas no processo de injeção deste gabinete? Quais foram os defeitos mais frequentes nos gabinetes injetados? Quais foram os principais custos associados ao processo de injeção deste gabinete?	eng. produção	empresa contratado	concepção
			Projeto original: prever as principais restrições do processo de injeção do gabinete	Quais serão os equipamentos que poderão ser empregados na injeção deste gabinete (descreva as principais características)? Que tipos de dificuldades os equipamentos disponíveis poderão propiciar na injeção deste gabinete? Quais serão os prováveis custos no processo de injeção deste gabinete?	eng. produção	empresa contratado	concepção
	pós-processamento		Projeto adaptativo: conhecer e avaliar as operações de pós-processamento do gabinete injetado	Quais foram as principais operações de pós-processamento necessárias para este gabinete? Quais foram as principais influências das operações de pós-processamento na qualidade deste gabinete? Como as operações de pós-processamento influenciaram nos custos deste gabinete?	eng. produção	empresa contratado	concepção
			Projeto original: prever a necessidade, ou não, de operações de pós-processamento do gabinete e quais serão suas prováveis implicações	Quais serão as principais implicações de operações de pós-processamento na aparência deste gabinete? Quais serão os prováveis custos de operações de pós-processamento deste gabinete? Haverá possibilidades técnicas de evitar as operações de pós-processamento deste gabinete? Como?	eng. produção	empresa contratado	concepção

Tabela B.1 - Continuação.

FABRICAÇÃO	fabricação do produto total	montagem do gabinete	Projeto adaptativo: conhecer e avaliar as principais características da montagem do gabinete existente	Projeto original: prever as principais dificuldades na montagem deste gabinete? Quais foram as principais dificuldades na montagem deste gabinete? Quais são os recursos necessários para a montagem deste gabinete? Quais são os principais custos associados a montagem deste gabinete?	eng. produção	empresa contratado	concepção
			Projeto original: prever as principais implicações da montagem do gabinete do produto pretendido	Quais serão os prováveis operações de montagem deste gabinete? Quais serão as prováveis dificuldades na montagem deste gabinete? Quais serão os prováveis recursos necessários para a montagem deste gabinete? Quais serão os prováveis custos associados a montagem deste gabinete?	eng. produção	empresa contratado	concepção
	testes do produto/gabinete	Projeto adaptativo: conhecer e avaliar as principais características de testes do produto/gabinete existente	Projeto original: prever as principais implicações de testes do produto/gabinete pretendido	Quais foram os principais testes aplicados ao produto/gabinete? Quais foram as principais dificuldades nos testes realizados com o produto/gabinete? Quais foram os recursos necessários para os testes do produto/gabinete? Quais foram os principais custos associados aos testes do produto/gabinete?	eng. produção	empresa contratado	concepção
	embalagem e armazenamento do produto/gabinete	Projeto adaptativo: conhecer e avaliar as principais características do embalagem e armazenamento do produto/gabinete existente	Projeto original: prever as principais implicações de embalagem e armazenamento do produto/gabinete pretendido	Quais são as principais operações de embalagem e armazenamento do produto/gabinete? Quais são as principais dificuldades no embalagem e armazenamento do produto/gabinete? Quais são os recursos necessários para o embalagem e armazenamento do produto/gabinete? Quais são os custos associados com o embalagem e armazenamento do produto/gabinete?	eng. produção	empresa contratado	concepção

Tabela B.1 - Continuação.

COMERCIALIZAÇÃO	<p>verda do produto/gabinete</p>	<p>Projeto adaptativo: conhecer e avaliar as principais características do processo de venda do produto/gabinete existente</p> <p>Projeto original: prever as principais implicações do processo de venda do produto/gabinete pretendido</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Como este produto/gabinete está sendo vendido? • Quais são as principais reclamações na venda deste produto/gabinete? • Quais são os principais atrativos sendo oferecidos para a venda deste produto/gabinete? • Qual será o provável processo de venda deste produto/gabinete? • Quais serão as prováveis solicitações dos compradores com relação a aquisição deste produto/gabinete? • Quais serão os possíveis atrativos a serem oferecidos para a venda deste produto/gabinete? • Quais são as principais dificuldades no processo de demonstração do produto/gabinete durante sua venda? • Quais são as principais dificuldades no processo de transporte do produto/gabinete após sua venda? • Quais são as principais solicitações dos compradores durante o processo de demonstração deste produto/gabinete? 	<p>contratante</p> <p>contratante</p> <p>contratante</p>	<p>empresa contratado</p> <p>empresa contratado</p> <p>empresa contratado</p>	<p>inicial</p> <p>inicial</p> <p>inicial</p>	
	<p>manipulação do produto/gabinete</p>	<p>Projeto adaptativo: conhecer e avaliar as principais características da manipulação do produto/gabinete durante e pós-venda</p> <p>Projeto original: prever as principais implicações da manipulação do produto/gabinete pretendido durante e pós-venda</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Quais são as principais dificuldades no processo de demonstração do produto/gabinete pretendido? • Quais serão as prováveis solicitações dos compradores durante o processo de demonstração do produto/gabinete pretendido? 	<p>contratante</p>	<p>empresa contratado</p>	<p>inicial</p>	
	UTILIZAÇÃO	<p>instalação do produto/gabinete</p>	<p>Projeto adaptativo: conhecer e avaliar as principais características do processo de instalação do produto/gabinete existente</p> <p>Projeto original: prever as principais implicações do processo de instalação do produto/gabinete pretendido</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Quais são as principais operações de instalação deste produto/gabinete? • Quais são as principais dificuldades e reclamações no processo de instalação deste produto/gabinete? • Quais são os recursos necessários para a instalação deste produto/gabinete? • Quais serão as prováveis operações de instalação do produto/gabinete pretendido? • Quais serão as prováveis dificuldades e reclamações na instalação do produto/gabinete pretendido? • Quais serão os prováveis recursos necessários para a instalação do produto/gabinete pretendido? 	<p>contratante</p> <p>projetista do produto</p> <p>contratante</p> <p>projetista do produto</p>	<p>empresa contratado</p> <p>empresa contratado</p> <p>empresa contratado</p>	<p>inicial</p> <p>inicial</p>
		<p>uso do produto/gabinete</p>	<p>Projeto adaptativo: conhecer e avaliar as principais características do processo de uso do produto/gabinete existente</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Quais são as principais operações de uso do produto/gabinete existente? • Qual é o comportamento do usuário diante do produto/gabinete operando? • Quais são as principais reclamações do usuário diante do produto/gabinete operando? • Quais são os principais benefícios que o produto/gabinete proporciona ao usuário? • Quais são os principais custos associados à utilização do produto/gabinete? 	<p>contratante</p> <p>projetista do produto</p>	<p>empresa contratado</p>	<p>inicial</p>

Tabela B.1 - Continuação.

UTILIZAÇÃO		Projeto original: prever as principais implicações do processo de uso do produto/gabinete pretendido	<ul style="list-style-type: none"> Quais serão as principais operações de uso do produto/gabinete pretendido? Qual será o provável comportamento do usuário diante do produto/gabinete operando? Quais serão as prováveis reclamações do usuário diante do produto/gabinete operando? Quais serão os prováveis benefícios que o produto/gabinete pretendido proporcionará ao usuário? Quais serão os prováveis custos associados à utilização do produto/gabinete pretendido? 	contratante projetista do produto	empresa contratado	inicial
	manutenção do produto/gabinete	Projeto adaptativo: conhecer e avaliar as principais características do processo de manutenção do produto/gabinete existente	<ul style="list-style-type: none"> Quais são as principais operações do processo de manutenção do produto/gabinete existente? Quais são as principais dificuldades no processo de manutenção do produto/gabinete existente? Qual é o comportamento do usuário diante do processo de manutenção do produto/gabinete existente? Quais são os principais custos associados ao processo de manutenção do produto/gabinete existente? 	contratante projetista do produto	empresa contratado	inicial
DESATIVÇÃO	processo de desativação	Projeto adaptativo: conhecer e avaliar as principais características do processo de desativação do produto/gabinete existente	<ul style="list-style-type: none"> Quais são os principais indicadores da obsolescência do produto/gabinete existente? Quais são os principais indicadores do fim da vida útil do produto/gabinete existente? Quais são as principais operações do processo de desativação do produto/gabinete existente? Quais são as principais implicações da sucata do produto desativado? Quais foram os processos de reaproveitamento de partes do produto/gabinete existente? Quais foram os processos de reciclagem de partes do produto/gabinete existente? 	projetista do produto	empresa contratado	concepção
		Projeto original: prever as principais implicações do processo de desativação do produto/gabinete pretendido	<ul style="list-style-type: none"> Quais serão os prováveis indicadores da obsolescência do produto/gabinete pretendido? Quais serão os prováveis indicadores do fim da vida útil do produto/gabinete pretendido? Quais serão as prováveis implicações de sucata do produto/gabinete pretendido? Quais serão as prováveis operações do processo de desativação do produto/gabinete pretendido? Quais serão os prováveis processos de reaproveitamento de partes do produto/gabinete pretendido? Quais serão os prováveis processos de reciclagem de partes do produto/gabinete pretendido? 	projetista do produto	empresa contratado	concepção

B.3 - Caracterização de questões de projeto e preparação dos questionários estruturados

Diante das questões formuladas na TABELA B.1, verifica-se que os questionários de projeto poderão ser preparados, numa primeira abordagem, considerando-se como critérios de estruturação as fases do ciclo de vida do produto, seus respectivos temas e a natureza do projeto, ou seja, se adaptativo ou original. Outros critérios poderão ser considerados à medida que novos atributos sejam estabelecidos para caracterizar cada uma das questões de projeto.

Dentre tais atributos inclui-se, por exemplo, o **respondente** ou responsável pela resposta de determinada questão, ou conjunto de questões de projeto. Trata-se, em geral, dos profissionais da equipe de desenvolvimento do produto que, em geral, além da formação em determinadas áreas do conhecimento, representam, conforme a TABELA 5.4, os interesses de diferentes clientes do projeto. Diante de tal atributo, os valores possíveis serão: **contratante, projetista do produto, projetista do molde e engenheiro de produção**.

Outro atributo importante para caracterizar as questões de projeto trata da **origem do projeto**. Em grande parte, os projetos se originam na própria empresa, através dos profissionais de desenvolvimento. Outros, porém, são solicitados por profissionais ou empresas interessadas em dado produto. Dessa forma, a natureza das questões para ambas as situações poderão ser diferentes. Consideram-se sob este atributo os valores **empresa e contratado**.

Por último, considerando que nem todas as questões deverão ser aplicadas num mesmo momento, inclui-se um atributo para caracterizá-las que leva em conta a natureza da **execução do projeto**. Esse atributo é considerado sob os seguintes valores: **inicial e concepção**. Em outras palavras, a natureza das questões aplicadas num contato inicial para o desenvolvimento do produto poderão ser diferentes daquelas aplicadas para o processo de concepção do produto propriamente dito.

Sob os novos atributos considerados, complementa-se a TABELA B.1 com seus correspondentes valores. A partir de então, configuram-se vários critérios para a preparação dos questionários estruturados, os quais se constituem, em essência, na combinação dos atributos e dos valores dos atributos que caracterizam as questões de projeto. Essa combinação deverá ser estabelecida pela equipe de projeto no momento em que se estabelecer uma dada situação de projeto e, a partir daí, selecionar quais serão as questões mais apropriadas para auxiliar nas fases iniciais do desenvolvimento do produto.

APÊNDICE C - Análise crítica da utilização da "casa da qualidade" no projeto conceitual de produtos

C.1 - Introdução

É de reconhecida importância pelos profissionais da engenharia e de produção a necessidade de qualidade no processo de fabricação de produtos. Além de tecnologias adequadas, isso implica, por exemplo, o controle das peças para verificar se as dimensões e as tolerâncias estão dentro do especificado. Para tal, existem vários métodos e ferramentas que podem ser empregados para garantir a qualidade na fabricação de produtos dentro de determinados padrões.

Ocorre, entretanto, que o desenvolvimento de dado produto, e de suas partes, tem implicações aquém e além da fase de fabricação. Há, por exemplo, as fases de projeto, distribuição, vendas, utilização, manutenção do produto, entre outras, que influenciam fortemente na satisfação, ou não, do consumidor. É necessário, portanto, que a qualidade do produto seja obtida, também, sob o enfoque destas outras fases. Por exemplo, serão pouco eficazes as ferramentas destinadas à garantia da qualidade no processo de fabricação se o produto tiver sido funcionalmente mal projetado ou não apresentar nenhum atrativo às vendas. **A qualidade, neste sentido, é a consideração ampla dos desejos dos consumidores sob as diferentes fases do ciclo de vida do produto.**

Sob este enfoque, o QFD (*Quality Function Deployment*) foi introduzido como método para assegurar a qualidade do produto em cada estágio de seu desenvolvimento e utilização, procurando, desde o início, além da integração entre os profissionais de desenvolvimento do produto, incluir, nas decisões tomadas e nas soluções propostas, a "voz do consumidor". Essa abordagem foi proposta pelo Prof. AKAO [81], no final dos anos 60, e foi operacionalizada, inicialmente, pelas ferramentas denominadas de *quality tables*. Hoje, essas ferramentas são conhecidas como *matrizes do QFD* ou *mapas conceituais* para o planejamento interfuncional do produto [91].

A primeira matriz do QFD, conhecida como "casa da qualidade", auxilia na sistematização dos atributos do consumidor ("voz do consumidor") e das características de engenharia ("voz da engenharia"). Os primeiros expressam os desejos ou os interesses dos consumidores com relação ao produto, e as características de engenharia, por sua vez, expressam como aqueles desejos poderão ser satisfeitos ou realizados no produto do ponto de vista técnico.

Dessa maneira, a "casa da qualidade" auxilia, em parte, no estabelecimento dos principais problemas de projeto (reprojeto) a serem resolvidos.

A utilização prática da "casa da qualidade" constitui-se, em essência, na aplicação de um conjunto de procedimentos e de mecanismos para sistematizar as informações iniciais de desenvolvimento do produto resultantes da pesquisa de mercado, experimentação, análise, do debate em equipe, da experiência de seus integrantes, entre outros meios. Tais procedimentos são bastante simples, porém, por vezes, podem ser tediosos, ou morosos, dependendo da quantidade de dados que devem ser coletados, organizados, interpretados, relacionados e registrados na matriz. Sob este aspecto, REICH [92], por exemplo, enumera as limitações da "casa da qualidade" em quatro categorias principais: esforço, expressividade, adaptabilidade e comunicação.

A categoria de esforço refere-se à dificuldade para manusear grande quantidade de dados no papel. Já as limitações de expressividade tratam sobre a natureza qualitativa das informações processadas na matriz. A adaptabilidade, por sua vez, refere-se à maior ou menor facilidade em modificar a matriz para diferentes problemas. Por último, a comunicação refere-se às dificuldades para disseminar os resultados da matriz pela organização ou demais equipes de desenvolvimento.

Atualmente, vêm surgindo vários trabalhos para ampliar as potencialidades na utilização das matrizes do QFD, envolvendo, principalmente, recursos da informática. Já existem, por exemplo, alguns programas comerciais sendo disponibilizados para esse fim, [93],[94],[95]. Além disso, como grande parte das tarefas realizadas nas matrizes do QFD são fundamentadas na experiência dos integrantes da equipe de desenvolvimento e como nem sempre esta equipe conta com especialistas de diversas áreas do conhecimento, tem havido esforços para melhorar o levantamento, a organização e o processamento das informações de desenvolvimento do produto, através de base de dados e de base de conhecimento.

O emprego do método QFD e de suas matrizes não se restringe a problemas de engenharia, sobretudo de reprojeto de produtos e sistemas. Seus princípios e ferramentas também podem ser empregados para problemas de serviços e de gerenciamento, de modo geral. Neste trabalho, o método QFD, através da "casa da qualidade", é analisado sob o enfoque do projeto conceitual de novos produtos, ou inovação de produtos existentes. Mais especificamente, sob os processos de definição da tarefa de projeto, incluindo-se, aí, a sistematização das necessidades e dos requisitos de projeto. Nesse sentido, no texto que se segue, discute-se sobre os principais procedimentos e mecanismos para a construção da "casa da qualidade", analisando-os sob o

enfoque da concepção de novos produtos, visando estabelecer as principais diretrizes para a implementação e utilização prática da "casa da qualidade" nas fases iniciais do projeto.

C.2 - Utilização da "casa da qualidade" no projeto conceitual de produtos

O projeto conceitual de produtos é definido e sistematizado sob vários enfoques. Entretanto, os propósitos dessa fase do desenvolvimento do produto são comuns na maioria das abordagens, ou seja, a partir das necessidades de projeto desenvolve-se e avalia-se um conjunto de concepções alternativas para o produto e seleciona-se aquela que será levada adiante nas demais fases do desenvolvimento (projeto preliminar e detalhado). Incluem-se, neste escopo, as atividades de especificação da tarefa de projeto, de síntese de funções e de síntese de soluções alternativas para o produto. Nesse contexto, a "casa da qualidade" é considerada como uma ferramenta de auxílio à especificação da tarefa de projeto, incluindo-se, aí, a sistematização das necessidades e dos requisitos de projeto.

De acordo com suas proposições, a "casa da qualidade" tem sido empregada e discutida, em geral, para o reprojeção ou melhoramento de produtos (ou partes) existentes, levando-se em conta a "voz do consumidor". No modelo de AKAO [81], por exemplo, os procedimentos e mecanismos para o planejamento da qualidade desejada e planejamento técnico do produto pressupõem a análise e comparação de produtos existentes. Isso também pode ser observado no exemplo apresentado por HAUSER & CLAUSING [91] (reprojeção de uma porta de automóvel).

Por outro lado, o projeto de produtos completamente novos não é uma prática usual na maioria das empresas. Em geral, esse tipo de projeto demanda a descoberta de novas tecnologias ou desenvolvimento de novos mercados, para os quais as empresas não se encontram devidamente preparadas ou não apresentam recursos. Entretanto, numa perspectiva mais simples, novos produtos poderão ser introduzidos sob a inovação de produtos existentes ou similares a partir do acompanhamento e do estudo sistemático do mercado e das tecnologias vigentes, utilizando ferramentas apropriadas para o planejamento das atividades de projeto e de estímulo à criatividade dos profissionais projetistas.

Nessa perspectiva, a "casa da qualidade" pode ser empregada como ferramenta para auxiliar na sistematização, análise e entendimento da tarefa de projeto, incluindo-se, aí, as necessidades dos clientes do projeto e os requisitos mais importantes para o desenvolvimento do produto. Sob tais informações, além dos critérios para avaliar as concepções geradas para o produto, podem ser estabelecidas estratégias para a inovação de produtos, tais como introdução

de novas funcionalidades no produto existente, arranjos alternativos na estrutura do produto, utilização de novas tecnologias de fabricação, entre outras, dependendo dos interesses de cada um dos clientes do projeto e dos requisitos identificados.

Sob esse enfoque, a "casa da qualidade" constitui-se numa ferramenta para o planejamento do projeto conceitual do produto, através da sistematização das necessidades e dos requisitos de projeto. Nesse caso, deve-se discutir sobre os procedimentos e as implicações para a construção da "casa da qualidade" aplicada ao projeto conceitual de produto e estabelecer as principais diretrizes para a implementação prática dessa ferramenta. Tal discussão é conduzida no item que se segue.

C.3 - Processo de construção da "casa da qualidade"

De maneira simplificada, os principais elementos de informação para a construção da "casa da qualidade" voltada à concepção de produtos podem ser estabelecidos conforme a FIGURA C.1.

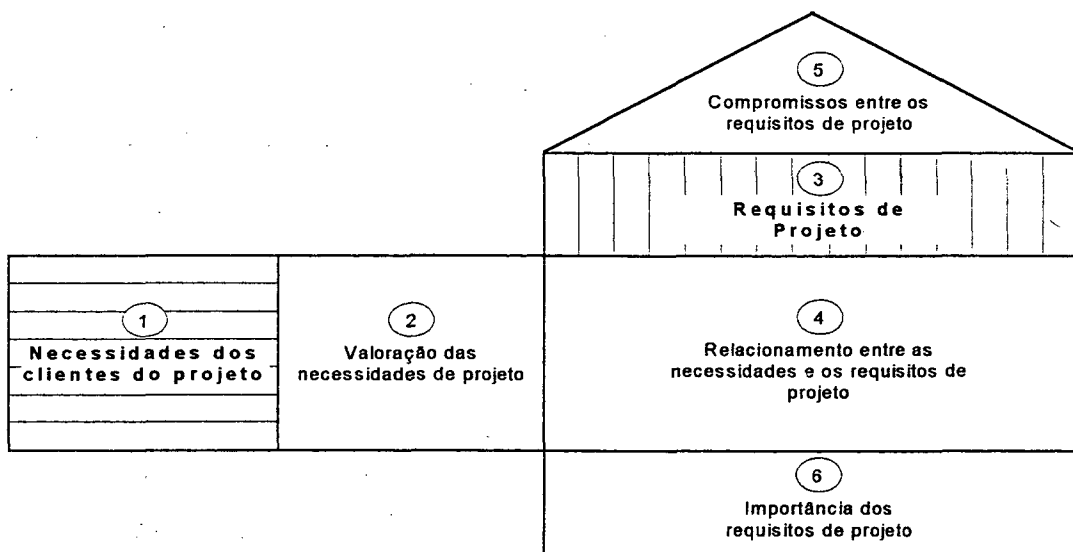


Figura C.1 - "Casa da qualidade" e seus principais elementos.

De acordo com a FIGURA C.1, nas linhas à esquerda da matriz (1) são registradas as necessidades dos clientes do projeto e nas colunas (3), os requisitos de projeto. Os demais elementos da matriz são decorrência dessas informações. Incluem-se, aí, a valoração das necessidades de projeto (2), os relacionamentos entre necessidades e os requisitos de projeto (4), os compromissos entre os requisitos de projeto (5) e a importância dos requisitos de projeto (6). Tais elementos serão descritos, em maiores detalhes, nos itens que se seguem.

C.3.1 - Levantamento e sistematização das necessidades de projeto

Conforme se observa na FIGURA C.1, a construção da "casa da qualidade" inicia-se com o levantamento e a sistematização das necessidades de projeto. Essas informações representam os interesses ou as manifestações dos clientes de projeto, considerados, aqui, num sentido abrangente, como aqueles afetados ou impactados pelo produto sendo desenvolvido.

A determinação dos clientes do projeto depende da natureza do produto, da estrutura da empresa e da estrutura do mercado sob o qual a empresa se encontra. Sob a natureza do produto consideram-se aqueles clientes associados aos conhecimentos necessários ao desenvolvimento do produto. Como exemplo, para produtos de plástico injetados, incluem-se o projetista do produto, responsável pela funcionalidade, desempenho do produto, entre outros; o desenhista industrial, responsável pelo *design* do produto; o projetista do molde, responsável pelo projeto do molde; e o engenheiro do processo, responsável pelo processo de injeção e de materiais plásticos.

Sob a estrutura da empresa, por sua vez, consideram-se aqueles clientes que representam as áreas ou os setores de desenvolvimento da empresa que se relacionam diretamente com o projeto em questão. Inclui-se, aí, por exemplo, o pessoal de marketing, de projeto, da fabricação, de vendas, entre outros. Por último, sob a estrutura do mercado, consideram-se aqueles clientes como o público em geral, comerciantes, órgãos reguladores, entre outros, além de organizações que têm relações comerciais ou de concorrência com a empresa, tais como filiais, distribuidores, fornecedores, concorrentes, entre outros.

A definição e a modelagem precisa dos clientes do projeto, sob as categorias anteriores, não é uma tarefa simples, pois os produtos, as empresas e os mercados consumidores constituem-se de estruturas complexas e alteram-se com o tempo. Além disso, na prática do projeto, a maioria das empresas não dispõe de recursos suficientes para considerar, ou investigar, "todos" os clientes do projeto, durante as fases iniciais do desenvolvimento do produto. Por outro lado, existem aspectos relevantes que não devem ser desconsiderados durante o levantamento de necessidades, sob pena de pôr em risco o sucesso técnico e econômico do produto. Tais aspectos estão associados às fases do ciclo de vida do produto.

Todos os produtos, independentemente dos conhecimentos necessários para desenvolvê-los, da estrutura da empresa e da estrutura do mercado, têm um determinado ciclo de vida. Este ciclo, em geral, inicia-se pela fase de planejamento do produto, passa pelo projeto, fabricação, comercialização, utilização, entre outros, e termina com o descarte ou desativação do produto.

Sob cada uma dessas fases, consideram-se determinados conhecimentos para o desenvolvimento do produto, os interesses de determinadas áreas da empresa e os interesses de setores do mercado. Além disso, sob as fases do ciclo de vida, podem ser constituídos os profissionais de desenvolvimento do produto que formarão a equipe de projeto. Portanto, as fases do ciclo de vida do produto contemplam, de maneira geral e abrangente, aqueles afetados ou impactados pelo produto, desde sua origem até sua retirada. Constituem-se, desta maneira, numa base adequada de identificação e categorização dos clientes de projeto e de suas necessidades.

Diante dos clientes do projeto, o próximo passo na construção da "casa da qualidade" consiste no levantamento e na sistematização das necessidades ou interesses de cada um deles. Em geral, os meios que têm sido propostos para este fim referem-se aos consumidores ou aos usuários do produto na forma de pesquisa de mercado. Incluem-se, aí, por exemplo, entrevistas com amostras da população, disposição pública de produtos para avaliação, relatórios de reclamações e de garantia do produto, entre outros.

Considerando os clientes do projeto sob as fases do ciclo de vida do produto, os consumidores ou usuários do produto são contemplados, principalmente, sob a fase de utilização do produto. Entretanto, os demais clientes, do planejamento e projeto, da fabricação, da comercialização, entre outros, não têm sido considerados sob a pesquisa de mercado. Em geral, na literatura de projeto de engenharia, a investigação das necessidades ou interesses destes clientes tem sido proposta na forma de *checklists* sobre conteúdos ou assuntos importantes para o desenvolvimento do produto em cada área relacionada.

Dessa maneira, a investigação dos clientes do projeto e de seus interesses pode ser promovida através de questionários estruturados, de acordo com os principais aspectos de cada fase do ciclo de vida do produto. Assim, por exemplo, na fase do projeto, podem ser formuladas questões sobre o desempenho do produto, sobre suas funções, entre outras, cujas respostas são de responsabilidade do projetista. Da mesma forma, na fase de utilização do produto, podem ser formuladas questões sobre os tipos de usuários, suas habilidades, aparência do produto, entre outras, cujas respostas podem ser atribuídas ao pessoal de vendas da empresa, ao contratante do projeto ou aos próprios usuários do produto (pesquisa de mercado).

Considerando a discussão anterior, estabelecem-se as seguintes diretrizes para orientar o desenvolvimento e a implementação de ferramentas de apoio ao levantamento e sistematização das necessidades de projeto, como etapa inicial no processo de construção da "casa da qualidade":

1. estabelecer as fases do ciclo de vida do produto como base de categorização das

- informações de projeto;
- 2. definir os clientes do projeto de acordo com as fases do ciclo de vida do produto; e
- 3. elaborar questões investigativas para cada cliente do projeto de acordo com assuntos relevantes em cada fase do ciclo de vida do produto.

C.3.2 - Valoração das necessidades de projeto

O valor de uma necessidade pode ser entendido como uma indicação sobre como aquela necessidade deve ser considerada durante o desenvolvimento do produto. Em outras palavras, necessidades muito importantes deverão ser consideradas sem restrições no processo de desenvolvimento do produto. Por outro lado, necessidades menos importantes poderão ser consideradas em segundo plano.

Na prática usual, a valoração das necessidades é conduzida pelo julgamento da própria equipe de desenvolvimento, através da análise sistemática e debate sobre cada uma das necessidades e suas implicações. Pode ser utilizado, para auxiliar neste caso, o método *de comparação aos pares*, conforme ULLMAN [29].

De fato, embora se saiba sobre a importância da valoração das necessidades e sua utilização na determinação da importância dos requisitos de projeto, não se encontram regras muito bem definidas e objetivas para conduzi-la. Essa valoração é atribuída, normalmente, à experiência dos integrantes da equipe de projeto. Algumas orientações são encontradas com relação às escalas de valoração. Adicionalmente, podem ser estabelecidas algumas conjecturas sobre natureza do raciocínio durante a valoração de necessidades.

Sobre o tipo de escala, consideram-se, como orientação, as recomendações apresentadas por PAHL & BEITZ [12] sobre a graduação das escalas. Os autores sugerem que, quando os problemas sendo investigados ainda são pouco conhecidos, deve-se utilizar escalas com menor número de graduações (três elementos, por exemplo).

Outro fator a considerar é sobre os tipos de adjetivos empregados na escala de valoração. Eles devem ser os mais abrangentes possíveis para serem válidos ou aplicáveis a todas as necessidades sendo valoradas. Uma escala adequada, nesse caso, poderia ser: *1 - pouco importante, 3 - importante e 5 - muito importante*.

Outro aspecto importante na tarefa de valoração das necessidades é sobre o tipo de raciocínio empregado durante a valoração, para o qual podem ser formuladas algumas conjecturas. Por exemplo, quando se considera uma necessidade do tipo "*componente de fácil limpeza*", provavelmente virá à mente do avaliador algum tipo de experiência ou episódio

relacionado ao significado daquela declaração. Nesse caso, se estas experiências ou episódios tiverem sido positivas, ou seja, o avaliador não teve problemas com a limpeza de determinado produto ou componente, então o valor atribuído poderá ser de menor importância. Por outro lado, se a experiência ou episódio tiver sido negativa, ou seja, o avaliador teve ou enfrentou algum problema com a limpeza de produtos ou componentes, então o valor atribuído deverá ser maior. Estas conjecturas, apesar de simples, sugerem a seguinte diretriz: **durante a valoração de dada necessidade deve-se estimular ou promover meios para que ocorram analogias ou associações entre o significado daquela necessidade e produtos, sistemas ou situações similares experimentadas pelo avaliador.** Isso pode ser realizado, por exemplo, através de questões investigativas sobre a necessidade sendo avaliada ou de cenários que representam aquela necessidade.

Considere-se, ainda, a necessidade do tipo "*o componente deve ser de aparência agradável*". O raciocínio para atribuição de valores para essa necessidade pode levar a outras conjecturas. Primeiro, cada pessoa poderá ter um conceito diferente sobre o que é aparência de um produto. Poderá ser a cor, a forma, o acabamento, entre outros. Além disso, cada pessoa tem um sistema de valores próprio para estes conceitos. Nesse caso, a valoração poderá estar sendo atribuída pelo grau de conhecimento/valor sobre o(s) atributo(s) considerado(s). Se este(s) for(em) elevado(os), então, provavelmente, o valor atribuído será maior. Do contrário, o valor atribuído será menor. Isso sugere as seguintes observações:

- especialistas em determinadas áreas tenderão a "supervalorizar" aqueles aspectos ou atributos do produto declarados nas necessidades, os quais se referem à sua área de conhecimento; e
- deve-se promover meios para que os atributos sob valoração, em cada uma das necessidades, possam ser percebidos e entendidos de maneira similar por todos aqueles que participam do processo de valoração das necessidades.

Baseado nas observações anteriores, estabelecem-se as seguintes diretrizes para orientar a proposição e desenvolvimento de ferramentas de apoio ao projeto que contemplem mecanismos para valorar as necessidades de projeto:

1. utilizar escalas de valoração de menor número de elementos (recomendam-se três);
2. estimular a associação de cada necessidade com as experiências ou situações experimentadas pelo avaliador; e
3. esclarecer a todos os integrantes da equipe de projeto sobre os atributos de cada necessidade sendo avaliada.

C.3.3 - Tradução de necessidades em requisitos de projeto

A tradução de necessidades em requisitos de projeto constitui-se, em essência, no

estabelecimento dos problemas técnicos a serem resolvidos. Em outras palavras, um dado requisito de projeto especifica uma dada tarefa de projeto. Por exemplo, projetar o produto com comprimento reduzido, com baixo custo de manutenção, com alta resistência ao impacto, etc., são típicos requisitos que estabelecem problemas a serem resolvidos.

Apesar da importância desse procedimento, são poucas as orientações e os meios práticos de apoio encontrados para a sua efetiva realização. A tradução de necessidades em requisitos de projeto tem sido atribuída, normalmente, aos conhecimentos e à experiência dos integrantes da equipe de desenvolvimento do produto, principalmente de seu pessoal técnico. Isso, em princípio, não se constitui em maiores problemas se a equipe de desenvolvimento for composta por especialistas de cada área de desenvolvimento do produto, o que nem sempre é a realidade na maioria das empresas. Além disso, a tradução pode ser designada para aqueles profissionais que, mesmo sendo especialistas, não possuem, ainda, experiência suficiente em projetos anteriores.

Em parte, as dificuldades e a falta de apoio à tradução de necessidades em requisitos de projeto se devem à falta de uma caracterização, em maiores detalhes, da natureza das declarações de necessidades e de requisitos. Se tal caracterização for promovida, será possível, através de seus elementos, propor mecanismos ou orientações para apoiar a tradução. Esse assunto será discutido a seguir.

Para estudar as características dos requisitos de projeto e utilizá-las como base da proposição de auxílios à tradução de necessidades em requisitos de projeto, consideram-se, inicialmente, conforme a FIGURA C.2, alguns exemplos de típicos requisitos de projeto encontrados na literatura.

<p>Exemplo parcial de uma lista de requisitos de projeto, segundo PAHL & BEITZ [12] (p. 144, Fig. 6.2). Projeto de um medidor de combustível</p> <p>container: geometria: H (altura) = 100 mm - 600 mm; volume: 20-160 litros, 2-630 litros; forma fixada (não especificado)</p> <p>sistema a ser desenvolvido: geometria: considerar as restrições de conexão com o container cinemática: partes sem movimento</p> <p>sinal: medir conteúdo mínimo: 3% do máximo valor medir conteúdo de reserva por sinal especial</p> <p>produção: larga escala de produção; etc.</p>	<p>Exemplo de uma lista parcial de requisitos de projeto, segundo ULLMAN [29] (p. 120, Fig. 7.7) Projeto de um paralamas de bicicleta</p> <p>..... etapas de montagem (1); tempo de montagem (2 s); número de partes (2); número de ferramentas não padronizadas (0); % de água bloqueada (95 %) etc.</p> <hr/> <p>Exemplo de uma lista parcial de requisitos de projeto, segundo ROOZENBURG & EEKEL [1] (p. 174, Fig. III.1) Projeto de um container</p> <p>volume (394 cm³); segurança da chave (tipo x); peso vazio (2,4 kg); etapas de abertura (2); material (tipo k); ângulo de abertura (80 graus); força de fechamento (0,45 N)</p>
--	--

Figura C.2 - Exemplos de típicos requisitos de projeto.

De acordo com os exemplo da FIGURA C.2, fazem-se as seguintes observações:

- quanto ao formato: os requisitos apresentam-se na forma de um atributo e um valor-meta associado, na forma de orientações e na forma de funções do produto;
- quanto à natureza dos requisitos: os requisitos de projeto tratam sobre atributos de sistemas relacionados ao objeto de projeto, sobre atributos do objeto de projeto e sobre atributos do ciclo de vida do produto;
- quanto à estrutura da lista de requisitos: verificam-se dois tipos principais: uma lista simples, onde os atributos dos requisitos representam variáveis diretamente manipuláveis durante o desenvolvimento do produto, ou seja, não necessitam de desdobramentos adicionais, e uma estrutura hierárquica, onde as categorias e/ou subcategorias de requisitos representam atributos que necessitam de desdobramentos adicionais e não são diretamente manipuláveis.

Considerando as observações anteriores e a natureza de uma típica declaração de necessidade de projeto, tal como "*o produto deve ter dimensões reduzidas*", nota-se que a diferença entre as necessidades e os requisitos de projeto encontra-se, em parte, no grau de especificação dos atributos e valores de ambas as declarações. Nas declarações de necessidades os atributos são gerais (não mensuráveis) e os valores, qualitativos; nas declarações de requisitos, os atributos são específicos (mensuráveis) e os valores, quantitativos. Em outras palavras, os atributos/valores das declarações de requisitos podem ser diretamente verificados, o que não ocorre com os atributos/valores das declarações de necessidades.

Diante dessas observações, admitindo a existência de uma estrutura de atributos de dado domínio de aplicação (atributos do produto e atributos do ciclo de vida, por exemplo), parece adequado considerar que os atributos correspondentes aos níveis superiores da estrutura (categorias e/ou subcategorias) podem ser relacionados aos atributos das declarações de necessidades, e aqueles dos níveis inferiores, aos atributos das declarações de requisitos. Sob tais considerações, é possível derivar ou identificar requisitos de projeto (o atributo do requisito), comparando-se os atributos das declarações de necessidades com as categorias e/ou subcategorias de atributos da estrutura estabelecida. Essa idéia é mostrada na FIGURA C.3.

Seguindo a idéia da FIGURA C.3, o primeiro passo no desenvolvimento de auxílios à tradução de necessidades em requisitos de projeto consistê na elaboração de uma estrutura de atributos do domínio de aplicação. Uma orientação geral nesse sentido é mostrada na FIGURA C.4. Adicionalmente, para apoiar a configuração da estrutura de atributos, conforme a FIGURA C.4, podem ser empregados exemplos de *checklists* de requisitos apresentados na literatura. Nesses casos, já se encontram, em geral, estruturas de atributos parcialmente definidas. É necessário verificar, porém, se aqueles atributos se aplicam ao domínio sob consideração.

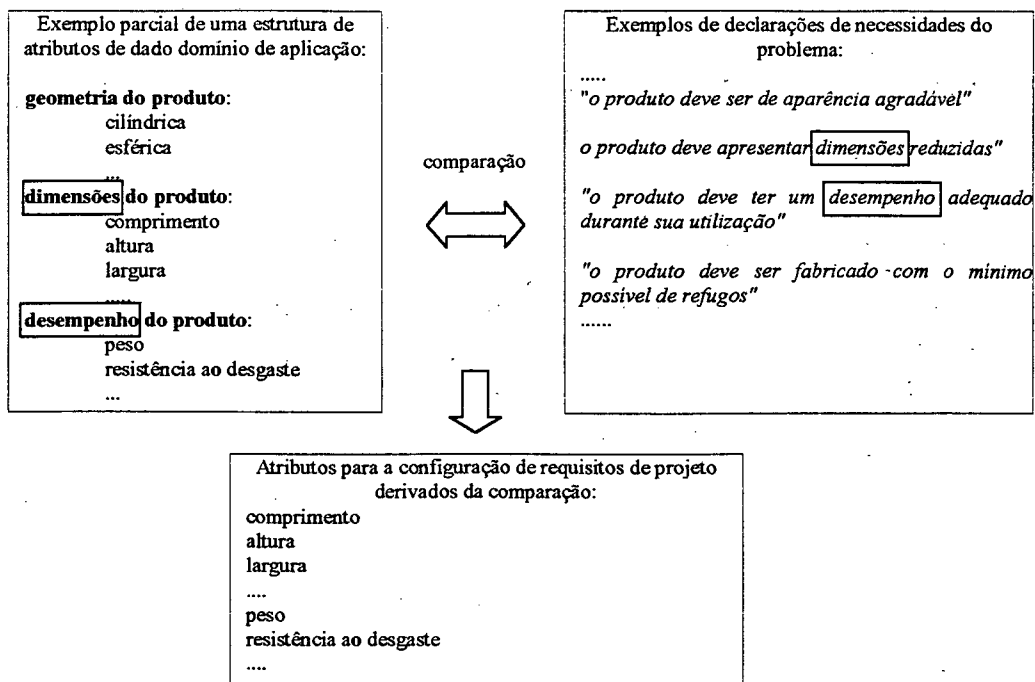


Figura C.3 - Exemplo de auxílio à tradução de necessidades em requisitos de projeto.

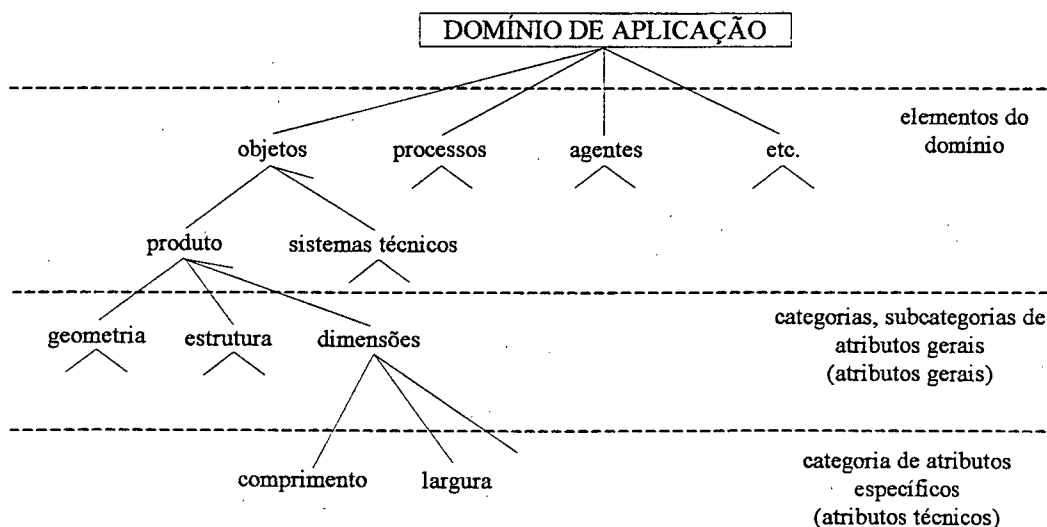


Figura C.4 - Orientação geral para a configuração de uma estrutura de atributos do domínio de aplicação.

Com relação aos valores dos atributos técnicos derivados na estrutura de atributos, para completar a declaração de requisito de projeto (atributo técnico + valor), pode-se considerar dois enfoques: primeiro, desenvolver uma base para a tradução de valores qualitativos (por exemplo, reduzido) em valores quantitativos (por exemplo, < 10 mm, < 10 kg, etc.); e, segundo, empregar uma escala qualitativa para valorar os atributos técnicos.

Sob tais enfoques, devido às dificuldades e à abrangência para elaborar uma base de tradução de valores qualitativos em quantitativos, que depende dos tipos de produtos, do

consenso entre os profissionais da área de interesse, entre outros aspectos, considera-se, num primeiro momento, a valoração qualitativa dos atributos técnicos identificados para configurar dado requisito de projeto, ou seja, conforme os enfoques tradicionais da "casa da qualidade": maximizar ou minimizar os requisitos de projeto.

Sob esse enfoque, a atribuição de valores para os atributos técnicos, correspondente ao valor do atributo da necessidade, é realizada verificando-se o sentido do valor desejado para o atributo da necessidade. Se for positivo (facilitar, agradar, aumentar, etc.), deve-se maximizar os atributos técnicos; se negativo (reduzido, evitar, diminuir, etc.), deve-se minimizar os atributos técnicos.

Sob a discussão anterior, as principais diretrizes para o desenvolvimento de ferramentas de auxílio à tradução de necessidades em requisito de projeto são:

1. investigar e estabelecer uma estrutura de atributos do domínio de aplicação;
2. desenvolver mecanismos para comparar os elementos das declarações de necessidades com os elementos da estrutura de atributos do domínio de aplicação.

C.3.4 - Relacionamento entre necessidades e requisitos de projeto

O propósito do relacionamento entre as necessidades e os requisitos de projeto é estabelecer um valor (grau de relacionamento) que indica qual é a dependência que existe entre ambas as informações. O conjunto dessas dependências será utilizado, posteriormente, para determinar a importância de cada requisito de projeto. Em princípio, aqueles requisitos que se relacionam fortemente com as necessidades terão maior importância no projeto do que aqueles que se relacionam fracamente, ou não apresentam relacionamentos.

Os relacionamentos entre as necessidades e os requisitos de projeto também podem ser empregados para avaliar as informações estabelecidas na "casa da qualidade" e traçar algumas estratégias para o desenvolvimento do produto. HAUSER & CLAUSING [91], por exemplo, estabelecem as seguintes regras para estes propósitos:

- se um dado requisito de projeto não está relacionado com nenhuma necessidade, então, provavelmente, aquele requisito pode ser redundante ou ter sido mal especificado;
- se uma dada necessidade não está relacionada com nenhum requisito de projeto, então, ao invés de eliminá-la, considera-se a possibilidade de expansão das propriedades do produto, traduzindo-a em outros requisitos de projeto.

Em geral, a atribuição dos relacionamentos entre as necessidades e os requisitos de projeto depende da experiência e do consenso entre os integrantes da equipe de desenvolvimento do produto. Esse consenso é obtido pela análise e debate sobre cada uma das atribuições

individuais de relacionamentos, as quais dependem das percepções de cada pessoa sobre os parâmetros ou conceitos sendo considerados em cada relação. Dados experimentais também podem ser utilizados para atribuir relacionamentos. AKAO [81] salienta que, se possível, devem ser encontradas formas para efetuar os relacionamentos com base em fatos ou análise de experimentos. Entretanto, caso isso não seja possível, dependendo da natureza das informações e dos recursos disponíveis, o autor recomenda que sejam diferenciados, na matriz, aqueles relacionamentos obtidos pela experiência, intuição, julgamento próprio, debate, entre outros, daqueles realizados pela análise de fatos ou experimentação. Isso pode ser feito, por exemplo, com símbolos de diferentes tipos. De certa forma, esse tipo de diferenciação estabelece uma idéia da “*confiabilidade da casa da qualidade*”, ou seja, quanto maior for o número de relacionamentos obtidos por fatos ou experimentação, maior será a confiabilidade da matriz resultante.

Os relacionamentos entre as necessidades e os requisitos de projeto são representados, em geral, através de símbolos, sendo cada um deles associado a um valor numérico de uma dada escala. Considerando o trabalho da equipe na atribuição de cada relacionamento, o símbolo resultante parece ser pouco para expressar todo o processo de raciocínio e a discussão que houve para chegar àquele resultado. Provavelmente, na mente de quem atribuiu um dado valor, ou no debate que ocorreu sobre um dado relacionamento, configuraram-se várias informações, de uma série de relações, analogias, implicações, entre processos, as quais não estão sendo expressadas no resultado final. Embora essas informações se tornem implícitas nos resultados da “*casa da qualidade*” (classificação dos requisitos, por exemplo), entende-se que ocorre aí uma *perda de informações* (de conhecimento e de experiência) sob dois enfoques principais: primeiro, aquelas informações poderiam levar, futuramente, a diferentes alternativas ou estratégias para o desenvolvimento do produto; e, segundo, no caso de reutilização da “*casa da qualidade*” ou na disseminação de seus resultados pela empresa, aquelas informações dificilmente serão capturadas por pessoas que não participaram efetivamente de sua elaboração. Essas dificuldades sugerem o desenvolvimento de mecanismos para capturar as informações consideradas em cada relacionamento atribuído na “*casa da qualidade*”.

Considerando a discussão do item C.3.3, o relacionamento entre uma dada necessidade e um dado requisito de projeto pode ser diretamente atribuído em função do processo de tradução. Em outras palavras, se dado requisito se originou pela identificação do atributo da necessidade na estrutura de atributos do domínio de aplicação, então este requisito está diretamente relacionado com aquela necessidade. Nesse caso, no próprio processo de tradução, podem ser

capturados os relacionamentos, que, em princípio, se caracterizam como relacionamentos fortes.

Demais orientações para auxiliar na atribuição de relacionamentos entre necessidades e requisitos de projeto podem ser formuladas na forma de regras, conforme os exemplos a seguir:

- 1 - Se as declarações de necessidades e de requisitos apresentam os mesmos atributos, **então** há indicativos de um dado relacionamento entre ambas as declarações (FIGURA C.5).

	Declarações de Requisitos	
Declarações de Necessidades	<i>a cor do produto deve ser clara</i>	<i>o peso do produto deve ser baixo</i>
<i>a cor do produto deve ser agradável</i>	RELACIONADO	NÃO RELACIONADO
Por quê?	o atributo "cor do produto" apareceu em ambas as declarações	os atributos "cor do produto" e "peso do produto" são diferentes

Figura C.5 - Exemplo de relacionamento atribuído pela comparação entre os tipos de atributos das declarações de necessidades e de requisitos.

- 2 - Se o valor do atributo da declaração de necessidade pode ser verificado pelo atributo da declaração de requisito, **então** há indicativos de um dado relacionamento entre ambas as declarações (FIGURA C.6).

	Declarações de Requisitos	
Declarações de Necessidades	<i>baixa energia para fechar a porta</i>	<i>ruido da porta baixo</i>
<i>a porta do carro deve ser fácil de fechar</i>	RELACIONADO	NÃO RELACIONADO
Por quê?	É possível verificar a facilidade de fechamento da porta pelo valor da energia necessária para tal	Não é possível verificar a facilidade de fechamento de uma porta através de seu ruído

Figura C.6 - Exemplo de relacionamento atribuído considerando a verificabilidade dos atributos da declaração de necessidade.

O desenvolvimento de regras dessa natureza pode ser ampliado até se chegar num conjunto suficiente para auxiliar, de forma consistente, na atribuição de relacionamentos entre necessidades e requisitos de projeto. Esse tipo de desenvolvimento faz parte dos princípios de configuração de sistemas especialistas de apoio à tomada de decisão.

Nota-se que, além das regras para verificar se existe, ou não, um dado relacionamento, é necessário estabelecer uma base de fatos sobre o domínio de aplicação, os quais se constituem de conhecimentos comprovados ou aceitos sobre os objetos ou processos daquele domínio.

Para exemplificar essas idéias, considere-se uma base de conhecimento hipotética e a aplicação de regras, conforme a FIGURA C.7.

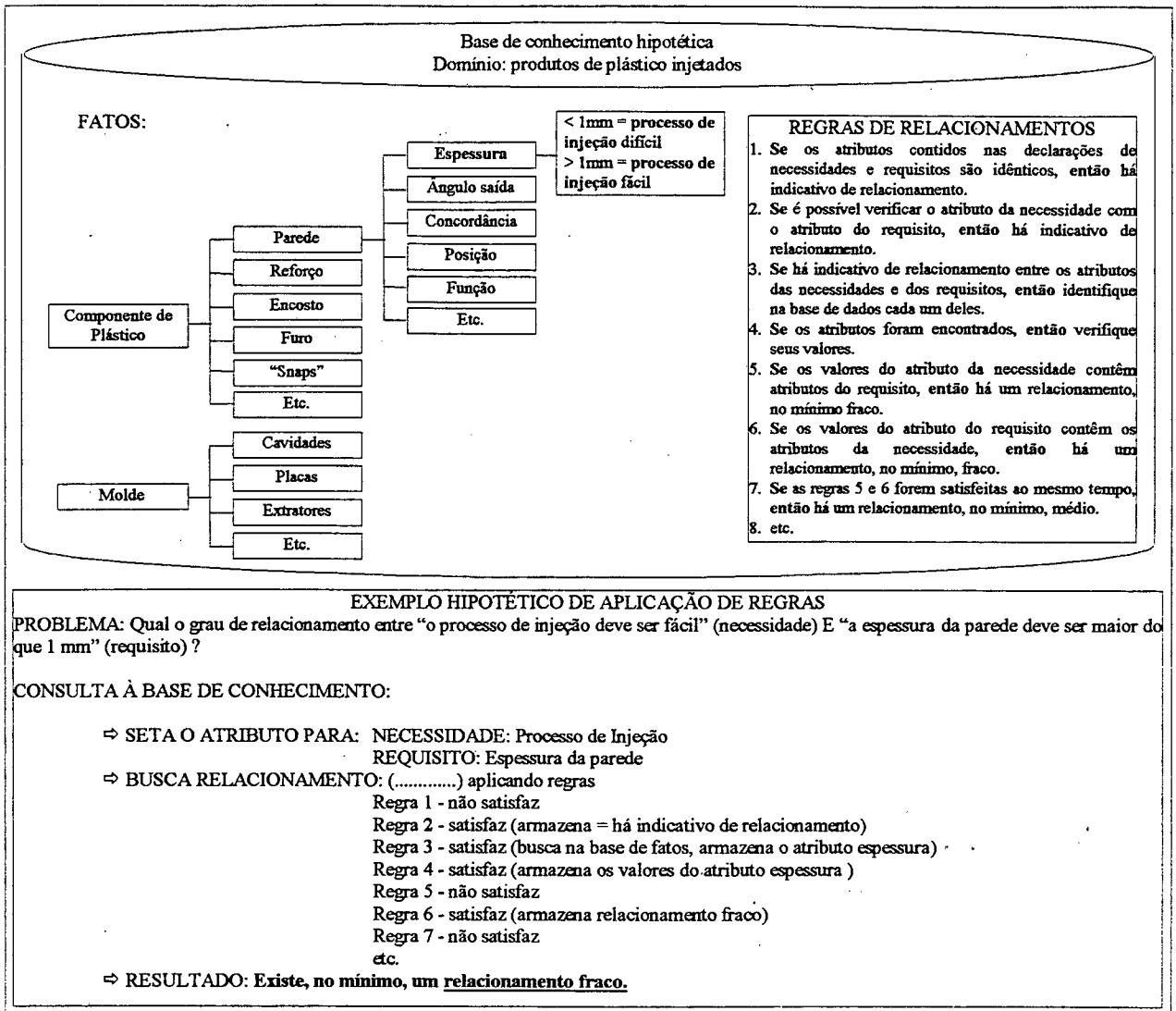


Figura C.7 - Exemplo de construção de uma base de conhecimento para auxiliar na atribuição de relacionamentos entre necessidades e requisitos de projeto.

De acordo com a FIGURA C.7, a base de conhecimento hipotética constitui-se, em parte, na sistematização e caracterização do domínio de aplicação (produtos de plástico injetados, por exemplo). Isso consiste numa estrutura de informações na forma de objetos/atributos/valores. Essa estrutura é construída com base no conhecimento existente e disponível sobre o domínio de aplicação (literatura, principalmente) e equivale, em parte, aos atributos do domínio, conforme discutido em C.3.3. Noutra parte são elaboradas as regras, através das quais se verifica, ou não, a existência de um determinado relacionamento entre necessidades e requisitos. Tais regras são construídas considerando a experiência dos especialistas em cada área de aplicação (heurísticas) e princípios de projeto. Através da base de conhecimento construída é possível verificar a existência de determinado relacionamento, consultando sistematicamente os elementos da base de conhecimento (fatos e regras). Resulta deste processo uma indicação ou orientação sobre o

provável relacionamento existente. A partir daí, a equipe de projeto decide pela aceitação, ou não, do relacionamento indicado.

Sob a discussão anterior, as principais diretrizes para o desenvolvimento de ferramentas de auxílio ao relacionamento entre necessidades e requisito de projeto são:

1. estabelecer mecanismos para registrar e recuperar o raciocínio e a discussão desenvolvida em torno da atribuição de um dado relacionamento entre necessidade e requisito de projeto; e
2. sistematizar o domínio de aplicação, através de fatos e regras, para auxiliar na atribuição dos relacionamentos entre as necessidades e os requisitos de projeto.

C.3.5 - Compromissos entre os requisitos de projeto

Outro tipo de relacionamento realizado na "casa da qualidade" consiste no estabelecimento dos compromissos entre os requisitos de projeto. Tais compromissos indicam a influência de um dado requisito, se este for modificado, sobre os demais. Por exemplo, os requisitos "*(-) custo do componente*" e "*(+) superfícies texturizadas*" têm relacionamento negativo, pois a obtenção de superfícies texturizadas implica, em geral, custos adicionais na fabricação do molde e, como consequência, maior custo para o componente.

Para estabelecer os compromissos entre os requisitos de projeto, faz-se uso dos conhecimentos técnicos e da experiência de cada um dos integrantes da equipe de projeto, através dos quais se procura identificar quais são as implicações e as consequências destas, quando dado requisito for alterado. Sob tais resultados identificam-se os tipos de relacionamentos entre os requisitos de projeto.

Essas observações sugerem que auxílios ao estabelecimento dos compromissos entre requisitos de projeto poderão ser obtidos através da configuração de uma "rede" de implicações entre os atributos de dado domínio de aplicação. Sob tal "rede" o projetista poderá obter indicativos sobre a natureza dos relacionamentos entre os requisitos de projeto.

Ocorre, entretanto, que a configuração de tal "rede" de implicações não é tão simples quanto se apresenta; ela dependerá de uma série de condições pelas quais cada um dos atributos do domínio de aplicação deverão ser considerados. Essas condições, por sua vez, poderão alterar-se de projeto para projeto, de modo que os relacionamentos considerados poderão não ter a mesma validade para diferentes projetos.

Um exemplo hipotético para a configuração de uma "rede" de implicações e o estabelecimento de típicos relacionamentos entre requisitos de projeto é mostrado na FIGURA C.8.

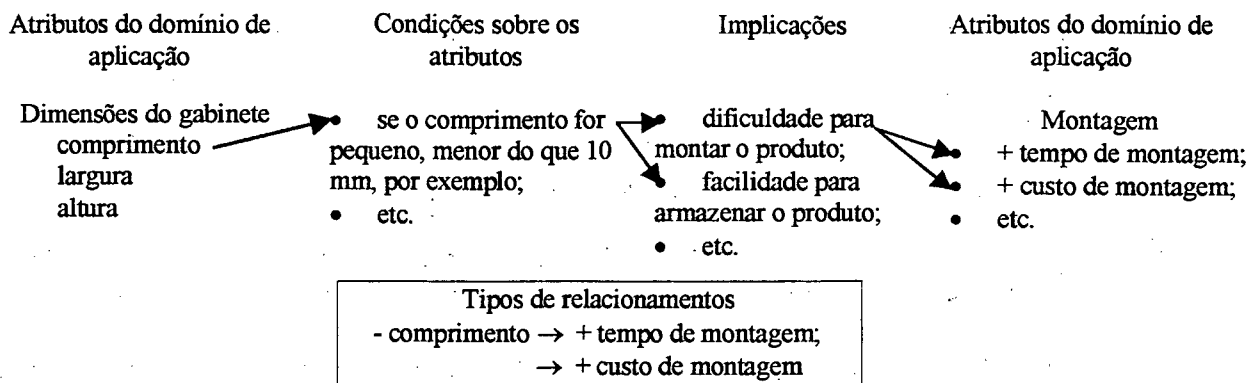


Figura C.8 - Exemplo de configuração de uma rede de implicações para estabelecer os tipos de relacionamentos entre os requisitos de projeto.

Supondo, agora, que todos os compromissos entre os requisitos de projeto tenham sido estabelecidos, seja através do auxílio de uma "rede" de implicações, seja por outros meios (experiência, debates, julgamento próprio, analogias, etc.), questiona-se, aqui, sobre a efetiva utilização daqueles compromissos na solução dos problemas de projeto. Ou seja, *"como os relacionamentos do telhado da "casa da qualidade" são utilizados para o desenvolvimento do produto?"*.

Na forma tradicional de utilização da "casa da qualidade", ou seja, para o reprojetado ou melhoramento do produto existente, as informações sobre os compromissos entre os requisitos de projeto são empregadas, por exemplo, para estabelecer estratégias para o desenvolvimento do produto. Assim, se o requisito "peso do produto" influencia negativamente os demais requisitos de projeto, então sua modificação (para + ou -) deve ser cuidadosamente analisada e, se possível, evitada.

No caso de projeto de novos produtos ou inovação de produtos existentes, os requisitos de projeto irão orientar na proposição ou na busca de princípios de solução para resolver o problema. Além disso, também serão empregados como critérios de avaliação das concepções obtidas. Assim, por exemplo, o requisito do tipo "minimizar o peso do produto" orienta o raciocínio do projetista durante o desenvolvimento da concepção no sentido de adotar ou desenvolver princípios de solução que levem, ao final, a um produto de menor peso. Os relacionamentos desse requisito com os demais também devem ser avaliados nas soluções propostas.

Se o número de requisitos de projeto e o relacionamento entre eles não for muito grande, esse procedimento poderá ser realizado sem grandes problemas. Entretanto, se o número de requisitos e de relacionamentos for elevado, muitos deles poderão ser desconsiderados ou subestimados, tornando a utilização dos compromissos entre os requisitos de projeto não efetiva

ou subutilizada.

Essas considerações sugerem o desenvolvimento de mecanismos para a utilização efetiva dos compromissos entre os requisitos de projeto durante a concepção do produto. Tais mecanismos podem ser configurados, por exemplo, sob os seguintes princípios:

- requisitos de projeto que apresentam relacionamentos positivos (forte ou médio) com os demais deverão ter seus pesos de importância enaltecidos durante o desenvolvimento das concepções; e
- requisitos de projeto que apresentam relacionamentos negativos (forte ou médio) com os demais deverão ter seus pesos de importância atenuados durante o desenvolvimento das concepções.

Essa proposta, e seus princípios, não apresenta embasamento científico para ser comprovada, mas vem da observação, em primeiro lugar, de que os relacionamentos do “telhado” da “casa da qualidade” têm sido pouco utilizados ou desconsiderados durante o desenvolvimento do produto. Adicionalmente, os requisitos relacionados positivamente variam numa mesma direção; assim, suas alterações são, em princípio, “melhores” para o projeto. Do contrário, os relacionamentos negativos são inversos, e suas alterações são “piores” para o projeto ou geram conflitos.

Para implementar essas propostas, foram desenvolvidos estudos, conforme HERMES et al. [76], em que foram testadas várias equações e escalas de relacionamentos entre os requisitos de projeto para “capturar” os relacionamentos do “telhado” e utilizá-los para reclassificar os requisitos de projeto. Entre as equações e as escalas testadas, aquelas que apresentaram melhores resultados na satisfação dos princípios anteriores são mostradas no exemplo da FIGURA C.9, aplicadas sobre o exemplo apresentado em HAUSER & CLAUSING [91].

De acordo com a FIGURA C.9, sob os resultados obtidos com a reclassificação dos requisitos, pode-se observar algumas tendências. Nota-se, por exemplo, que o requisito 1, que estava em 1º lugar na classificação tradicional, passou para 3º lugar na reclassificação em função do maior número de relacionamentos negativos com os demais. Por outro lado, o requisito 4, que estava em 2º lugar, passou para 1º em função do maior número de relacionamentos positivos no “telhado”. O requisito 8, por sua vez, manteve sua posição em função do “equilíbrio” entre o número de relacionamentos positivos e negativos. Obviamente, esse tipo de análise é bastante empírico. Entretanto, as tendências nos resultados obtidos estão de acordo com os princípios anteriores. São necessários, porém, estudos adicionais, em um maior número de exemplos, para certificar essas tendências e, se possível, definir relações gerais para reclassificar os requisitos de projeto.

EXEMPLO DE REQUISITOS DE PROJETO CLASSIFICADOS PELO MÉTODO TRADICIONAL, CONFORME HAUSER & CLAUSING [85].

Classificação	Importância	i	Valor	Requisito de Projeto
1º	10	1	-	Energia para fechamento da porta
3º	6	2	+	Força para mantê-la aberta ao nível do solo
4º	4	3	+	Força para mantê-la aberta com inclinação de 10º
2º	9	4	-	Energia para abertura da porta
7º	1	5	-	Força máxima de fechamento
3º	6	6	+	Resistência da vedação
6º	2	7	+	Transmissividade acústica pela janela
4º	4	8	+	Atenuação de ruído externo
5º	3	9	+	Resistência à ação da água

Equação proposta para a reclassificação dos requisitos (HERMES et al. [90]).

$$Pr_i = \sum_{j=1}^n \frac{p_i \times p_j}{p_i + p_j} \times gr_{ij}$$

Pr_i = peso do i -ésimo requisito, considerando os relacionamentos do telhado;
 n = número de requisitos de projeto;
 j = j -ésimo requisito relacionado com o i -ésimo requisito;
 p_i = peso do i -ésimo requisito obtido pelo método tradicional;
 p_j = peso do j -ésimo requisito obtido pelo método tradicional;
 gr_{ij} = grau de relacionamento entre o i -ésimo requisito e j -ésimo requisito;

Escala proposta para o telhado

Relação	Valor
⊙ - fortemente positivo	- 10
○ - médio positivo	- 5
- nulo	- 1
x - médio negativo	- 1/5
⊗ - fortemente negativo	- 1/10

REQUISITOS DE PROJETO RECLASSIFICADOS

Valor	Requisito de Projeto	Importância (c/ telhado)	Classificação tradicional ⇄ Classificação c/ telhado
-	Energia para fechamento da porta	64,4	1º ⇄ 3º
+	Força para mantê-la aberta ao nível do solo	39,9	3º ⇄ 5º
+	Força para mantê-la aberta com inclinação de 10º	38,6	4º ⇄ 7º
-	Energia para abertura da porta	82,4	2º ⇄ 1º
-	Força máxima de fechamento	8,6	7º ⇄ 9º
+	Resistência da vedação	72,7	3º ⇄ 2º
+	Transmissividade acústica pela janela	18,7	6º ⇄ 8º
+	Atenuação de ruído externo	55,8	4º ⇄ 4º
+	Resistência à ação da água	39,6	5º ⇄ 6º

Exemplo de Cálculo

$$Pr_{i1} = (P_1.P_1)/(P_1+P_1). gr_{11} + (P_1.P_2)/(P_1+P_2). gr_{12} + (P_1.P_3)/(P_1+P_3). gr_{13} + (P_1.P_4)/(P_1+P_4). gr_{14} + (P_1.P_5)/(P_1+P_5). gr_{15} + (P_1.P_6)/(P_1+P_6). gr_{16} + (P_1.P_7)/(P_1+P_7). gr_{17} + (P_1.P_8)/(P_1+P_8). gr_{18} + (P_1.P_9)/(P_1+P_9). gr_{19}, \text{ onde}$$

$$P_1 = 10; P_2 = 6; P_3 = 4; P_4 = 9; P_5 = 1; P_6 = 6; P_7 = 2; P_8 = 4; P_9 = 3$$

$$gr_{11} = 1; gr_{12} = 0,2; gr_{13} = 1; gr_{14} = 10; gr_{15} = 5; gr_{16} = 0,2; gr_{17} = 0,2; gr_{18} = 0,2; gr_{19} = 1$$

$$Pr_{i1} = 64,4; Pr_{i2} = 39,9; Pr_{i3} = 38,6; Pr_{i4} = 82,4; Pr_{i5} = 8,6; Pr_{i6} = 72,7; Pr_{i7} = 18,7; Pr_{i8} = 55,8; Pr_{i9} = 39,6$$

Figura C.9 - Exemplo de reclassificação dos requisitos de projeto, considerando os graus de relacionamento do telhado da casa da qualidade (HERMES et al. [76]).

Sob a discussão anterior, as principais diretrizes para o desenvolvimento de ferramentas de auxílio ao estabelecimento e utilização dos compromissos entre os requisitos de projeto são:

1. sistematizar os atributos de dado domínio de aplicação e configurar uma “rede” de implicações entre estes atributos;
2. desenvolver e testar mecanismos para a utilização efetiva dos compromissos entre os requisitos de projeto durante a concepção do produto.

C.4 - Considerações Finais

Considerando a discussão dos itens anteriores, verifica-se que, em cada etapa do processo de construção, apresentam-se problemas potenciais de desenvolvimento e melhoramento da "casa da qualidade". Para tal, foram identificadas e estabelecidas algumas diretrizes, visando orientar o desenvolvimento e a implementação da "casa da qualidade" como ferramenta de auxílio à especificação da tarefa de projeto.

Nota-se, sob as diretrizes estabelecidas, que grande parte das proposições trata sobre a sistematização das informações do domínio de aplicação, incluindo-se, aí, por exemplo, as fases do ciclo de vida do produto, os clientes do projeto, as questões para levantar as necessidades de projeto, os requisitos de projeto e suas características, as regras que capturam os conhecimentos e as experiências dos projetistas, as relações entre grandezas físicas, entre outros. Isso mostra, de certa forma, que a "casa da qualidade", por si só, tem pouco efeito se "desprovida de dados e de conhecimento". Portanto, a diretriz geral para a utilização efetiva da "casa da qualidade" consiste no desenvolvimento de uma base de dados e de conhecimento associada aos elementos de informação definidos na matriz, conforme o domínio de aplicação.

APÊNDICE D - Ícones de projeto dedicados ao domínio de gabinetes moldados por injeção

Os “ícones de projeto”, conforme o APÊNDICE A, item A.5, constituem-se em parcelas de conhecimentos sobre os elementos de dado domínio de aplicação, tais como objetos, processos, agentes, fenômenos, entre outros, na forma de fatos, episódios, procedimentos, regras, entre outros tipos de conhecimentos, que auxiliam no reconhecimento das relações entre necessidades e requisitos de projeto, com as funções do produto. Dessa maneira, se tais ícones forem sistematizados e relacionados com as funções do produto, é possível desenvolver auxílios especializados para a identificação das funções do produto, relacionando-se os ícones de projeto com as declarações de necessidades e requisitos do problema. Em outras palavras, os ícones de projeto constituem-se em “conceitos de transição” entre as declarações de necessidades e requisitos de projeto e as funções do produto.

Considerando o domínio de aplicação da presente tese e suas principais características, propõe-se uma base inicial de “ícones de projeto”, conforme a TABELA D.1, com ênfase na **utilização** do produto no qual o gabinete faz parte e levando em conta os principais elementos que se relacionam com o gabinete. Demais “ícones de projeto”, tais como aqueles relacionados à injeção do gabinete, à comercialização do produto, entre outros, e à extensão dos “ícones de projeto” propostos na TABELA D.1, devem ser considerados em trabalhos futuros.

Tabela D.1 - Base inicial de “ícones de projeto” relacionados a gabinetes de plástico injetado.

Tipos de conhecimentos	Elementos do domínio	Ícones de projeto propostos	Funções associadas (aplicáveis ao gabinete)
episódios (acontecimentos típicos no ciclo de vida de gabinetes)	usuário do produto (pessoa que irá comprar e utilizar o produto do qual o gabinete faz parte)	• na instalação do produto, em geral, o usuário não lê o manual do produto	• INFORMAR o usuário sobre as operações do sistema
		• na instalação do produto o usuário poderá desconsiderar a tensão da rede	• INFORMAR o usuário sobre a tensão de operação
		• na instalação do produto o usuário poderá deixá-lo cair no chão	• REFORÇAR o gabinete
		• na instalação do produto, o usuário poderá desconsiderar os ajustes necessários	• INFORMAR o usuário sobre as operações de ajuste • CONECTAR/DESCONECTAR o gabinete
		• antes da operação o usuário deverá instalar fontes de energia no produto (baterias)	• CONECTAR/DESCONECTAR o gabinete
		• quando o usuário finaliza a instalação do produto, observa seus aspectos gerais (externos)	• EXPRESSAR conceitos agradáveis ao usuário
		• após a instalação, o usuário verifica que o produto não opera	• INFORMAR o usuário sobre as operações de ajuste • CONECTAR/DESCONECTAR o gabinete
		• o usuário tem receio sobre as operações ou efeitos do produto	• EXPRESSAR conceitos de segurança ao usuário
		• o usuário que utiliza o produto tem pouca habilidade ou conhecimento técnico	• INFORMAR o usuário sobre as operações do sistema
		• após a instalação do produto, ou durante sua utilização, o usuário mostra-o a outras pessoas	• EXPRESSAR conceitos agradáveis às pessoas

Tabela D.1 - Continuação.

		<ul style="list-style-type: none"> • durante a utilização do produto suas partes internas poderão falhar • para a manutenção do produto o usuário deve desmontar o gabinete • etc. 	<ul style="list-style-type: none"> • PROTEGER o usuário • CONECTAR/DESCONECTAR o gabinete • etc.
	<p>ambiente do produto (local onde o produto no qual o gabinete faz parte será utilizado na maior parte de sua vida útil)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • no ambiente onde o produto será utilizado há excesso de impurezas, umidade, entre outros elementos nocivos • o produto deverá ser utilizado submerso em algum tipo de líquido • o produto será utilizado num ambiente sujeito a excesso de vibrações • etc. 	<ul style="list-style-type: none"> • PROTEGER as partes internas do sistema técnico • VEDAR o sistema técnico • REFORÇAR o gabinete • etc.
	<p>demais sistemas técnicos (qualquer sistema técnico do ambiente de utilização que tem alguma relação com o produto do qual o gabinete faz parte)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • o produto será utilizado num ambiente de estilo moderno • o produto será utilizado num ambiente futurista • o produto será utilizado com sistemas de geometria cilíndrica • etc. 	<ul style="list-style-type: none"> • INTEGRAR com demais sistemas técnicos • INTEGRAR com demais sistemas técnicos • COMBINAR com os demais sistemas técnicos • etc.
	<p>componentes do produto (todos aqueles componentes e/ou mecanismos que são responsáveis pelas funções operacionais do produto)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • durante a utilização do produto poderá haver superaquecimento de suas partes internas • durante a utilização do produto as partes internas poderão soltar-se • durante a utilização do produto será necessário acessar as partes internas • etc. 	<ul style="list-style-type: none"> • VENTILAR partes internas • FIXAR componentes • ARTICULAR partes • etc.
<p>fatos (situações conhecidas sobre gabinetes ou produtos que contenham gabinetes)</p>	<p>usuário do produto (pessoa que irá comprar e utilizar o produto do qual o gabinete faz parte)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • o produto será utilizado pelos operadores de máquinas da empresa • o produto deverá ser utilizado sob condições inseguras • etc. 	<ul style="list-style-type: none"> • ISOLAR as partes internas do sistema técnico • INFORMAR aos usuário sobre as operações do sistema técnico • EXPRESSAR conceitos de segurança ao usuário • etc.
	<p>ambiente do produto (local onde o produto do qual o gabinete faz parte será utilizado na maior parte de sua vida útil)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • o produto será utilizado no chão de fábrica da empresa • o produto está sujeito a impurezas de fabricação (cavacos quentes, líquidos quentes, etc.) • etc. 	<ul style="list-style-type: none"> • VEDAR o sistema técnico • REFORÇAR o gabinete • PROTEGER as partes internas do sistema técnico • VEDAR o sistema técnico • etc.
	<p>demais sistemas técnicos (qualquer sistema técnico do ambiente de utilização que tem alguma relação com o produto do qual o gabinete faz parte)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • o produto será utilizado sobre máquinas operatrizes • o produto será fixado nas superfícies de máquinas operatrizes • etc. 	<ul style="list-style-type: none"> • REFORÇAR o gabinete • REFORÇAR o gabinete • etc.
	<p>componentes do produto (todos aqueles componentes e/ou mecanismos que são responsáveis pelas funções operacionais do produto)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • o produto é constituído por placas de CI sensíveis • o produto é constituído por várias placas de CI; • além de placas de CI, o produto é constituído de fontes, displays e teclados • as partes internas do produto são predefinidas e não podem ser modificadas • etc. 	<ul style="list-style-type: none"> • SUPORTAR placas de CI • FIXAR placas de CI • ESPAÇAR placas de CI • ENCLAUSURAR componentes para a operação do sistema • ARRANJAR componentes internos do sistema • etc.
	<p>procedimentos (ações típicas no ciclo de vida de gabinetes ou produtos que contenham gabinetes)</p>		
<p>regras (recomendações típicas no ciclo de vida de gabinetes ou de produtos que contenham gabinetes)</p>			

APÊNDICE E - Princípios de solução para gabinetes moldados por injeção

Considerando as funções propostas para gabinetes moldados por injeção, conforme a TABELA 5.1 e a estrutura de caracterização de um dado princípio de solução, conforme a FIGURA 5.20, propõe-se, conforme a TABELA E.1, a seguir, algumas idéias iniciais de princípios de solução para gabinetes moldados por injeção.

Tabela E.1 - Princípios de solução para gabinetes de plástico.

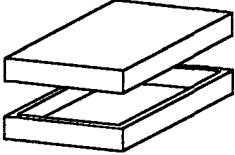
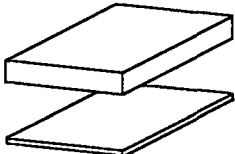
Funções (sinônimos)	Princípio de solução	Características
Enclausurar (confinar)	<p>TIPO BI-PARTIDO</p> 	<p>Descrição: solução de gabinete constituída de duas partes principais, geralmente similares, aplicada, em geral, para produtos ou sistemas técnicos manipulados manualmente, tais como, calculadoras, máquinas fotográficas, telefones, <i>mouse</i>, etc.</p> <p>Elementos associados: componentes internos, usuário, ambiente e demais sistemas técnicos.</p> <p>Qualidades no CV:</p> <p>competitividade boa: segue as tendências do mercado e possibilita configurações alternativas em suas superfícies;</p> <p>funcionalidade boa: cumpre adequadamente a função de enclausurar, associada à facilidade de montagem e desmontagem das partes, uma vez que, em geral, são unidas através de encaixes; torna o sistema compacto;</p> <p>projetabilidade boa: trata-se de uma solução simples e, se não houverem muitos detalhes em sua geometria, pode ser projetada sem maiores problemas;</p> <p>compatibilidade boa: é possível adaptar ou configurar várias outras soluções do gabinete considerando este princípio;</p> <p>moldabilidade boa: considerando as superfícies sem maiores detalhes, esta solução pode ser moldada sem maiores problemas;</p> <p>montabilidade boa: ambas as partes tem funções estruturais, de modo que a montagem dos componentes internos pode ser dividida; haverá alguma dificuldade, se a profundidade das partes for muito grande;</p> <p>vendabilidade boa: pelas superfícies amplas é possível configurar detalhes para atrair o comprador do produto</p> <p>utilizabilidade boa: pela compacticidade e simplicidade proporcionados não promoverá maiores dificuldades na utilização do produto;</p> <p>manutenibilidade média: como os elementos internos podem ser fixados em ambas as partes, no caso de danificação de uma delas, sua substituição poderá demandar tempo e custos adicionais; e</p> <p>desativabilidade média: dependerá dos conceitos de fixação dos componentes, que poderão dificultar a desmontagem.</p>
	<p>TIPO BASE/COBERTURA</p> 	<p>Descrição: solução de gabinete constituída de duas partes, sendo uma delas na forma de cobertura e outra na forma de base. A primeira destina-se ao fechamento do sistema, sem fins estruturais; a base suporta os elementos do sistema. Aplica-se, em geral, para monitores, transformadores, CD-ROM, etc.</p> <p>Elementos associados: componentes internos, usuário, ambiente e demais sistemas técnicos.</p> <p>Qualidades no CV:</p> <p>competitividade boa: segue as tendências do mercado e possibilita configurações alternativas em suas superfícies;</p> <p>funcionalidade boa: cumpre adequadamente a função de enclausurar, principalmente em sistemas de maior porte;</p> <p>projetabilidade boa: trata-se de uma solução simples e, se não houverem muitos detalhes em sua geometria, pode ser projetada sem maiores problemas;</p> <p>compatibilidade média: como a cobertura não tem, em geral, funções estruturais, a maior parte das fixações devem ser configuradas na base;</p> <p>moldabilidade média: se a cobertura for muito profunda e de parede fina, poderão ocorrer dificuldades de moldagem da mesma;</p> <p>montabilidade boa: a montagem dos componentes internos é feita sobre a base e, em geral, a cobertura é fixada através de parafusos;</p> <p>vendabilidade boa: pelas superfícies amplas é possível configurar detalhes para atrair o comprador do produto</p> <p>utilizabilidade média: poderá haver alguma dificuldade no transporte do produto, em função da cobertura não suportar grandes esforços;</p> <p>manutenibilidade média: a substituição da base pode ser complicada, diferentemente da cobertura; e</p> <p>desativabilidade média: a separação da cobertura é simples e a mesma poderá ser reaproveitada para outras funções; já, a base poderá apresentar maiores dificuldades para separação e aproveitamento.</p>

Tabela E.1 - Continuação.

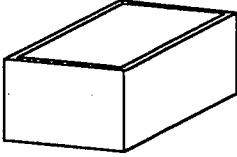
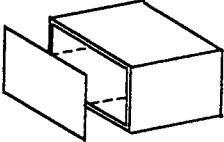
	<p style="text-align: center;">TIPO CASULO</p> 	<p>Descrição: solução constituída de uma única parte, que além do enclausuramento, também tem fins estruturais no produto, entretanto depende de partes adicionais para configurar um gabinete completo.</p> <p>Elementos associados: componentes internos, usuário, ambiente e demais sistemas técnicos.</p> <p>Qualidades no CV:</p> <p>competitividade boa: segue as tendências do mercado e possibilita configurações alternativas em suas superfícies;</p> <p>funcionalidade média: cumpre parcialmente a função de enclausurar os componentes do sistema técnico;</p> <p>projetabilidade boa: trata-se de uma solução simples e, se não houverem muitos detalhes em sua geometria, pode ser projetada sem maiores problemas;</p> <p>compatibilidade boa: não apresenta maiores restrições para a configuração de outros elementos em suas superfícies;</p> <p>moldabilidade média: poderá apresentar dificuldades na configuração e extração do componente do molde, dependendo das soluções configuradas sobre as superfícies desta solução;</p> <p>montabilidade média: dependendo da profundidade do componente, o acesso e manipulação de componentes em seu interior poderá ser dificultado;</p> <p>vendabilidade boa: pelas superfícies amplas é possível configurar detalhes para atrair o comprador do produto</p> <p>utilizabilidade boa: além de fins estruturais, confere ao sistema uma certa unidade (conjunto);</p> <p>manutenibilidade média: a substituição deste componente pode ser complicada, dependendo dos tipos de fixações com as demais partes do sistema técnico; e</p> <p>desativabilidade média: a separação deste componente pode ser dificultada, além de poucas possibilidades de reaproveitamento.</p>
	<p style="text-align: center;">TIPO RACK (GAVETA)</p> 	<p>Descrição: solução constituída de duas partes principais que apresentam movimento linear relativo entre si; aplica, em geral, para sistemas onde o acesso às partes internas é freqüente (instrumentos, eletrodomésticos, etc.).</p> <p>Elementos associados: componentes internos, usuário, ambiente e demais sistemas técnicos.</p> <p>Qualidades no CV:</p> <p>competitividade boa: segue as tendências do mercado e possibilita configurações alternativas em suas superfícies;</p> <p>funcionalidade boa: cumpre a função de enclausurar os componentes do sistema técnico, além de permitir o fácil acesso às suas partes internas;</p> <p>projetabilidade média: trata-se de uma solução simples, porém demanda cuidados adicionais para o adequado movimento entre as partes (precisão dimensional, tolerância, etc.);</p> <p>compatibilidade boa: não apresenta maiores restrições para a configuração de outros elementos em suas superfícies;</p> <p>moldabilidade média: se a parte fixa for muito profunda e de parede fina, poderão ocorrer dificuldades de moldagem da mesma;</p> <p>montabilidade boa: em geral, os componentes do sistema são montados na parte móvel, que pode ser removida para tais propósitos;</p> <p>vendabilidade boa: pelas superfícies amplas é possível configurar detalhes para atrair o comprador do produto;</p> <p>utilizabilidade boa: além de fins estruturais e de enclausuramento, confere ao sistema uma solução "aberta"; e</p> <p>manutenibilidade boa: em princípio as partes podem ser facilmente separadas;</p> <p>desativabilidade boa: há boas possibilidades de reaproveitamento da parte fixa desta solução.</p>
	etc.	

Tabela E.1 - Continuação.


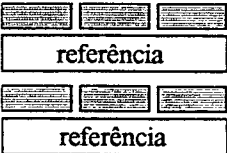
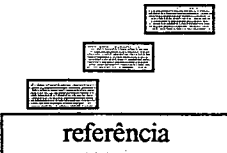
<p>Arranjar (dispor, ordenar)</p>	<p>ARRANJO NO PLANO</p> 	<p>Descrição: solução onde os componentes e/ou mecanismos internos do sistema técnico são dispostos num mesmo plano em relação a uma mesma referência.</p> <p>Elementos associados: componentes internos.</p> <p>Qualidades no CV:</p> <p>competitividade: -;</p> <p>funcionalidade boa: estabelece uma dada ordem na disposição entre os elementos;</p> <p>projetabilidade boa: trata-se de uma solução simples e que segue uma mesma referência para o arranjo dos elementos;</p> <p>compatibilidade boa: não oferece restrições para as demais soluções do gabinete</p> <p>modalidade boa: sob uma mesma referência poderão ser simplificadas as configurações geométricas dos demais elementos necessários para o arranjo (elementos de fixação, por exemplo);</p> <p>montabilidade boa: uma mesma referência e plano de arranjo facilita o acesso e manipulação dos elementos durante a montagem/desmontagem;</p> <p>vendabilidade: -;</p> <p>utilizabilidade: -;</p> <p>manutenibilidade boa: uma mesma referência e plano de arranjo facilita o acesso e manipulação dos elementos durante a montagem/desmontagem; e</p> <p>desativabilidade boa: uma mesma referência e plano de arranjo facilita o acesso e manipulação dos elementos durante a montagem/desmontagem.</p>
	<p>ARRANJO EM CAMADAS</p> 	<p>Descrição: solução onde os componentes e ou mecanismos internos do sistema técnico são dispostos em diferentes planos, sob diferentes referências.</p> <p>Elementos associados: componentes internos.</p> <p>Qualidades no CV:</p> <p>competitividade: -;</p> <p>funcionalidade boa: estabelece uma dada ordem na disposição entre os elementos;</p> <p>projetabilidade média: as múltiplas referências poderão complicar a configuração geométrica das superfícies de referência;</p> <p>compatibilidade média: poderá haver algum tipo de interferência com as demais soluções do gabinete;</p> <p>modalidade ruim: exigirá elementos adicionais para apoio e fixação dos componentes;</p> <p>montabilidade ruim: os acessos aos componentes poderão ser dificultados, exigindo operações adicionais de montagem/desmontagem;</p> <p>vendabilidade: -;</p> <p>utilizabilidade: -;</p> <p>manutenibilidade ruim: os acessos aos componentes poderão ser dificultados, exigindo operações adicionais de montagem/desmontagem; e</p> <p>desativabilidade ruim: os acessos aos componente poderão ser dificultados, exigindo operações adicionais de montagem/desmontagem.</p>
	<p>ARRANJO SOBREPOSTO</p> 	<p>Descrição: solução onde os componentes e/ou mecanismos internos do sistema técnico são dispostos em diferentes planos, porém sob uma mesma referência.</p> <p>Elementos associados: componentes internos.</p> <p>Qualidades no CV:</p> <p>competitividade: -;</p> <p>funcionalidade boa: estabelece uma dada ordem na disposição entre os elementos;</p> <p>projetabilidade média: a disposição sobreposta dos elementos poderá dificultar a configuração geométrica da superfície de referência;</p> <p>compatibilidade média: poderá haver algum tipo de interferência com as demais soluções do gabinete;</p> <p>modalidade média: poderá exigir elementos adicionais para apoio e fixação dos componentes;</p> <p>montabilidade média: poderá dificultar o acesso aso componentes;</p> <p>vendabilidade: -;</p> <p>utilizabilidade: -;</p> <p>manutenibilidade média: poderá dificultar o acesso aso componentes; e</p> <p>desativabilidade média: poderá dificultar o acesso aso componentes.</p>
	<p>etc.</p>	

Tabela E.1 - Continuação.

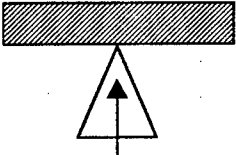
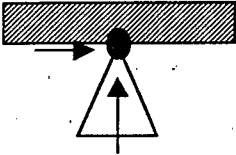
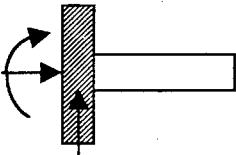
Suportar (apoiar)	<p>APOIO SIMPLES</p> 	<p>Descrição: apoio que impede deslocamento linear numa direção. Elementos associados: componentes internos. Qualidades no CV: competitividade: -; funcionalidade ruim: promove reação em apenas uma direção; projetabilidade boa: trata-se, geralmente, de elementos geométricos simples; compatibilidade boa: os pares geométricos podem ser facilmente configurados; moldabilidade boa: os elementos geométricos resultantes geralmente são simples; montabilidade boa: prevê apenas a aproximação e contato entre os elementos; vendabilidade: -; utilizabilidade: -; manutenabilidade: -; e desativabilidade: -.</p>
	<p>APOIO TIPO RÓTULA</p> 	<p>Descrição: apoio que impede deslocamento linear em duas direções concorrentes; Elementos associados: componentes internos Qualidades no CV: competitividade: -; funcionalidade média: promove reação em duas direções; projetabilidade média: envolve um terceiro elemento ou mudança de geometria para cumprir a função; compatibilidade média: poderá exigir configurações alternativas dos demais elementos; moldabilidade média: as configurações resultantes poderão apresentar formas mais complexas; montabilidade média: exige, em geral, a inserção de um terceiro elemento; vendabilidade -; utilizabilidade: -; manutenabilidade média: a existência de um terceiro elemento pressupõe operações de montagem/desmontagem; e desativabilidade: -.</p>
	<p>APOIO ENGASTADO</p> 	<p>Descrição: apoio que impede deslocamentos lineares e angulares. Elementos associados: componentes internos. Qualidades no CV: competitividade: -; funcionalidade boa: promove reação em três direções; projetabilidade média: poderá promover estudos adicionais para elementos dimensionalmente não uniformes; compatibilidade média: poderá promover restrições aos demais elementos de solução do componente; moldabilidade média: dependerá da uniformidade entre os elementos; montabilidade: -; vendabilidade: -; utilizabilidade: -; manutenabilidade: -; e desativabilidade: -.</p>
etc.		

Tabela E.1 - Continuação.

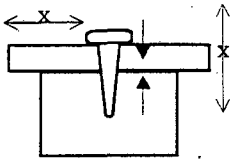
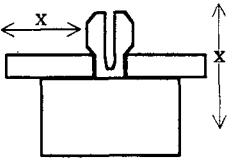
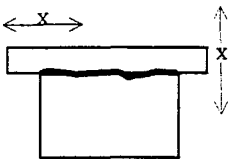
Fixar (segurar)	<p style="text-align: center;">POR FORÇA</p> 	<p>Descrição: solução onde as posições dos elementos em contato são garantidas pelo atrito gerado entre eles.</p> <p>Elementos associados: componentes internos.</p> <p>Qualidades no CV:</p> <p>competitividade -;</p> <p>funcionalidade boa: cumpre a função de fixação das partes;</p> <p>projetabilidade média: dependerá do dimensionamento e especificação adequada do elemento de fixação (parafuso, por exemplo);</p> <p>compatibilidade média: exigirá adequação dos elementos a serem fixados;</p> <p>moldabilidade ruim: promoverá tempo e custos adicionais na fabricação do molde;</p> <p>montabilidade média: dependerá do número de fixações necessárias (tempo de montagem/desmontagem); necessita de ferramenta para a montagem/desmontagem;</p> <p>vendabilidade -;</p> <p>utilizabilidade -;</p> <p>manutenabilidade média: dependerá do número de fixações necessárias (tempo de montagem/desmontagem); e</p> <p>desativabilidade boa: os elementos podem ser facilmente separáveis e poderá haver reaproveitamento de partes (parafuso, por exemplo).</p>
	<p style="text-align: center;">POR FORMA</p> 	<p>Descrição: solução onde as posições dos elementos em contato são garantidas pelas restrições de forma entre eles.</p> <p>Elementos associados: componentes internos.</p> <p>Qualidades no CV:</p> <p>competitividade -;</p> <p>funcionalidade média: cumpre a função de fixação das partes, porém poderá haver folga entre elas;</p> <p>projetabilidade média: dependerá do dimensionamento adequado do elemento de fixação (<i>snap</i>, por exemplo);</p> <p>compatibilidade média: exigirá adequação dos elementos a serem fixados;</p> <p>moldabilidade média: promoverá custos adicionais na fabricação do molde;</p> <p>montabilidade boa: não necessita de ferramenta para montagem/desmontagem;</p> <p>vendabilidade -;</p> <p>utilizabilidade -;</p> <p>manutenabilidade ruim: se o elemento de fixação falhar, não poderá ser substituído; e</p> <p>desativabilidade -.</p>
	<p style="text-align: center;">POR MATERIAL</p> 	<p>Descrição: solução onde as posições dos elementos em contato são mantidas pela adesão ou coesão molecular.</p> <p>Elementos associados: componentes internos.</p> <p>Qualidades no CV:</p> <p>competitividade -;</p> <p>funcionalidade boa: cumpre a função de fixação das partes;</p> <p>projetabilidade boa: não exigirá grandes esforços para dimensionamento ou especificação da junta;</p> <p>compatibilidade média: dependerá dos materiais dos elementos em contato;</p> <p>moldabilidade -;</p> <p>montabilidade ruim: não prevê montagem/desmontagem dos elementos;</p> <p>vendabilidade -;</p> <p>utilizabilidade -;</p> <p>manutenabilidade média: dependerá do tipo de material ou princípio empregado para a fixação (adesão ou coesão); e</p> <p>desativabilidade média: dependerá do tipo de material ou princípio empregado para a fixação (adesão ou coesão).</p>
	etc.	

Tabela E.1 - Continuação.

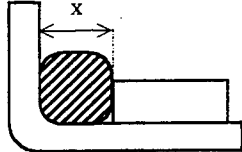
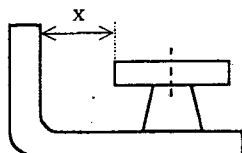
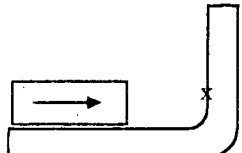
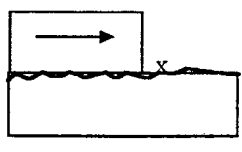
Espaçar	<p>DE CONTATO DIRETO</p> 	<p>Descrição: solução onde o espaçamento entre os elementos é estabelecido por contato direto com um terceiro elemento.</p> <p>Elementos associados: componentes internos.</p> <p>Qualidades no CV:</p> <p>competitividade -;</p> <p>funcionalidade boa: cumpre a função e garante, pela rigidez do elemento, os espaçamentos necessários;</p> <p>projetabilidade boa: não promove esforço adicional para dimensionamento ou especificação dos elementos;</p> <p>compatibilidade boa: não exigirá adaptações nos demais elementos;</p> <p>moldabilidade -;</p> <p>montabilidade boa: não necessita de esforço adicional ou ferramenta para a montagem/desmontagem;</p> <p>vendabilidade -;</p> <p>utilizabilidade -;</p> <p>manutenibilidade boa: o elemento poderá ser facilmente substituído; e</p> <p>desativabilidade boa: o elemento poderá ser facilmente separado.</p>
	<p>DE CONTATO INDIRETO</p> 	<p>Descrição: solução onde o espaçamento entre os elementos é estabelecido pela fixação na estrutura.</p> <p>Elementos associados: componentes internos.</p> <p>Qualidades no CV:</p> <p>competitividade -;</p> <p>funcionalidade boa: cumpre a função e garante, pela rigidez dos elementos, os espaçamentos necessários;</p> <p>projetabilidade média: demanda estudos adicionais para o arranjo dos elementos;</p> <p>compatibilidade média: exigirá certas adaptações nos elementos;</p> <p>moldabilidade média: exigirá elementos adicionais para promover o espaçamento;</p> <p>montabilidade média: exigirá esforço adicional para a montagem/desmontagem dos elementos;</p> <p>vendabilidade -;</p> <p>utilizabilidade -;</p> <p>manutenibilidade média: se houver falha na fixação (folga, por exemplo) poderá exigir esforço adicional para recuperar as posições desejadas dos elementos; e</p> <p>desativabilidade média: exigirá certo esforço para separar os elementos.</p>
	etc.	
Limitar (restringir)	<p>ELEMENTO RÍGIDO</p> 	<p>Descrição: solução onde o movimento do elemento é limitado pela rigidez de determinado elemento.</p> <p>Elementos associados: componentes internos.</p> <p>Qualidades no CV:</p> <p>competitividade -;</p> <p>funcionalidade boa: cumpre a função com posição limite definida;</p> <p>projetabilidade boa: não exigirá estudos adicionais;</p> <p>compatibilidade boa: não impõe restrições à configuração de outras soluções;</p> <p>moldabilidade boa: não impõe à moldagem das demais soluções;</p> <p>montabilidade -;</p> <p>vendabilidade -;</p> <p>utilizabilidade boa: posição limite definida;</p> <p>manutenibilidade ruim: se limitador falhar exigirá custos adicionais para substituição de partes; e</p> <p>desativabilidade -.</p>
	<p>POR ATRITO</p> 	<p>Descrição: solução onde o movimento dos elementos é limitado pelo atrito entre as partes em contato.</p> <p>Elementos associados: componentes internos.</p> <p>Qualidades no CV:</p> <p>competitividade -;</p> <p>funcionalidade média: cumpre a função com posição limite indefinida;</p> <p>projetabilidade média: exigirá estudos sobre as condições de atrito entre as partes;</p> <p>compatibilidade média: dependerá dos materiais empregados (coeficiente de atrito);</p> <p>moldabilidade média: dependerá dos materiais empregados;</p> <p>montabilidade -;</p> <p>vendabilidade -;</p> <p>utilizabilidade média: posição limite indefinida;</p> <p>manutenibilidade ruim: se houver falha (desgaste, por exemplo) poderá haver custos adicionais para substituição de partes; e</p> <p>desativabilidade -.</p>
	etc.	

Tabela E.1 - Continuação.

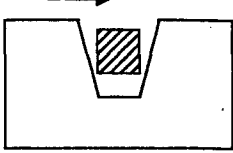
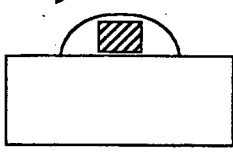
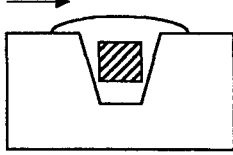
Esconder	<p style="text-align: center;">REBAIXO</p> 	<p>Descrição: solução onde as restrições são evitadas escondendo os elementos através de rebaiços.</p> <p>Elementos associados: componentes internos.</p> <p>Qualidades no CV:</p> <ul style="list-style-type: none"> competitividade ruim: poderá causar má impressão no componente; funcionalidade boa: cumpre totalmente a função; projetabilidade boa: não exige esforços adicionais; compatibilidade média: dependerá das dimensões dos demais elementos; moldabilidade média: promoverá custos adicionais; montabilidade boa: sem restrições; vendabilidade ruim: poderá causar má impressão no produto; utilizabilidade -; manutenabilidade -; e desativabilidade -.
	<p style="text-align: center;">COBERTURA</p> 	<p>Descrição: solução onde as restrições são evitadas escondendo os elementos com uma cobertura.</p> <p>Elementos associados: componentes internos.</p> <p>Qualidades no CV:</p> <ul style="list-style-type: none"> competitividade média: proporcionará discordâncias nas superfícies do componente; funcionalidade média: cumpre a função reduzindo o "nível de restrições" mas não eliminando-as por completo; projetabilidade boa: não exige esforços adicionais; compatibilidade média: exigirá um terceiro elemento que poderá ser incompatível com as demais soluções; moldabilidade boa: não promove condições adicionais; montabilidade ruim: exigirá princípio de fixação adicional; vendabilidade média: poderá causar má impressão no produto; utilizabilidade -; manutenabilidade -; e desativabilidade -.
	<p style="text-align: center;">REBAIXO/COBERTURA</p> 	<p>Descrição: solução onde as restrições são evitadas combinando rebaixo e cobertura.</p> <p>Elementos associados: componente internos.</p> <p>Qualidades no CV:</p> <ul style="list-style-type: none"> competitividade boa: evita a má impressão do produto e poderá ser utilizada para promover algum efeito especial; funcionalidade boa: cumpre a função e minimiza, ao máximo, as restrições; projetabilidade boa: não exigirá esforços adicionais; compatibilidade média: exigirá um terceiro elemento que poderá ser incompatível com as demais soluções; moldabilidade média: promoverá custos adicionais; montabilidade ruim: exigirá princípio de fixação adicional; vendabilidade boa: pode ser utilizada como efeito especial para o produto; utilizabilidade -; manutenabilidade -; e desativabilidade -.
	etc.	

Tabela E.1 - Continuação.

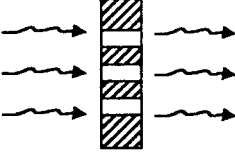
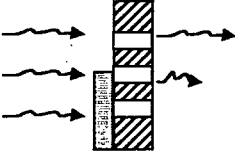
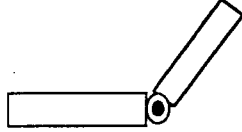
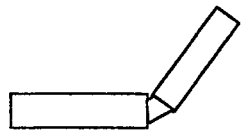
Ventilar	<p>ABERTURAS FIXAS</p> 	<p>Descrição: solução onde os componentes internos são ventilados através de aberturas fixas na parede do produto.</p> <p>Elementos associados: componentes internos.</p> <p>Qualidades no CV:</p> <ul style="list-style-type: none"> competitividade boa: segue o padrão usual empregado na maioria dos produtos; funcionalidade boa: cumpre a função sem maiores problemas; projetabilidade média: exigirá estudos adicionais sobre a eficiência da ventilação promovida; compatibilidade média: dependerá da configuração dos demais elementos do sistema; moldabilidade média: promoverá custos adicionais; montabilidade -; vendabilidade boa: além de cumprir a função, informa a função; utilizabilidade média: dependerá da eficiência da solução adotada; manutenabilidade ruim: poderá exigir serviços adicionais; e desativabilidade -.
	<p>ABERTURAS REGULÁVEIS</p> 	<p>Descrição: solução onde os componentes internos são ventilados através de aberturas reguláveis na parede do produto.</p> <p>Elementos associados: componentes internos.</p> <p>Qualidades no CV:</p> <ul style="list-style-type: none"> competitividade média: poderá não atender determinada faixa de mercado; funcionalidade boa: cumpre a função sem maiores problemas; projetabilidade média: exigirá estudos adicionais sobre a eficiência da ventilação promovida; compatibilidade média: dependerá da configuração dos demais elementos do sistema; moldabilidade média: promoverá custos adicionais; montabilidade ruim: exigirá outros elementos para a função; vendabilidade média: pode causar a impressão de esforço adicional para o usuário; utilizabilidade média: dependerá da eficiência da solução adotada; manutenabilidade ruim: poderá exigir serviços e custos adicionais; e desativabilidade ruim: exigirá esforços adicionais para a separação dos elementos.
etc.	etc.	
Articular	<p>COM RÓTULA</p> 	<p>Descrição: solução onde a articulação entre os elementos é promovida por rótula.</p> <p>Elementos associados: componentes internos.</p> <p>Qualidades no CV:</p> <ul style="list-style-type: none"> competitividade boa: segue as tendências de mercado promovendo funcionalidades adicionais ao produto; funcionalidade boa: cumpre a função sem maiores problemas; projetabilidade média: exigirá estudos adicionais sobre as condições de funcionamento da junção; compatibilidade média: dependerá das dimensões e geometria dos demais elementos; moldabilidade média: promoverá custos adicionais; montabilidade média: promoverá operações adicionais; vendabilidade boa: poderá ser utilizado como motivo de venda; utilizabilidade boa: estende as funções do produto; manutenabilidade média: exigirá operações e custos adicionais de substituição de partes; e desativabilidade média: exigirá operações adicionais de desmontagem.
	<p>PELA ELASTICIDADE DO MATERIAL</p> 	<p>Descrição: solução onde a articulação entre os elementos é promovida pela elasticidade do material.</p> <p>Elementos associados: componentes internos.</p> <p>Qualidades no CV:</p> <ul style="list-style-type: none"> competitividade boa: poderá promover inovação no produto; funcionalidade boa: cumpre a função sem maiores problemas; projetabilidade média: exigirá estudos adicionais para promover a articulação desejada; compatibilidade boa: pode ser adotada sob diferentes geometrias e dimensões; moldabilidade média: promoverá custos adicionais; montabilidade -; vendabilidade boa: poderá ser utilizado como motivo de venda; utilizabilidade boa: estende as funções do produto; manutenabilidade boa: solução integrada; e desativabilidade boa: solução integrada.
etc.	etc.	

Tabela E.1 - Continuação.

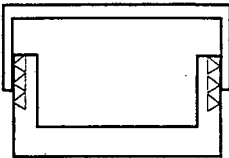
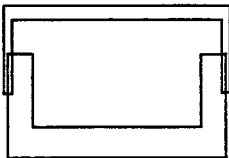
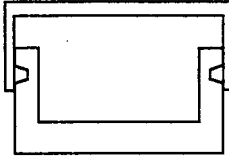
Conectar/ desconectar	<p>POR ROSCA (FORÇA/FORMA)</p> 	<p>Descrição: solução onde a conexão se dá através de elementos roscados. Elementos associados: usuário do produto.</p> <p>Qualidades no CV: competitividade ruim: restrito à elementos cilíndricos; funcionalidade boa: cumpre a função sem maiores problemas; projetabilidade média: exigirá esforços adicionais no projeto da rosca; compatibilidade ruim: restrito à elementos cilíndricos; moldabilidade ruim: promove custos adicionais; montabilidade boa: não exige esforços adicionais; vendabilidade boa: pode ser utilizado como motivo de venda; utilizabilidade boa: fácil e rápido acesso aos componentes internos; manutenabilidade ruim: promoverá custos adicionais na reposição de partes; e desativabilidade boa: as partes podem ser facilmente separadas.</p>
	<p>POR INTERFERÊNCIA (FORÇA)</p> 	<p>Descrição: solução onde a conexão se dá por interferência entre os elementos. Elementos associados: usuário do produto.</p> <p>Qualidades no CV: competitividade boa: adotável para diferentes geometrias; funcionalidade boa: cumpre a função sem maiores problemas; projetabilidade boa: não exigirá esforços adicionais no projeto da junta; compatibilidade boa: adequada à diferentes geometrias; moldabilidade boa: não exigirá custos adicionais; montabilidade média: dependendo da força de interferência poderá exigir ferramentas para montagem/desmontagem; vendabilidade boa: pode ser utilizado como motivo de venda; utilizabilidade média: dependendo da força de interferência poderá exigir ferramentas para montagem/desmontagem; manutenabilidade boa: poucos custos na reposição de peças; e desativabilidade boa: as partes podem ser facilmente separadas.</p>
	<p>POR FORMA</p> 	<p>Descrição: solução onde a conexão se dá pela forma dos elementos. Elementos associados: usuário do produto.</p> <p>Qualidades no CV: competitividade boa: adotável para diferentes geometrias; funcionalidade boa: cumpre a função sem maiores problemas; projetabilidade boa: não exigirá esforços adicionais no projeto da junta; compatibilidade boa: adequada à diferentes geometrias; moldabilidade média: exigirá custos adicionais; montabilidade boa: não exige esforços adicionais; vendabilidade boa: pode ser utilizado como motivo de venda; utilizabilidade boa: fácil e rápido acesso aos componentes internos; manutenabilidade boa: poucos custos na reposição de peças; e desativabilidade boa: as partes podem ser facilmente separadas.</p>
	etc.	

Tabela E.1 - Continuação.

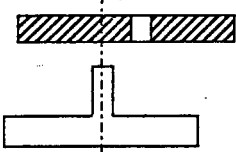
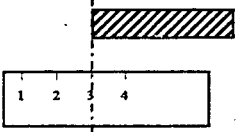
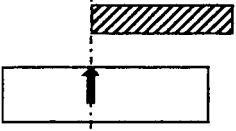
Posicionar	<p>REFERÊNCIA FÍSICA</p> 	<p>Descrição: solução onde o posicionamento dos elementos é orientado por uma referência física.</p> <p>Elementos associados: usuário do produto.</p> <p>Qualidades no CV:</p> <p>competitividade -;</p> <p>funcionalidade boa: cumpre a função sem maiores problemas;</p> <p>projetabilidade boa: não exigirá esforços adicionais de projeto;</p> <p>compatibilidade média: dependerá da configuração e arranjo dos demais elementos;</p> <p>moldabilidade ruim: promoverá custos adicionais;</p> <p>montabilidade -;</p> <p>vendabilidade -;</p> <p>utilizabilidade boa: facilitará a montagem dos componentes;</p> <p>manutenabilidade ruim: se a referência falhar (quebra do elemento de referência, por exemplo), proporcionará custos adicionais para substituição; e</p> <p>desativabilidade -.</p>
	<p>ESCALA</p> 	<p>Descrição: solução onde o posicionamento dos elementos é orientado por uma escala.</p> <p>Elementos associados: usuário do produto.</p> <p>Qualidades no CV:</p> <p>competitividade -;</p> <p>funcionalidade boa: cumpre a função sem maiores problemas;</p> <p>projetabilidade boa: não exigirá esforços adicionais de projeto;</p> <p>compatibilidade boa: pode adequar-se à diferentes geometria e dimensões;</p> <p>moldabilidade boa: sem maiores custos adicionais;</p> <p>montabilidade -;</p> <p>vendabilidade -;</p> <p>utilizabilidade boa: facilitará a montagem dos componentes;</p> <p>manutenabilidade ruim: se a referência falhar (número apagados, por exemplo), proporcionará custos adicionais para reconstrução; e</p> <p>desativabilidade -.</p>
	<p>MARCA</p> 	<p>Descrição: solução onde o posicionamento dos elementos é orientado por uma marca (gravada ou depressão na superfície, por exemplo).</p> <p>Elementos associados: usuário do produto.</p> <p>Qualidades no CV:</p> <p>competitividade -;</p> <p>funcionalidade boa: cumpre a função sem maiores problemas;</p> <p>projetabilidade boa: não exigirá esforços adicionais de projeto;</p> <p>compatibilidade boa: pode adequar-se à diferentes geometria e dimensões;</p> <p>moldabilidade média: promoverá algum custo adicional;</p> <p>montabilidade -;</p> <p>vendabilidade -;</p> <p>utilizabilidade boa: facilitará a montagem dos componentes;</p> <p>manutenabilidade ruim: se a referência falhar (marca apagada, por exemplo), proporcionará custos adicionais para reconstrução; e</p> <p>desativabilidade -.</p>
	etc.	

Tabela E.1 - Continuação.

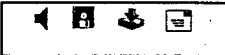

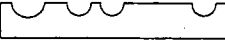
Informar	<p style="text-align: center;">VISUAL</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center; margin-bottom: 10px;"> <p>TEXTO</p> </div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;">  </div>	<p>Descrição: solução onde as informações ao usuário são promovidas através de texto e símbolos gráficos sobre as superfícies do componente.</p> <p>Elementos associados: usuário do produto.</p> <p>Qualidades no CV:</p> <p>competitividade boa: pode ser empregada para inovar o produto;</p> <p>funcionalidade boa: cumpre a função sem maiores problemas;</p> <p>projetabilidade boa: não exigirá esforços adicionais;</p> <p>compatibilidade boa: pode adequar-se a diferentes geometrias e dimensões;</p> <p>moldabilidade -;</p> <p>montabilidade -;</p> <p>vendabilidade boa: pode ser utilizada como motivo de venda;</p> <p>utilizabilidade boa: facilita o entendimento do usuário;</p> <p>manutenabilidade média: poderá desgastar com o tempo, promovendo custos adicionais de reconstrução; e</p> <p>desativabilidade -.</p>
	<p style="text-align: center;">TÁTIL</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center; margin-bottom: 10px;">  </div> <p style="text-align: center;">FORMA</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;">  </div>	<p>Descrição: solução onde as informações ao usuário são promovidas através de elementos físicos sobre as superfícies.</p> <p>Elementos associados: usuário do produto.</p> <p>Qualidades no CV:</p> <p>competitividade boa: pode ser empregada para inovar o produto;</p> <p>funcionalidade média: cumpre a função, mas dependerá do tipo de usuário;</p> <p>projetabilidade boa: não exigirá esforços adicionais;</p> <p>compatibilidade boa: pode adequar-se a diferentes geometrias e dimensões;</p> <p>moldabilidade ruim: exigirá custos adicionais;</p> <p>montabilidade -;</p> <p>vendabilidade boa: pode ser utilizada como motivo de venda;</p> <p>utilizabilidade média: poderá dificultar o entendimento do usuário;</p> <p>manutenabilidade ruim: se falhar (rompimento de algum elemento de informação, por exemplo) promoverá custos adicionais de reconstrução; e</p> <p>desativabilidade -.</p>
	etc.	

Tabela E.1 - Continuação.

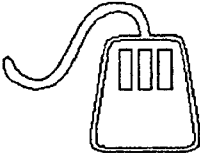
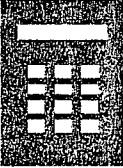

Expressar (agradar, estimular)	<p>FORMA ASSOCIADA</p> 	<p>Descrição: solução onde os conceitos são expressados ao usuário através de formas definidas e conhecidas.</p> <p>Elementos associados: usuário do produto.</p> <p>Qualidades no CV:</p> <p>competitividade boa: proporciona a possibilidade de inovação do produto;</p> <p>funcionalidade boa: cumpre a função sem maiores problemas;</p> <p>projetabilidade média: poderá causar esforço adicional de projeto;</p> <p>compatibilidade média: dependerá dos demais elementos do sistema;</p> <p>moldabilidade ruim: causará custos adicionais;</p> <p>montabilidade média: poderá causar esforço adicional, dependendo dos demais elementos;</p> <p>vendabilidade boa: poderá ser utilizado como motivo de venda;</p> <p>utilizabilidade boa: facilita o entendimento do produto e agrada ao usuário;</p> <p>manutenibilidade média: se o produto sair de linha, a reposição de peças poderá ser comprometida; e</p> <p>desativabilidade boa: os componentes poderão ser reaproveitados para outras funções (ornamentos, por exemplo).</p>
	<p>FORMA CLÁSSICA</p> 	<p>Descrição: solução onde os conceitos são expressados ao usuário através de formas clássicas ou usuais de gabinetes.</p> <p>Elementos associados: usuário do produto.</p> <p>Qualidades no CV:</p> <p>competitividade média: mantém o estado atual da técnica;</p> <p>funcionalidade boa: cumpre a função sem maiores problemas;</p> <p>projetabilidade boa: sem grandes esforços adicionais;</p> <p>compatibilidade boa: segue um padrão de solução;</p> <p>moldabilidade boa: segue um padrão de solução;</p> <p>montabilidade boa: segue um padrão de solução;</p> <p>vendabilidade média: poucos elementos de apelo ao usuário;</p> <p>utilizabilidade boa: segue um padrão de solução;</p> <p>manutenibilidade boa: segue um padrão de solução; e</p> <p>desativabilidade boa: as partes poderão ser reaproveitadas em outros produtos.</p>
	<p>FORMA EXÓTICA</p> 	<p>Descrição: solução onde os conceitos são expressados ao usuário através de formas exóticas ou desconhecidas.</p> <p>Elementos associados: usuário do produto.</p> <p>Qualidades no CV:</p> <p>competitividade boa: proporciona a possibilidade de inovação do produto;</p> <p>funcionalidade boa: cumpre a função sem maiores problemas;</p> <p>projetabilidade média: poderá causar esforço adicional de projeto;</p> <p>compatibilidade média: dependerá dos demais elementos do sistema;</p> <p>moldabilidade ruim: causará custos adicionais;</p> <p>montabilidade média: poderá causar esforço adicional, dependendo dos demais elementos;</p> <p>vendabilidade boa: poderá ser utilizado como motivo de venda;</p> <p>utilizabilidade média: poderá dificultar o entendimento sobre o produto;</p> <p>manutenibilidade média: se o produto sair de linha, a reposição de peças poderá ser comprometida; e</p> <p>desativabilidade boa: os componentes poderão ser reaproveitados para outras funções (ornamentos, por exemplo).</p>
	<p><i>etc.</i></p>	

Tabela E.1 - Continuação.

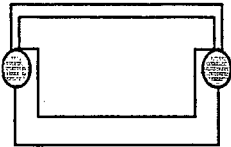
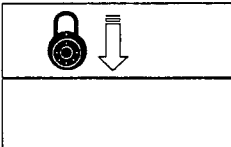
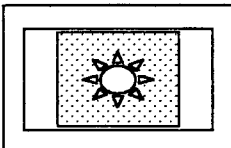
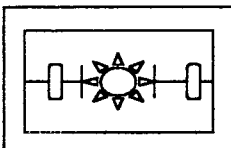
Isolar	<p>LACRE FÍSICO</p> 	<p>Descrição: solução onde o acesso do usuário ao sistema é evitado através de lacre físico.</p> <p>Elementos associados: usuário do produto.</p> <p>Qualidades no CV:</p> <p>competitividade -;</p> <p>funcionalidade boa: cumpre a função sem maiores problemas;</p> <p>projetabilidade boa: não exigirá esforços adicionais;</p> <p>compatibilidade média: dependerá dos demais elementos;</p> <p>moldabilidade média: poderá promover custos adicionais;</p> <p>montabilidade média: exigirá esforços adicionais;</p> <p>vendabilidade boa: poderá ser utilizado como motivo de venda;</p> <p>utilizabilidade boa: evita problemas no sistema;</p> <p>manutenabilidade ruim: dependendo da solução exigirá substituição de partes adicionais; e</p> <p>desativabilidade ruim: causará esforços adicionais de separação de partes.</p>
	<p>SINAIS DE ALERTA</p> 	<p>Descrição: solução onde o acesso do usuário ao sistema é evitado através de sinais de alerta.</p> <p>Elementos associados: usuário do produto.</p> <p>Qualidades no CV:</p> <p>competitividade -;</p> <p>funcionalidade média: cumpre a função mas não evita totalmente o acesso (dependerá do tipo de usuário);</p> <p>projetabilidade boa: não exigirá esforços adicionais;</p> <p>compatibilidade boa: poderá ser adequada a diferentes geometrias e dimensões;</p> <p>moldabilidade -;</p> <p>montabilidade -;</p> <p>vendabilidade boa: poderá ser utilizado como motivo de venda;</p> <p>utilizabilidade média: não evita totalmente o acesso;</p> <p>manutenabilidade ruim: se falhar (desgaste do sinal, por exemplo), a função não será cumprida e exigirá esforço adicional de reconstrução; e</p> <p>desativabilidade -.</p>
	<p>etc.</p>	
Proteger	<p>MEIO ELÁSTICO</p> 	<p>Descrição: solução onde a operação do sistema é garantida através de meio elástico, principalmente contra vibrações ou choques.</p> <p>Elementos associados: ambiente do produto.</p> <p>Qualidades no CV:</p> <p>competitividade -;</p> <p>funcionalidade média: cumpre a função até determinados limites de influência;</p> <p>projetabilidade ruim: causará esforço adicional de projeto;</p> <p>compatibilidade ruim: dependerá da configuração e arranjo dos demais elementos;</p> <p>moldabilidade média: poderá causar custos adicionais;</p> <p>montabilidade média: poderá causar esforços adicionais;</p> <p>vendabilidade boa: poderá ser utilizada como motivo de venda;</p> <p>utilizabilidade -;</p> <p>manutenabilidade ruim: poderá necessitar uma desmontagem completa do sistema; e</p> <p>desativabilidade ruim: exigirá esforços adicionais de separação das partes.</p>
	<p>POR AJUSTAGEM</p> 	<p>Descrição: solução onde a operação do sistema é garantida através de meios de ajustagem.</p> <p>Elementos associados: ambiente do produto.</p> <p>Qualidades no CV:</p> <p>competitividade -;</p> <p>funcionalidade média: cumpre a função, até determinados limites de influência;</p> <p>projetabilidade ruim: causará esforço adicional de projeto;</p> <p>compatibilidade ruim: dependerá da configuração e arranjo dos demais elementos;</p> <p>moldabilidade média: poderá causar custos adicionais;</p> <p>montabilidade média: poderá causar esforços adicionais;</p> <p>vendabilidade boa: poderá ser utilizada como motivo de venda;</p> <p>utilizabilidade -;</p> <p>manutenabilidade ruim: poderá necessitar uma desmontagem completa do sistema; e</p> <p>desativabilidade ruim: exigirá esforços adicionais de separação das partes.</p>
	<p>etc.</p>	

Tabela E.1 - Continuação.

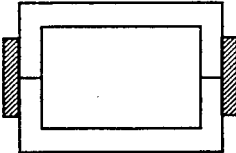
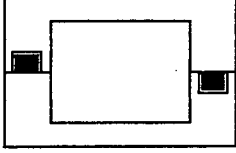
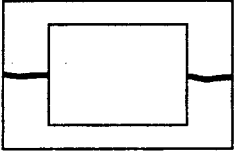
Vedar	<p>RESTRIÇÃO FÍSICA</p> 	<p>Descrição: solução onde o fluxo de grandezas é evitado através de restrição física.</p> <p>Elementos associados: ambiente do produto.</p> <p>Qualidades no CV:</p> <ul style="list-style-type: none"> competitividade -; funcionalidade média: dependerá da intensidade do fluxo das grandezas (pressão, por exemplo); projetabilidade média: exigirá esforço adicional de projeto; compatibilidade média: dependerá da geometria e dimensões dos demais elementos; moldabilidade -; montabilidade média: exigirá esforços adicionais de montagem; vendabilidade -; utilizabilidade -; manutenabilidade média: exigirá esforços adicionais de montagem e custos adicionais; e desativabilidade média: exigirá esforços adicionais de desmontagem.
	<p>RESTRIÇÃO DE FORMA</p> 	<p>Descrição: solução onde o fluxo de grandezas é evitado através de restrição de forma.</p> <p>Elementos associados: ambiente do produto.</p> <p>Qualidades no CV:</p> <ul style="list-style-type: none"> competitividade -; funcionalidade média: dependerá da intensidade do fluxo das grandezas (pressão, por exemplo); projetabilidade média: exigirá esforço adicional de projeto; compatibilidade média: dependerá da geometria e dimensões dos demais elementos; moldabilidade média: promoverá custos adicionais; montabilidade média: exigirá esforços adicionais de montagem; vendabilidade -; utilizabilidade -; manutenabilidade média: exigirá esforços adicionais de montagem; e desativabilidade -.
	<p>RESTRIÇÃO POR MATERIAL</p> 	<p>Descrição: solução onde o fluxo de grandezas é evitado através de restrição por material.</p> <p>Elementos associados: ambiente do produto.</p> <p>Qualidades no CV:</p> <ul style="list-style-type: none"> competitividade -; funcionalidade boa: cumpre a função sem maiores problemas; projetabilidade média: exigirá esforço adicional de projeto; compatibilidade média: dependerá da geometria e dimensões dos demais elementos; moldabilidade -; montabilidade média: exigirá esforços adicionais de montagem; vendabilidade -; utilizabilidade -; manutenabilidade ruim: exigirá substituição de partes adicionais; e desativabilidade ruim: exigirá esforços adicionais de desmontagem.
	etc.	

Tabela E.1 - Continuação.

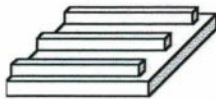
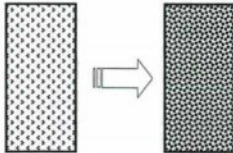
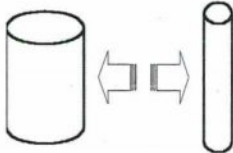
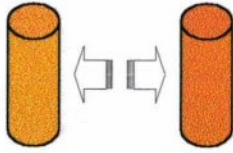
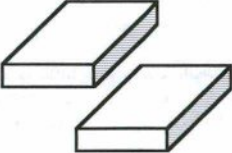
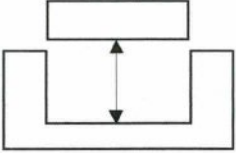
Reforçar	<p>NERVURAS</p> 	<p>Descrição: solução onde a integridade estrutural do gabinete é estabelecida através de nervuras de reforço.</p> <p>Elementos associados: ambiente do produto.</p> <p>Qualidades no CV:</p> <p>competitividade -;</p> <p>funcionalidade boa: cumpre a função até certos limites de carregamentos;</p> <p>projetabilidade média: exigirá esforços adicionais de projeto;</p> <p>compatibilidade média: dependerá da geometria, dimensões e configuração dos demais elementos;</p> <p>moldabilidade média: promoverá custos adicionais;</p> <p>montabilidade -;</p> <p>vendabilidade -;</p> <p>utilizabilidade -;</p> <p>manutenabilidade -; e</p> <p>desativabilidade -.</p>
	<p>PROPRIEDADE DO MATERIAL</p> 	<p>Descrição: solução onde a integridade estrutural do gabinete é estabelecida através das propriedades do material.</p> <p>Elementos associados: ambiente do produto.</p> <p>Qualidades no CV:</p> <p>competitividade -;</p> <p>funcionalidade boa: cumpre a função até certos limites de carregamentos;</p> <p>projetabilidade boa: poucos esforços de projeto;</p> <p>compatibilidade boa: não depende das demais soluções;</p> <p>moldabilidade média: promoverá custos adicionais;</p> <p>montabilidade -;</p> <p>vendabilidade -;</p> <p>utilizabilidade -;</p> <p>manutenabilidade -; e</p> <p>desativabilidade -.</p>
	etc.	
Integrar	<p>POR FORMAS EQUIVALENTE</p> 	<p>Descrição: solução onde a uniformidade conceitual das soluções é estabelecida por formas equivalentes.</p> <p>Elementos associados: sistemas técnicos.</p> <p>Qualidades no CV:</p> <p>competitividade boa: segue tendências do mercado;</p> <p>funcionalidade boa: cumpre a função sem maiores problemas;</p> <p>projetabilidade média: poderá exigir esforços adicionais de projeto;</p> <p>compatibilidade média: dependerá da geometria e dimensões dos demais elementos;</p> <p>moldabilidade média: poderá promover custos adicionais;</p> <p>montabilidade -;</p> <p>vendabilidade boa: poderá ser utilizada como motivo de venda;</p> <p>utilizabilidade -;</p> <p>manutenabilidade -; e</p> <p>desativabilidade -.</p>
	<p>POR CORES EQUIVALENTES</p> 	<p>Descrição: solução onde a uniformidade conceitual das soluções é estabelecida por cores equivalentes.</p> <p>Elementos associados: sistemas técnicos.</p> <p>Qualidades no CV:</p> <p>competitividade boa: segue tendências do mercado;</p> <p>funcionalidade boa: cumpre a função sem maiores problemas;</p> <p>projetabilidade boa: não exigirá esforços adicionais de projeto;</p> <p>compatibilidade boa: não depende da geometria e dimensões dos demais elementos;</p> <p>moldabilidade média: poderá promover custos adicionais;</p> <p>montabilidade -;</p> <p>vendabilidade boa: poderá ser utilizada como motivo de venda;</p> <p>utilizabilidade -;</p> <p>manutenabilidade -; e</p> <p>desativabilidade -.</p>
	etc.	

Tabela E.1 - Continuação.

Combinar (concordar)	<p>POR GEOMETRIA EQUIVALENTE</p> 	<p>Descrição: solução onde a uniformidade e estabilidade entre os elementos é obtida por geometria equivalente.</p> <p>Elementos associados: sistemas técnicos.</p> <p>Qualidades no CV:</p> <p>competitividade boa: poderá ser utilizada para inovar o produto;</p> <p>funcionalidade boa: cumpre a função sem maiores problemas;</p> <p>projetabilidade média: poderá exigir esforços adicionais de projeto;</p> <p>compatibilidade média: dependerá da geometria, dimensões e configuração dos demais elementos;</p> <p>moldabilidade média: poderá promover custos adicionais;</p> <p>montabilidade -;</p> <p>vendabilidade boa: poderá ser utilizada como motivo de venda;</p> <p>utilizabilidade -;</p> <p>manutenabilidade -; e</p> <p>desativabilidade -.</p>
	<p>POR TOLERÂNCIAS EQUIVALENTE</p> 	<p>Descrição: solução onde a uniformidade e estabilidade entre os elementos é obtida por tolerâncias equivalente.</p> <p>Elementos associados: sistemas técnicos.</p> <p>Qualidades no CV:</p> <p>competitividade média: poderá proporcionar incompatibilidades entre os sistemas;</p> <p>funcionalidade boa: cumpre a função sem maiores problemas;</p> <p>projetabilidade média: poderá exigir esforços adicionais de projeto;</p> <p>compatibilidade média: dependerá da geometria, dimensões e configuração dos demais elementos;</p> <p>moldabilidade média: poderá promover custos adicionais;</p> <p>montabilidade -;</p> <p>vendabilidade média: poderá ser utilizada como motivo de venda;</p> <p>utilizabilidade -;</p> <p>manutenabilidade -; e</p> <p>desativabilidade -.</p>
etc.	etc.	

APÊNDICE F - Uma proposta para a implementação de sistema especialista de apoio à concepção de gabinetes injetados

F.1 - Introdução

No projeto de produtos de plástico injetado, o desenvolvimento de sistemas especialistas tem sido o foco de muitos trabalhos, conforme se verifica no CAPÍTULO 4. Entretanto, as propostas em curso são mais voltadas para a automatização de sistemas CAD, considerando a modelagem geométrica de componentes injetados sob restrições da manufatura. Sob o enfoque do projeto conceitual de produtos, conforme vem sendo considerado na presente tese, nenhuma abordagem de sistema especialista foi encontrada.

Alguns fatores podem ser apontados para esta lacuna. Dentre eles, que o projeto conceitual de produtos é uma atividade que demanda a manipulação de informações qualitativas, abstratas e, por vezes, insuficientes; que o projeto conceitual de produtos de plástico injetados não tem sido considerado sob dada metodologia ou sistemática de desenvolvimento; que os especialistas da área de produtos de plástico têm suas formações mais voltadas para os problemas da manufatura, incluindo-se, aí, o processo de injeção, propriedades dos materiais e projeto e construção de ferramentas; que o projeto de produtos de plástico tem sido considerado mais sob a geometria do componente, relegando seus aspectos funcionais, entre outros. Estes fatores são limitantes no desenvolvimento de sistemas especialistas para a concepção de produtos de plástico, pois, indicam que os conhecimentos sobre este domínio ainda precisam ser sistematizados.

Contribuindo nesta direção, considerando a metodologia proposta no CAPÍTULO 5, porém sob um escopo bastante estreito, pretende-se, aqui, conforme salientado no item 6.3.3, mostrar uma proposta para mecanismos especializados de auxílio à identificação de funções do produto, a partir do conceito de "ícones de projeto". Para tal, além da formulação do problema, implementa-se um protótipo de demonstração, utilizando o *shell* KAPPA-PC (INTELLICORP INC. [96]), para avaliar as potencialidades da tecnologia de sistema especialista na concepção de produtos.

F.2 - Formulação do problema

Conforme se observa na TABELA D.1, as funções do gabinete estão associadas a

determinados "ícones de projeto" que, por sua vez, estão associados a determinados elementos do contexto de gabinetes injetados (usuário do produto, ambiente do produto, componentes do produto e sistemas técnicos). Os "ícones de projeto" representam determinados tipos de conhecimentos sobre o domínio de aplicação, incluindo episódios, fatos, procedimentos, regras, entre outros. Os "ícones de projeto" e as correspondentes funções são derivados, em parte, da experiência sobre as diferentes fases do ciclo de vida de gabinetes, promovendo, assim, uma forma de base de conhecimento sobre o domínio de aplicação.

Considerando, então, esta base de conhecimento é possível elaborar um modelo para sistematizar as funções de gabinetes injetados, conforme parcialmente mostrado na FIGURA F.1.

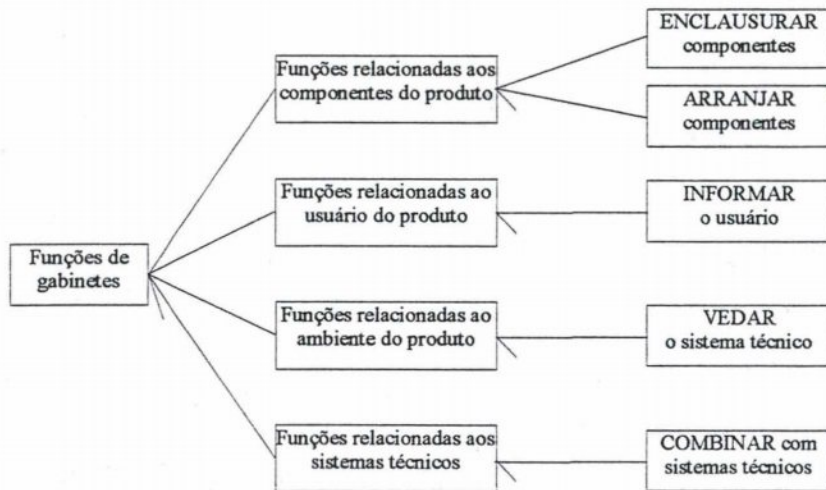


Figura F.1 - Sistematização das funções de gabinetes injetados.

Nota-se, na FIGURA F.1, que as funções do gabinete estão sendo sistematizadas sob o atributo **tipo de elemento do domínio (ou contexto do gabinete)**, o qual pode assumir os valores componentes, usuário, ambiente e sistema técnico.

Seguindo este raciocínio de sistematização e estabelecendo demais atributos/valores para caracterizar as funções de gabinetes, é possível estabelecer uma estrutura de atributos/valores para identificar as funções de dado gabinete, considerando as possíveis combinações entre os valores dos atributos estabelecidos. Assim, por exemplo, "SE tipo de elemento = usuário E tipo de ícone = instalar, ENTÃO, a função = INFORMAR o usuário", constitui-se numa típica regra para configurar a base de conhecimento de um sistema especialista de apoio à identificação de funções do produto, baseada nos atributos/valores, empregados para caracterizá-la.

Dessa maneira, as regras da base de conhecimento são formuladas pelas combinações entre os possíveis valores para os atributos que caracterizam as funções de gabinetes injetados. A

natureza destas combinações é mostrada na FIGURA F.2. Neste caso, cada regra conduzirá a uma ou mais funções do gabinete.

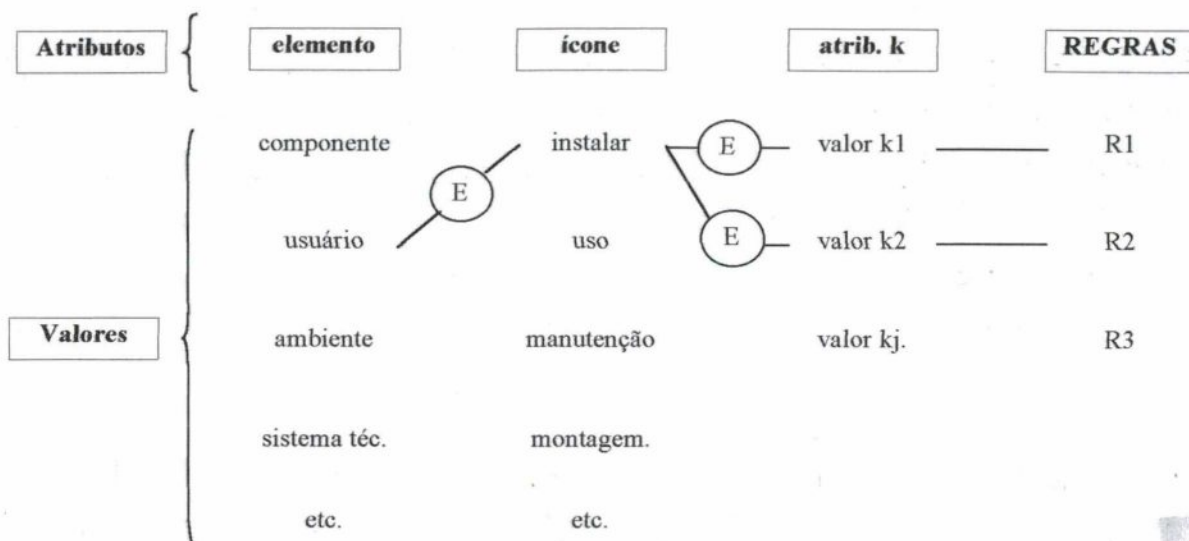


Figura F.2 - Princípios para o estabelecimento de regras de identificação de funções de gabinetes injetados.

F.3 - Protótipo de demonstração

Seguindo os princípios anteriores, implementou-se um protótipo de demonstração, utilizando o *shell* KAPPA-PC [96], onde a estrutura de atributos/valores e as regras que configuram a base de conhecimento são mostrados na FIGURA F.3.

O protótipo resultante é apresentado sob a interface mostrada na FIGURA F.4. Através dela, sob a opção "pesquisar funções para o gabinete", o programa solicita, inicialmente, que o projetista identifique, baseado na lista de necessidades de projeto, quais são os elementos associados ao gabinete sendo projetado (FIGURA F.5). As respostas do projetista para esta pergunta serão consideradas sob o atributo "ele", das funções. No caso das funções relacionadas ao usuário do produto, são possíveis os valores: "usuário_do_produto, operador_de_máquina, assistente_técnico e comprador_do_produto".

Seguindo a respostas anteriores, o programa solicita que o projetista defina quais são os acontecimentos relacionados ao projeto do gabinete, os quais são reconhecíveis na lista de necessidades, ou são lembrados pelo projetista, conforme pode ser observado na FIGURA F.6. As respostas do projetista para a pergunta, conforme a FIGURA F.6, serão consideradas sob o atributo "ico" das funções. No caso dos acontecimentos relacionados à instalação do produto são possíveis os valores: "instalar_produto, montagem_do_produto e desembalar_produto".

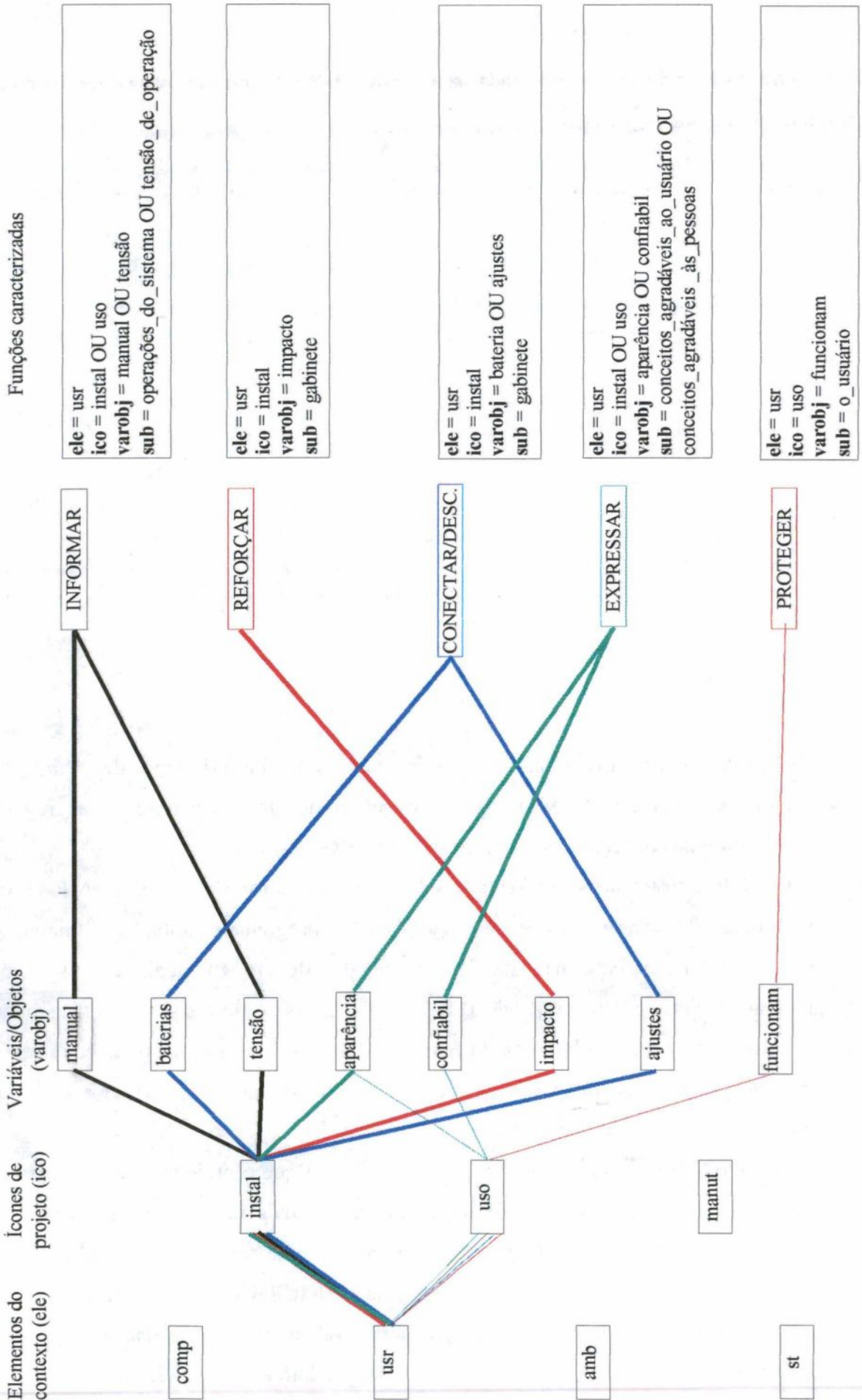


Figura F.3 - Exemplo parcial de configuração da base de conhecimento para auxiliar na identificação das funções de gabinetes.

INFORMAR	<p>ele = usr ico = instal OU uso varobj = manual OU tensão sub = operações_do_sistema OU tensão_de_operação</p>	<p>e_info: SE ele = usr E ico = (instal OU uso) E varobj = (manual OU tensão) ENTÃO f = INFORMAR e_info_sub: SE f = INFORMAR ENTÃO função do gabinete = INFORMAR OPERAÇÕES DO SISTEMA E INFORMAR TENSÃO DE OPERAÇÃO</p>
REFORÇAR	<p>ele = usr ico = instal varobj = impacto sub = gabinete</p>	<p>e_reforça: SE ele = usr E ico = instal E varobj = impacto ENTÃO f = REFORÇAR E sub = gabinete e_refo_sub: SE f = REFORÇAR ENTÃO função do gabinete = REFORÇAR O GABINETE</p>
CONECTAR/DESC.	<p>ele = usr ico = instal varobj = bateria OU ajustes sub = gabinete</p>	<p>e_con/desc: SE ele = usr E ico = instal E varobj = (bateria OU ajustes) ENTÃO f = CONECTAR/DESCONECTAR E sub = gabinete e_con_sub: SE f = CONECTAR/DESCONECTAR ENTÃO função do gabinete = CONECTAR/DESCONECTAR O GABINETE</p>
EXPRESSAR	<p>ele = usr ico = instal OU uso varobj = aparência OU confiabil sub = conceitos agradáveis ao usuário OU conceitos agradáveis às pessoas</p>	<p>e_express: SE ele = usr E ico = (instal OU uso) E varobj = (aparência OU confiabil) ENTÃO f = EXPRESSAR e_expres_sub: SE f = EXPRESSAR ENTÃO função do gabinete = EXPRESSAR CONCEITOS AGRADÁVEIS AO USUÁRIO E EXPRESSAR CONCEITOS AGRADÁVEIS ÀS PESSOAS</p>
PROTEGER	<p>ele = usr ico = uso varobj = funcionam sub = o_usuario</p>	<p>e_prot: SE ele = usr E ico = uso E varobj = funcionam ENTÃO f = PROTEGER E sub = o_usuario e_prot_sub: SE f = PROTEGER ENTÃO função do gabinete = PROTEGER O USUÁRIO</p>

Figura F.3 - Continuação.

LEGENDA

ele: variável que representa o tipo de elemento relacionado com o gabinete
ico: variável que representa a natureza do ícone de projeto associado ao gabinete
varobj: variável que representa os tipos de variáveis ou objetos associados com o gabinete sob determinado ícone de projeto
comp: abreviatura para "componentes do sistema técnico"
usr: abreviatura para "usuário do produto"
amb: abreviatura para "ambiente do produto"
st: abreviatura para "sistemas técnicos"
instal: abreviatura para os ícones relacionados à instalação do produto
uso: abreviatura para os ícones associados à utilização do produto
manut: abreviatura para os ícones associados à manutenção do produto
manual: representa o objeto manual do produto associado ao ícone instal
baterias: representa o objeto fontes de energia para o produto associado ao ícone instal
tensão: representa a variável tensão da rede associada ao ícone instal
aparência: representa a variável aparência do produto (gabinete) associada aos ícones instal e uso
confiabil: representa a variável confiabilidade do sistema técnico associada ao ícone uso
impacto: representa uma condição de uso do produto associada ao ícone instal
ajustes: representa uma variável de ajustes do sistema técnico associada ao ícone instal
funcionam: representa a variável funcionamento do produto associada aos ícones instal e uso
e_info: nome da regra que determina a função INFORMAR
e_info_sub: nome da regra que determina o substantivo da função informar
e_reforça: nome da regra que determina a função REFORÇAR o gabinete
e_refo_sub: nome da regra que determina o substantivo da função reforçar
e_con/desc: nome da regra que determina as funções CONECTAR/DESCONECTAR o gabinete
e_con_sub: nome da regra que determina o substantivo da função conectar/desconectar
e_express: nome da regra que determina a função EXPRESSAR
e_expres_sub: nome da regra que determina o substantivo da função expressar
e_prot: nome da regra que determina a função PROTEGER o usuário
e_prot_sub: nome da regra que determina o substantivo da função proteger

Figura F.3 - Continuação.

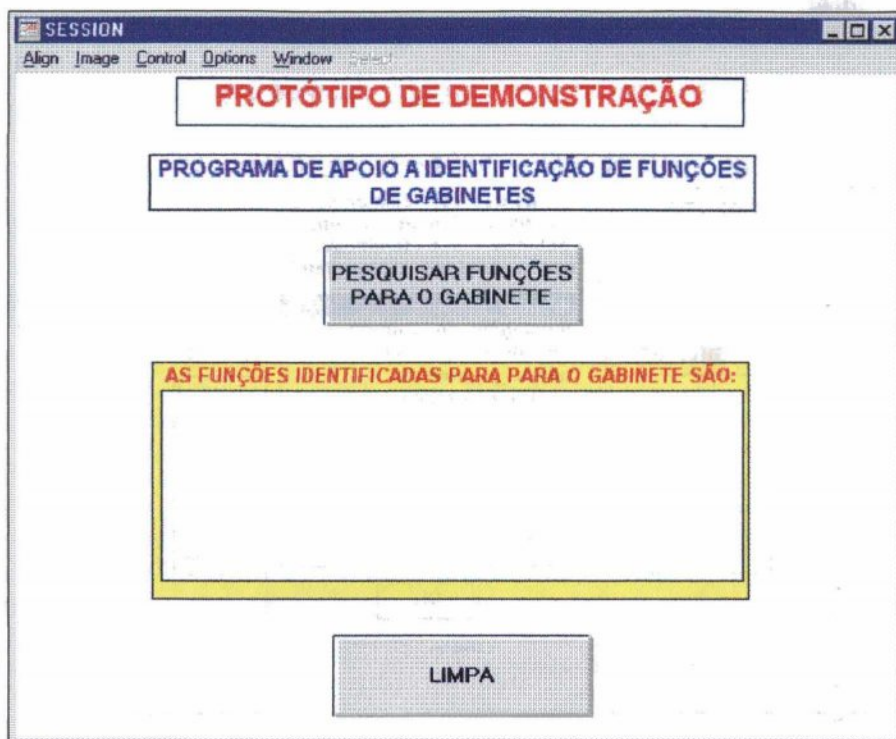


Figura F.4 - Interface principal do protótipo de apoio à identificação de funções do gabinete.

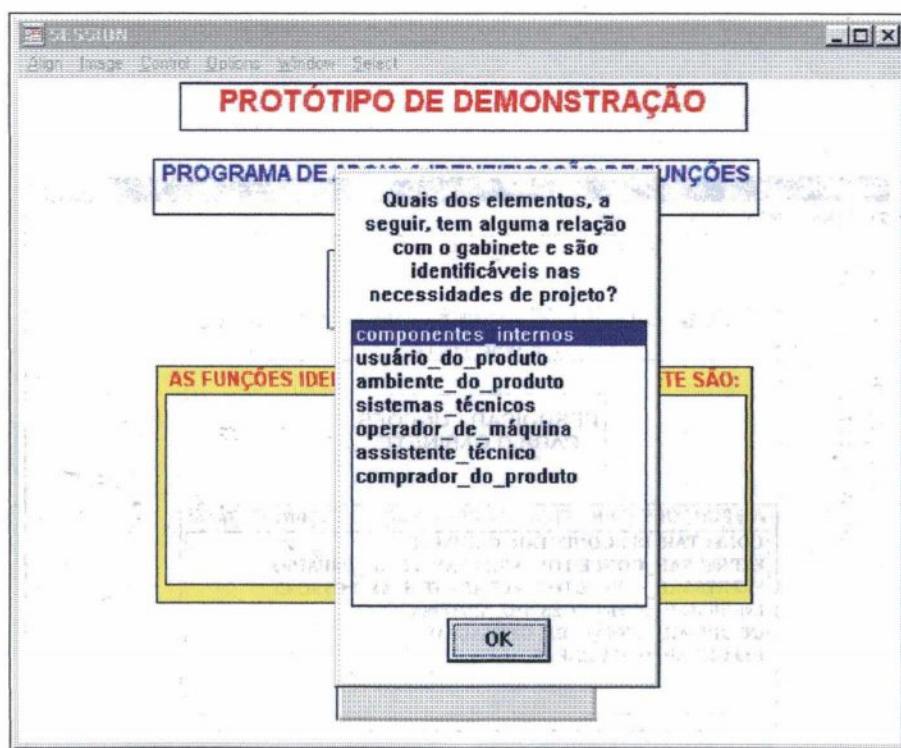


Figura F.5 - Solicitação inicial do programa ao projetista.

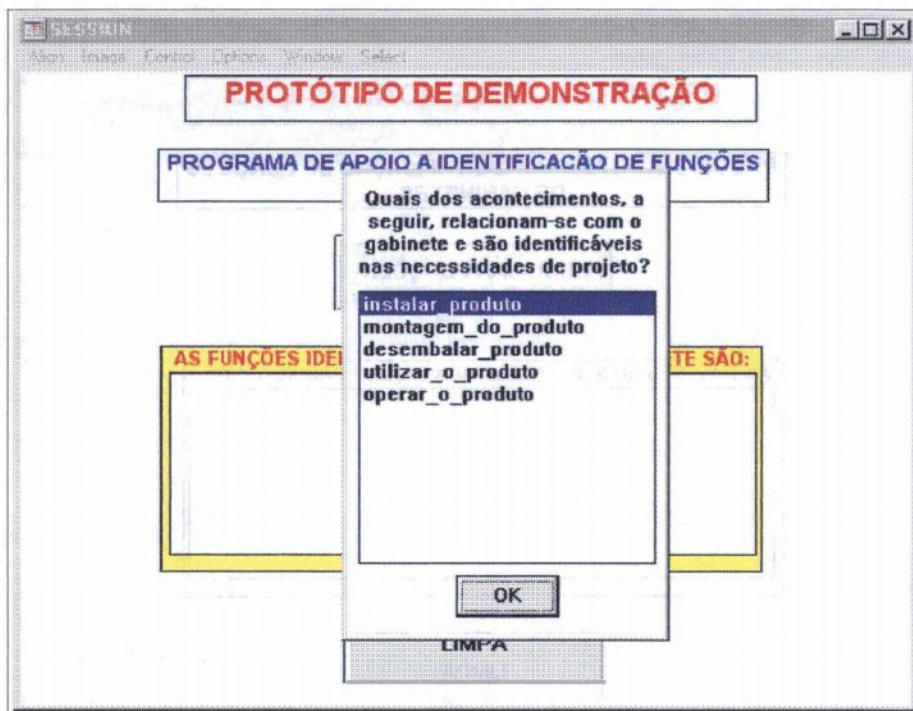


Figura F.6 - Solicitação do programa ao projetista.

Sob os valores atribuídos pelo projetista para as questões formuladas, o programa ativa seu mecanismo de busca e retorna quais são as funções mais indicadas para o gabinete sendo projetado, conforme pode ser observado na FIGURA F.7. Neste caso, o encadeamento de regras promovido pelo programa, até chegar nos resultados apresentados, é mostrado nas FIGURAS F.8 e F.9.

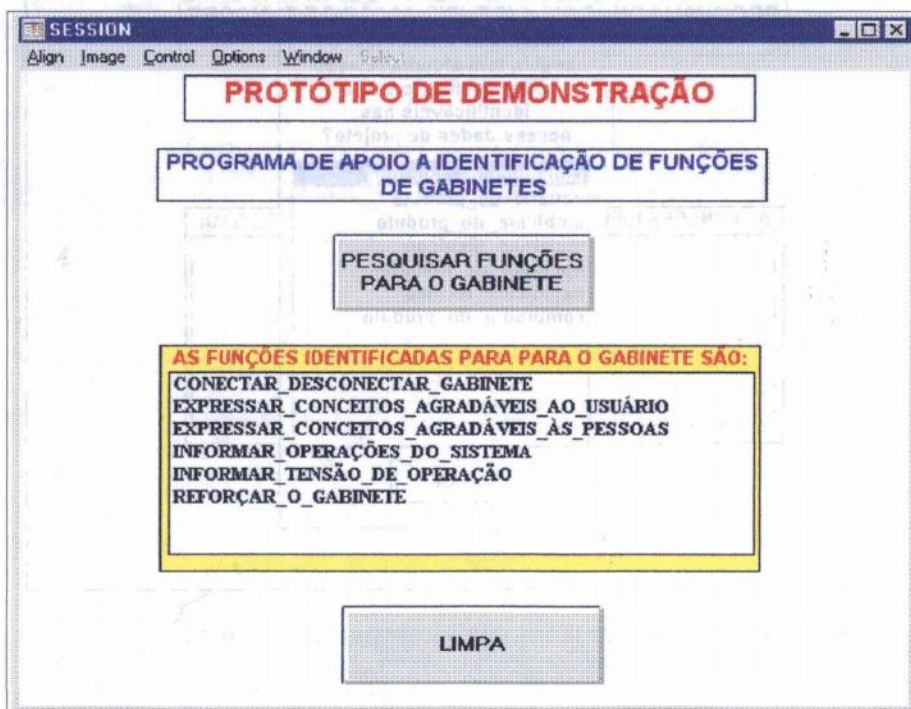


Figura F.7 - Resultado da busca promovida pelo programa.

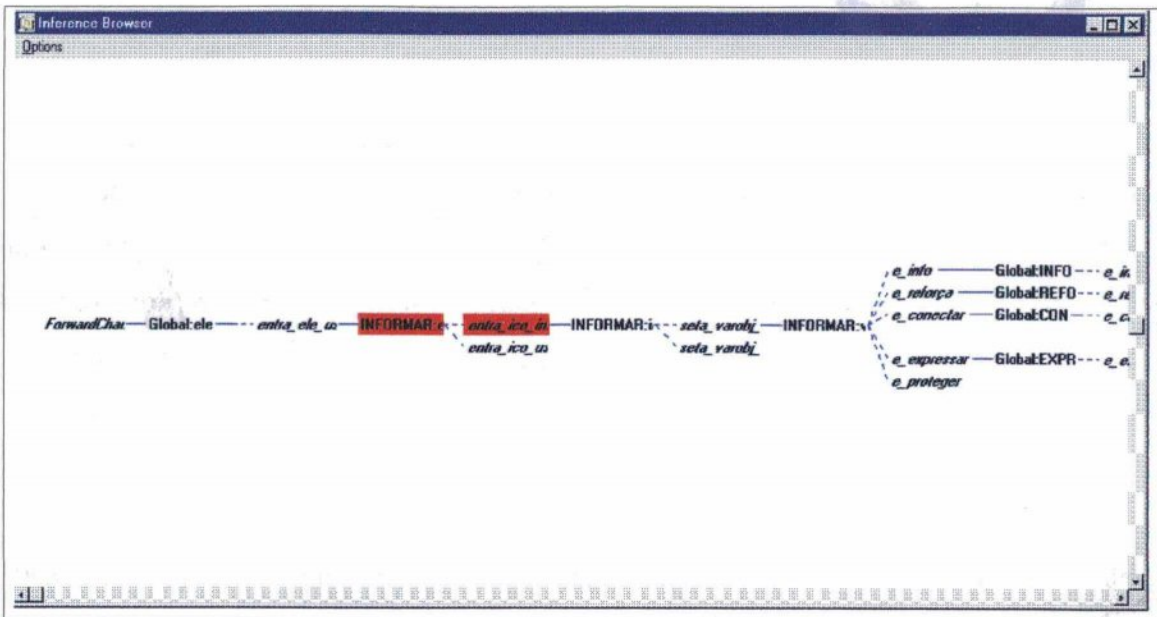


Figura F.8 - Encadeamento de regras durante a pesquisa de funções.

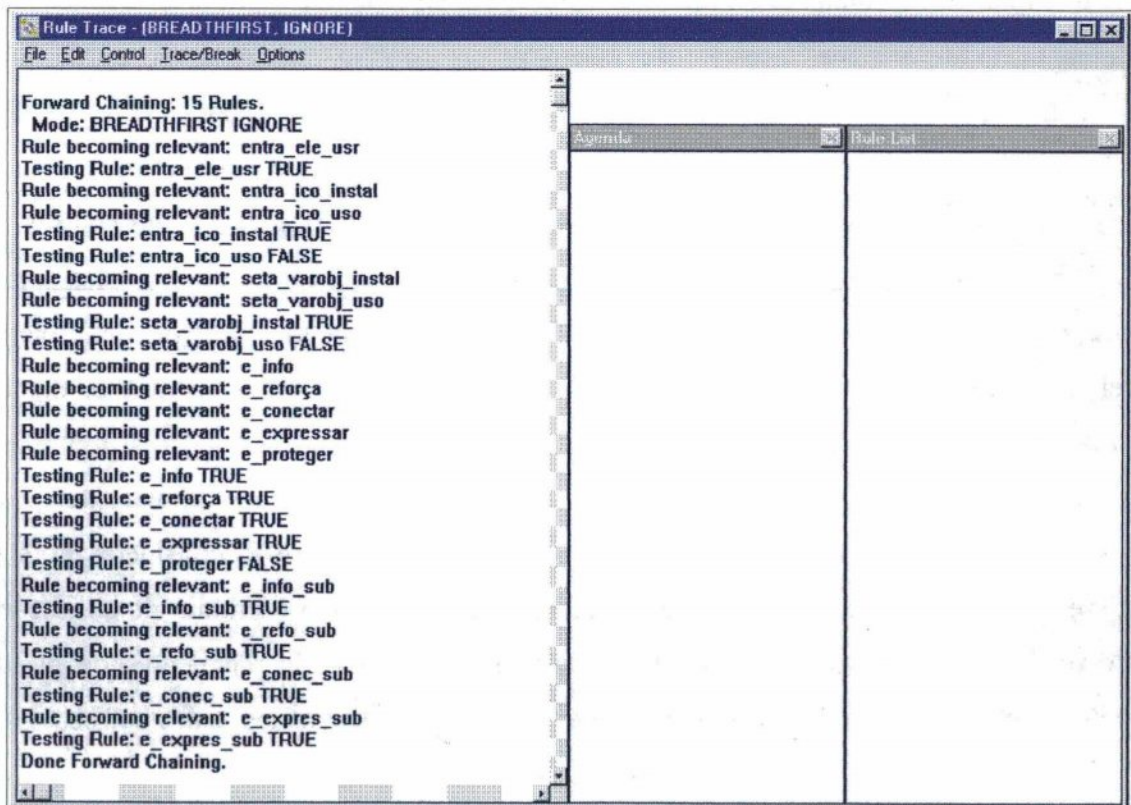


Figura F.9 - Regras consideradas e testadas durante a pesquisa de funções.

O exemplo mostrado nas figuras anteriores refere-se aos caminhos realizados na FIGURA F.3 e os resultados são indicados, considerando que as atribuições do projetista foram "usuário_do_produto" e "instalar_produto".

F.4 - Considerações finais

Embora simples em sua concepção e *funcionalidades* este protótipo mostra que é possível construir um sistema especialista de apoio à identificação de funções para o produto sendo projetado. É necessário, para tal, sistematizar, conforme proposto no APÊNDICE D, os típicos conhecimentos associados ao domínio de projeto e relacioná-los às funções do produto. Sob tais conhecimentos serão identificados os atributos e valores necessários para a configuração das regras de busca de cada uma das funções mais apropriadas para o problema em questão.

Em linhas gerais, estes princípios também se aplicam aos demais procedimentos considerados para a concepção de produtos de plástico injetado, conforme estabelecidos na metodologia de projeto proposta no CAPÍTULO 5. É necessário, entretanto, devido a falta de uma sistematização adequada dos conhecimentos deste domínio, considerar o processo de desenvolvimento de sistemas especialistas sob escopos bastante estreitos e, de preferência, sob o escopo de um dado procedimento do método proposto. Assim, por exemplo, escopos adequados à implementação de sistemas especialistas são: “preparação de questionários estruturados”, “tradução de necessidades em requisitos de projeto”, “relacionar necessidades e requisitos de projeto”, “arranjar as funções do produto numa estrutura”, “pesquisar princípios de solução numa base de dados”, “combinar princípios de solução na matriz morfológica”, entre outros.

Embora, no caso de produtos de plástico injetado, não se encontre especialistas atuantes na concepção de produtos e sobretudo, considerando uma dada metodologia de projeto, é possível iniciar o processo de desenvolvimento de sistemas especialistas para este domínio, sistematizando os conhecimentos de projeto disponíveis na literatura e de outros domínios de aplicação, dedicando-os ao domínio de produtos de plástico injetado. Para tal, além de escopos estreitos sob o ponto de vista de procedimentos de concepção, deve-se considerar domínios particulares de aplicação, tais como, projeto de gabinetes de plástico (domínio de aplicação da presente tese), projeto de estruturas (*frames*) de plástico, projeto de recipientes de plástico, projeto de fixadores (juntas) de plástico, projeto de mecanismos de plástico, entre outros.

APÊNDICE G - Informações e resultados referentes ao projeto conceitual do gabinete

Neste apêndice são apresentados algumas das informações e resultados referentes ao estudo-de-caso sobre o projeto conceitual de um gabinete, conforme conduzido no **CAPÍTULO 7** da presente tese.

Em G.1, apresenta-se uma imagem geral do coletor de dados, cujo gabinete foi objeto de estudo no **CAPÍTULO 7**.

Em G.2, G.3 e G.4, mostram-se alguns questionários elaborados com auxílio do programa DEFNEC, correspondentes às fases de contratação, projeto e fabricação do gabinete, respectivamente.

Em G.5, apresenta-se um exemplo de relatório de questões/respostas, obtido após a aplicação dos questionários de projeto.

Em G.6, apresenta-se o relatório das declarações de necessidades geradas para a concepção do gabinete.

Em G.7 e G.8, apresentam-se exemplos de relatórios correspondentes às justificativas dos relacionamentos efetuados na “casa da qualidade”.

G.1 - Coletor de dados DA-400 DATALAN® [96]

G.2 - Questões de projeto obtidas com o auxílio do DEFNEC, sob a opção “seleção automática”

Neste item apresentam-se as questões de projeto obtidas com auxílio do programa DEFNEC, sob a opção “seleção automática” de questões, considerando-se os seguintes critérios de busca:

- Fase = Contratação;
- Respondente = contratante; e
- Tipo de projeto = adaptativo.

Estas questões, da maneira como se apresentam, constituem-se numa saída do programa DEFNEC, em sua configuração inicial, estabelecendo cada uma das questões pesquisadas, no ambiente “Aplicar Questionário” (veja item 6.3.1, FIGURAS 6.7 e 6.8), sob a opção “relatório”.

Conforme se observa, além das próprias questões, incluem-se, no presente relatório, algumas informações de identificação do projeto, sobre os objetivos e sobre o solicitante do projeto. A idéia, sob tais informações, é preparar, com auxílio do programa, os documentos a serem submetidos aos clientes do projeto.

Questionário - Relatório

Título do Projeto: Gabinete do coletor DA-400

Código: NEDIP01/99

Objetivos: reprojeter o gabinete de um coletor de dados

Data de Início: 12/04/99

Solicitante: Nome: DIRECTA AUTOMAÇÃO

Contato: Eng. Carlos

Como o usuário se relaciona com o gabinete deste produto?

Como os usuários estão utilizando este produto?

Quais são as principais características dos gabinetes de produtos concorrentes?

Quais são as principais características dos usuários deste produto?

Quais são as principais influências do ambiente sobre o gabinete deste produto?

Quais são as vantagens e desvantagens dos produtos concorrentes em relação ao produto em questão?

Quais são os elementos do produto (componentes, mecanismos, demais sistemas técnicos) e suas características, que se relacionam com o gabinete?

Quais são os pontos fortes e fracos do gabinete deste produto?

Qual é a natureza do gabinete deste produto (tipo, material, formas, acabamento, design, etc.)?

Qual será o potencial de redução de custos deste produto, mantendo sua qualidade?

G.3 - Questões selecionadas no DEFNEC correspondentes à fase de projeto do gabinete

Neste item apresentam-se as questões resultantes para a fase de projeto do gabinete selecionadas, sob os seguintes critérios de busca:

- Fase = Projeto;
- Temas/Subtemas = funções do gabinete, geometria do gabinete, cinemática do gabinete, dinâmica do gabinete e comportamento do gabinete; e
- Tipo de projeto = adaptativo.

Questionário - Relatório

Título do Projeto: Gabinete do coletor DA-400

Código: NEDIP01/99

Objetivos: reprojeter o gabinete de um coletor de dados

Data de Início: 12/04/99

Solicitante: Nome: DIRECTA AUTOMAÇÃO

Contato: Eng. Carlos

Quais são as funções críticas do gabinete em questão?

Como as funções críticas do gabinete estão sendo satisfeitas?

Há funções essenciais para este gabinete, que não estão sendo consideradas?

Quais são as principais características geométricas do gabinete existente?

Quais são os pontos fortes e fracos da geometria do gabinete existente?

Quais são os principais tipos de movimentos que o gabinete e/ou suas partes estarão sujeitos?

Os movimentos do gabinete e/ou de suas partes estão sendo devidamente realizados?

Os tipo de movimento identificados para o gabinete e/ou suas partes são realmente necessários?

Quais são os pontos fortes e fracos dos movimentos identificados no gabinete e/ou suas partes?

Quais são os principais tipos e a natureza dos carregamentos que atuam sobre o gabinete e/ou suas partes?

O gabinete está suportando adequadamente os carregamentos existentes?

O gabinete encontra-se suficientemente rígido para cumprir suas funções?

O peso de gabinete encontra-se dentro de limites aceitáveis?

Quais são as regiões críticas do gabinete que apresentam problemas em função dos carregamentos existentes?

Como tem sido o comportamento do gabinete sob condições de atrito, vibrações, choques, pressão, temperaturas elevadas, entre outras variáveis?

Como tem sido o comportamento do gabinete sob a influência de partículas ou líquidos indesejados?

Como tem sido o comportamento do gabinete sob a influência das características do usuário do produto?

G.4 - Questões selecionadas no DEFNEC correspondentes à fase de fabricação do gabinete

Neste item apresentam-se as questões resultantes para a fase de fabricação do gabinete selecionadas, sob os seguintes critérios de busca:

- Fase = Fabricação;
- Temas/Subtemas = materiais de injeção, processo de injeção, pós-processamento, montagem do gabinete; e
- Tipo de projeto = original.

Questionário - Relatório

Título do Projeto: Gabinete do coletor DA-400

Código: NEDIP01/99

Objetivos: reprojeter o gabinete de um coletor de dados

Data de Início: 12/04/99

Solicitante: Nome: DIRECTA AUTOMAÇÃO

Contato: Eng. Carlos

Qual é a natureza dos materiais que podem ser empregados para a injeção deste gabinete?

Quais serão os custos associados aos materiais que podem ser empregados para a injeção deste gabinete?

Os materiais disponíveis necessitarão de cuidados especiais durante o processo de injeção? Quais?

Os materiais disponíveis oferecerão restrições ao projeto geométrico do gabinete? Quais?

Os materiais disponíveis oferecerão restrições ao projeto do molde?

Quais serão os equipamentos que poderão ser empregados na injeção deste gabinete (descreva as principais características)?

Que tipos de dificuldades os equipamentos disponíveis poderão propiciar na injeção deste gabinete?

Quais serão os prováveis custos no processo de injeção deste gabinete?

Quais serão as principais implicações de operações de pós-processamento na aparência deste gabinete?

Quais serão os prováveis custos de operações de pós-processamento deste gabinete?

Haverá possibilidades técnicas de evitar as operações de pós-processamento deste gabinete? Como?

Quais serão as prováveis operações de montagem deste gabinete?

Quais serão as prováveis dificuldades na montagem deste gabinete?

Quais serão os prováveis recursos necessários para a montagem deste gabinete?

Quais serão os prováveis custos associados a montagem deste gabinete?

G.5 - Exemplo de relatório após a aplicação dos questionários de projeto

Neste item apresenta-se um exemplo de relatório, em sua configuração inicial, que poderá ser obtido com o programa DEFNEC, após a aplicação dos questionários de projeto e registro das respostas.

Trata-se de documento que poderá ser utilizado para auxiliar no estabelecimento das necessidades de projeto, na revisão das informações e de problemas relacionados ao projeto e como fonte de informações para futuros projetos da empresa.

Questão / Resposta

Questão: Quais são as funções críticas do gabinete em questão?

Resposta: - suportar influências do ambiente; □□- arranjar e fixar adequadamente os componentes; □□- vedar o coletor

Questão: Como as funções críticas do gabinete estão sendo satisfeitas?

Resposta: - as influências do ambiente estão sendo suportadas pelas características do material; □□- a fixação dos componentes se dá por parafusos; □□- o arranjo dos componentes (placas) é em "camadas"; □□- a vedação se dá por "labirinto"

Questão: Há funções essenciais para este gabinete, que não estão sendo consideradas?

Resposta: - funções que facilitem a montagem/desmontagem dos componentes internos; □□- funções de proteção da máscara do teclado

Questão: Quais são as principais características geométricas do gabinete existente?

Resposta: - geometria prismática (180x180x62 mm); □□- constituído de duas partes em "U"; □□- espessura de parede de 2 mm

Questão: Quais são os pontos fortes e fracos da geometria do gabinete existente?

Resposta: fortes: compacto, uniforme; □□fracos: espaços para montagem/desmontagem dos componentes internos.

Questão: Quais são as principais restrições geométricas no projeto deste gabinete (comprimento, altura, largura, áreas, volumes, etc.)?

Resposta: - deve ser compatível com as dimensões e arranjo dos componentes internos, já que não há previsão de mudança destes elementos.

Questão: Quais são os principais tipos de movimentos que o gabinete e/ou suas partes estarão sujeitos?

Resposta: - na montagem das partes do gabinete a aproximação é vertical; □□- o gabinete/coletor pode ser rotacionado (uma direção) sobre a superfície de fixação.

G.6 - Declarações de necessidades para o projeto do gabinete geradas com auxílio do DEFNEC

Neste item apresenta-se o relatório das declarações de necessidades para o projeto do gabinete, que foram geradas com auxílio do programa DEFNEC. Trata-se de um documento de saída do programa, em sua configuração inicial, que poderá ser utilizado para a revisão e/ou arquivamento das necessidades estabelecidas para o problema.

DefNec - Necessidades e Requisitos

Necessidades:

- utilizar resinas usuais (ABS, PS)
- vedar o coletor
- suportar influências do ambiente
- fixar adequadamente os componentes
- facilitar montagem/desmontagem dos comp.
- proteger a máscara do teclado
- manter dimensões próximas das existentes
- prever espaços adequados para montagem
- considerar geom. e dim. fixas dos comp. internos
- prever articulação do gabi. sobre a máq.
- facilitar a abertura do gabinete
- facilitar a remoção da placa/fonte
- manter a máscara do teclado
- melhor informar o usuário sobre os comp.do coletor
- melhor posicionar o selo do fabricante
- manter a aparência atual do gabi.
- utilizar resinas de menor custo
- simplificar geometria
- geometria que promova fácil extração da peça

Requisitos:

G.7 - Exemplo de relatório dos relacionamentos efetuados entre necessidades e requisitos de projeto

Neste item apresenta-se um exemplo de relatório dos relacionamentos entre necessidades e requisitos de projeto realizados para o projeto conceitual do gabinete. Trata-se de um documento de saída do programa, em sua configuração inicial, que poderá ser utilizado, seja para a revisão dos relacionamentos atribuídos, bem como, arquivamento dos resultados para “leituras” futuras da “casa da qualidade”.

Relacionamentos - Necessidades vs. Requisitos

Legenda: 5	Forte
3	Médio
1	Fraco

O Que: vedar o coletor

Como: espessura de parede

Relação: 5

Justificativa: dependendo da solução adotada, envolvendo considerações de geometria e de forma, a espessura de parede pode tornar-se uma restrição importante, comprometendo, ou não, a solução

O Que: vedar o coletor

Como: ângulos de saída

Relação: 3

Justificativa: se a solução adotada para a vedação envolver elementos de forma, deve-se prever ângulos de saída adequados para estes elementos

O Que: vedar o coletor

Como: número de elem. do gabi.

Relação: 3

Justificativa: dependendo da solução adotada, de forma, por exemplo, aumentará o número de elementos de solução do gabinete

O Que: vedar o coletor

Como: folgas em uniões

Relação: 5

Justificativa: dependendo da solução, a vedação estará indiretamente relacionada com as folgas entre as partes que são unidas

O Que: vedar o coletor

Como: custo do gabinete

Relação: 3

Justificativa: dependendo da solução adotada poderá aumentar o custo do gabinete, em decorrência de um maior custo para o molde, por exemplo

O Que: suportar influências do ambiente

Como: espessura de parede

Relação: 3

Justificativa: dependendo da influência do ambiente, calor, por exemplo, a espessura da parede do gabinete poderá ser importante

O Que: suportar influências do ambiente

Como: resistência ao impacto

Relação: 5

Justificativa: influências, tais como, pancadas, choques com peças, quedas, entre outras, terão relação direta com a resistência ao impacto do gabinete

G.8 - Exemplo de relatório dos relacionamentos efetuados entre os requisitos de projeto

Neste item apresenta-se um exemplo de relatório dos relacionamentos entre os requisitos de projeto realizados para o projeto conceitual do gabinete. Este relatório, em sua configuração inicial, poderá ser utilizado, seja para a revisão dos relacionamentos atribuídos, bem como, arquivamento dos resultados para “leituras” futuras da “casa da qualidade”.

Relacionamentos - Requisitos vs. Requisitos

Legenda: 5	Fortemente Positivo
3	Positivo
-3	Negativo
-5	Fortemente Negativo

Como 1: espessura de parede

Como 2: espaços de montagem

Relação: -3

Justificativa: se, para as mesmas dimensões externas, a espessura for maior, diminuirá os espaços de montagem

Como 1: espessura de parede

Como 2: resistência ao impacto

Relação: 5

Justificativa: em princípio, quanto maior a espessura de parede, maior será a resistência ao impacto

Como 1: espessura de parede

Como 2: rigidez nas laterais

Relação: 3

Justificativa: parte do aumento da rigidez dependerá do aumento da espessura

Como 1: espessura de parede

Como 2: custo do gabinete

Relação: -3

Justificativa: se aumentar a espessura, poderá aumentar o custo do gabinete (mais material, por exemplo)

Como 1: ângulos de saída

Como 2: custo do gabinete

Relação: 3

Justificativa: em geral, aumentando-se ângulos de saída, facilita-se a extração da peça, o que poderá diminuir o custo de processo e, como consequência, do gabinete

Como 1: dimensões principais

Como 2: arranjo ordenado dos elem

Relação: 3

Justificativa: se as dimensões forem aumentadas, tem-se melhores oportunidades para arranjar melhor os elementos de solução

Como 1: dimensões principais

Como 2: número de elem. do gabi.

Relação: -3

Justificativa: aumentando-se as dimensões poderá ser necessário mais elementos de solução (de fixação, por exemplo)

Como 1: dimensões principais

Como 2: espaços de montagem

Relação: 5

Justificativa: aumentando-se as dimensões, aumentam-se os espaços de montagem

Referências Bibliográficas

- [1] - ROOZENBURG, N.F.M; EEKELS, J. **Product design : fundamentals and methods.** England : John Wiley & Sons Ltd., 1995. 422 p.
- [2] - CHINELATO FILHO, João. **A arte de organizar para informatizar.** 2. ed. Rio de Janeiro : LTC - Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., 1994. 305 p.
- [3] - BACK, Nelson. **Metodologia de projeto de produtos industriais.** Rio de Janeiro : Ed. Guanabara Dois, 1983. 389 p.
- [4] - TOMIYAMA, Tetsuo. **Engineering design research in Japan.** In: 2nd International Conference on Design Theory and Methodology. Chicago, Illinois, September, 16-19, 1990. p. 219-223.
- [5] - ULLMAN, David G. **The status of design theory research in the United States.** In: International Conference on Engineering Design - ICED91. Zurich, Aug., 1991. p. 794-802.
- [6] - HUNDAL, M.S. **Research in design theory and methodology in West Germany.** In: 2nd International Conference on Design Theory and Methodology. Chicago, Illinois, September, 16-19, 1990. p. 235-238.
- [7] - EDER, Ernst, W. **Engineering design - a perspective on U.K. and Swiss developments.** In: 2nd International Conference on Design Theory and Methodology. Chicago, Illinois, September, 16-19, 1990. p. 225-234.
- [8] - KOBAYASHI, Mário; LIRANI, João; MASSAROPPI 'Jr., Ernesto. **Integração de sistemas CAD e Inteligência Artificial para projeto mecânico.** In: Congresso Internacional de Computação Gráfica - CICOMGRAF94. São Paulo, Abril, 1994.
- [9] - MACHADO, C. S.; DEDINI, F.G. **A CAD system to conceptual phase of design.** In: XIV Congresso Brasileiro de Engenharia Mecânica. São Paulo, Bauru, Dezembro, 1997.
- [10] - FIOD NETO, Miguel. **Desenvolvimento de sistema computacional para auxiliar a concepção de produtos industriais.** Florianópolis, 1993. 314 p. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) - Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina.
- [11] - SILVA, Jamilton Santos. **WINSAPPI: A evolução de uma metodologia computacional para o projeto conceitual de produtos industriais.** Florianópolis, 1995. 124 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Departamento de Engenharia de Produção e Sistemas, Universidade Federal de Santa Catarina.
- [12] - PAHL, Gerhard; BEITZ, Wolfgang. **Engineering design: a systematic approach.** - 2. ed. Great Britain : Springer-Verlag London Limited, 1996. 544 p.

- [13] - RANGASWAMY, Arvind; LILIEN, Gary L. **Software tools for new product development.** *Journal of Marketing Research*, Vol. XXXIV, February 1997, p. 177-184.
- [14] - KERSTEN, T. **“MODESSA”, a computer based conceptual design support system.** In: *The Lancaster International Workshop on Engineering Design*. John Sharpe (Ed.). Lancaster : Springer-Verlag London Limited, 1996, p. 240-259.
- [15] - BRACEWELL, R.H.; BRADLEY, D.A.; CHAPLIN, R.V.; LANGDON, P.M.; SHARPE, J.E.E. **Schemebuilder, a design aid for the conceptual stages of product design.** In: *International Conference on Engineering Design - ICED93*. Hague, Netherlands, 1993.
- [16] - HUBKA, Vladimir; EDER, Ernst W. **Design science: Introduction to needs, scope and organization of engineering design knowledge.** 2. ed. Great Britain : Springer-Verlag London Limited, 1996. 251 p.
- [17] - YOSHIKAWA, H. **Design Philosophy: The State of the Art.** *Annals of the CIRP*, Vol. 38/2/1989. p. 579.
- [18] - EVBUOMWAN, N.F.O.; SIVALOGANATHAN, S.; JEBB, A. **A survey of design philosophies, models, methods and systems.** *Proceedings: Institution of Mechanical Engineers*. Vol 210, 1996. p. 301-319.
- [19] - CROSS, Nigel. **Developments in Design Methodology.** New York : John Wiley & Sons Ltd., 1984. 357 p.
- [20] - DE VRIES, M.J.; CROSS, N.; GRANT, D.P. **Design Methodology and Relationships with Science.** Dordrecht : Kluwer Academic Publishers, 1993. 327 p.
- [21] - FINKELSTEIN, L.; FINKELSTEIN A.C.W. **Review of design methodology.** *Proceedings: IEE-Science, Measurement and Technology*, vol. 130. Pt. A, N. 4, June 1983. p. 213-221.
- [22] - DIXON, R. JOHN. **Engineering design science: New goals for engineering education.** *Proceedings: Mechanical Engineering*, March, 1991. p. 56-62.
- [23] - RODENACKER, W.G. **Methodisches Konstruieren.** Berlin : Springer Verlag, 1991. 336 p.
- [24] - ROTH, K. **Konstruieren mit Konstruktionskatalogen.** Heidelberg : Springer Verlag, 1982. 475 p.
- [25] - KOLLER, R. **Konstruktionslehre für den Maschinenbau.** Heidelberg : Springer Verlag, 1985. 327 p.
- [26] - ASIMOW, Morris. **Introdução ao Projeto.** São Paulo : Editora Mestre Jou, 1968. 171 p.

- [27] - KHADILKAR, Dileep V.; STAUFFER, Lary A. **An Experimental Evaluation of Design Information Reuse During Conceptual Design.** *Journal of Engineering Design*, vol. 7, No. 4, 1996, p. 331-339.
- [28] - NEVILL, GALE E., Jr. **Computational models of design processes.** In: *Design theory '88.* New York : Springer Veriag, 1989, p.82-116.
- [29] - ULLMAN, David G. **The mechanical design process.** Singapore : McGraw-Hill Book Co., 1992. 337 p.
- [30] - FONSECA, A.J.H. **Sistematização do processo de elaboração das especificações de projetos de produtos industriais e sua implementação computacional.** Florianópolis, 1998. Proposta de Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) - Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina. Trabalho não publicado.
- [31] - ULLMAN, DAVID, G. **A new view on function modeling.** In: *International Conference on Engineering Design – ICED93,* Hague, Netherlands, 1993, p.21-28.
- [32] - ABBAGNANO, Nicola. **Dicionário de Filosofia.** 2. ed. São Paulo : Mestre Jou, 1982.
- [33] - HUBKA, VLADMIR. **WDK 3: Fachbegriffe der wissenschaftlichen Konstruktionslehre in 6 Sprachen.** Zürich : Heurista, 1980. 204 p.
- [34] - BLANCHARD, B.S. and FABRICKY, W.J. **Systems engineering and analysis.** Englewood Cliffs : Prentice-Hall, Inc., 1981. 703 p.
- [35] - FISCHLER, M.A. and FIRSCHEIN, O. **Intelligence: the eye, the brain, and the computer.** California : Addison-Wesley Publishing Company, 1987. 331 p.
- [36] - MINSKY, Marvin. **A sociedade da mente.** Rio de Janeiro : Francisco Alves, 1989. 340 p.
- [37] - SOWA, J.F. **Conceptual structures: information processing in mind and machine.** New York : Addison-Wesley Publishing Company, 1984. 481 p.
- [38] - WATERMAN, Donald A. **A guide to expert systems.** USA : Addison Wesley Publishing Co., 1986. 419 p.
- [39] - SILVA, Jonny Carlos da. **Expert System Prototype for Hydraulic System Design Focusing on Concurrent Engineering Aspects.** Florianópolis, 1998. 185 p. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) - Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina.
- [40] - The British Plastics Federation - BPF. Disponível na Internet. <http://www.bpf.co.uk/bpf.htm>. 27/03/98.
- [41] - Society of Plastics Engineers - SPE. Disponível na Internet. <http://www.4spe.org>. 27/março/98.

- [42] - Brasil Plastics on the Internet. Disponível na Internet. <http://www.plastico.com.br>. 10/março/98.
- [43] - The European Plastics Industry. Disponível na Internet. <http://www.apme.org/europe.html>. 27/março/98.
- [44] - CHABOT, JR., J.F.; MALLOY, R.A. **A history of thermoplastic injection molding. Part I: the birth of an industry.** *Journal of injection molding technology*, March 1997, Vol. 1, No. 1. p. 1-9.
- [45] - BLASS, Arno. **Processamento de polímeros.** Florianópolis : 2 ed. Ed. da UFSC, 1988. 254 p.
- [46] - GE. **GEselect - Banco de dados de materiais plásticos.** Disponível na Internet. <http://www.ge.com/plastics/index.htm>.
- [47] - OPP. **Folha de dados de Produtos** Disponível na Internet. <http://www.opp.com.br>.
- [48] - BEALL, GLENN. **Design: the competitive edge.** IMM ON LINE. Disponível na Internet. <http://www.plasticsnet.com/live/imm/by-design497.stm>. April, 1997.
- [49] - COCKRELL, ALISON. **Telectronics and the Injection Moulder.** IMI International. Disponível na Internet. <http://www.plasticsnet.com/live/imm/telectronics1-297.stm>. January-February, 1997.
- [50] - BEALL, Glenn. **Getting There More Quickly.** IMM ON LINE. Disponível na Internet. <http://www.plasticsnet.com/live/imm/beall297.stm>. December, 1997.
- [51] - ZUKIN, MARCIO; FUCKS, HUGO; DALCOL, R.T. PAULO. **Digital Communication Technology: connecting design, engineering and manufacturing.** Working paper n. 01/97, Dept. of Computer Science, PUC-Rio, Jan. 1997, pp. 1-34, Disponível na Internet. <http://venus.rdc.puc-rio.br/marzukin/>
- [52] - SMITH, Robert, P. **The Historical Roots of Concurrent Engineering Fundamentals.** *Proceedings: IEEE TRNASACTIONS ON ENGINEERING MANAGEMENT*, Vol. 44. No. 1, February 1997, p. 67-78.
- [53] - MALLOY, ROBERT A. **Plastic part design for injection molding: an introduction.** Munich; Vienna; New York : Hanser, 1994. 460 p.
- [54] - DEFOSSE, STEVE; SPANOUDIS, STEVE; KEARNEY, BILL; SWEAT, BOB. **Successful Plastic Part Development.** Plastics Technology Center, Lexmark International, Inc., 1996. Disponível na Internet. <http://www.lexmark.com/ptc/news9704.html>. [ago/97?].
- [55] - PERERA, U. S. **Concurrent Design of Products and Processes for Conceptual Design of Injection Molding.** Australia, 1997. 316 p. *Thesis.* (Doctor of Philosophy) Dep. of Mechanical and Manufacturing Engineering. University of Melbourne.

- [56] - ISHII, K.; HORNBERGER, L.; LIOU, M. **Compatibility-based design for injection molding.** Disponível na Internet. <http://MML-PC-1.stanford.edu/Research/Papers/1989/papers89.html>. [ago/97?].
- [57] - AL-ASHAAB, H.S. AHMED; YOUNG, I.M. ROBERT. **Design for Injection Moulding in a Manufacturing Model Environment.** Disponível na Internet: <http://www.mor.itesm.mx/EVENTOS/CERG/papers.html>. [ago/97?].
- [58] - PEARCE, DENNIS. **Expert Systems and Injection Molding.** ANTEC 1992. Disponível na Internet. <http://mml-mac-9.stanford.edu/MMLWebDocs>. [ago/97?].
- [59] - PRATT, S.D.; SIVAKUMAR, M.; MANOOCHEHRI, S. **A knowledge-based engineering system for the design of injection molded plastic parts.** DE-Vol. 65-1, Advances in Design Automation, Vol. 1, ASME 1993, p. 287-295.
- [60] - CHIN, KWAI-SANG; WONG, T.N. **Knowledge-based evaluation for the conceptual design development of injection molding parts.** *Proceedings: Engng Applic. Artif. Intell.* Vol. 9, No. 4, 1996. p 359-376.
- [61] - BORG, JONATHAN; MacCALLUM, K.J. **A hypercard expert system for plastic product design.** In: International Conference on Computer Integrated Manufacturing (ICCIM'95), Singapore, July, 1995, p 295-302.
- [62] - HANADA, H.; LEIFER, L.J. **Intelligent design system for injection molded parts based on the process function analysis method.** In: NSF Engineering Design Research Conference, Amherst, MA. June 1989.
- [63] - SEBASTIAN, D.H. **Function based design for injection molding.** Annual Technical Conference (ANTEC'93)-SPE. p. 1114-1119.
- [64] - WALLACE, DAVID R.; JAKIELA, MARK J. **Computer-automated design of aesthetic injection molded products.** *Proceedings: DE-Vol. 31, Design Theory and Methodology*, ASME 1991, p. 85-94.
- [65] - WOOD, STEPHEN L. **Design reasoning using plastic injection molding primary features.** *Proceedings: The ASME Design Engineering Technical Conference and Computers in Engineering Conference.* Irvine, California, 1996, p. 1-12.
- [66] - RS COMPONENTS INTERNATIONAL. **RS 1997 Catalogue.** RS components Ltd, United Kingdom, 1997. Disponível na Internet. <http://www.rs-components.com>.
- [67] - CLEMINSHAW, DOUGLAS. **Design in plastics: successful product design in plastics.** MA : Rockport Publishers, 1989. 239 p.
- [68] - TRYLINSKY, W. **Fine mechanisms and precision instruments: principles of design.** New York : Pergamon Press Inc., 1971. 525 p.

- [69] - BRALLA, J.G. **Handbook of product design for manufacturing: a practical guide to low-cost production.** New York : McGraw-Hill, Inc. 1986. paginação irregular.
- [70] - BAKERJIAN, R. **Tool and manufacturing engineers handbook.** fourth edition, V. VI, design for manufacturability. Michigan : Society of Manufacturing Engineers, 1992. paginação irregular.
- [71] - GORDON, J.M. **Total quality process control for injection molding.** Munich, Vienna, New York, Barcelona : Hanser Publishers, 1993. 604 p.
- [72] - REES, H. **Understanding product design for injection molding.** Munich; Vienna; New York : Hanser : Cincinnati : Hanser/Gardner, 1996. 116 p.
- [73] - HARADA, J. **Moldagem por injeção.** São Paulo : MediaIdéia, 1991. 202 p.
- [74] - ALLIEDSIGNAL Inc. Engineering Plastics. **Modulus® Design solutions guide.** Disponível na Internet. <http://www.asresin.com>. [março/98?].
- [75] - JURAN, J.M. **A qualidade desde o projeto: novos passos para o planejamento da qualidade em produtos e serviços.** 2 ed., São Paulo : Pioneira, 1992. 551 p.
- [76] - HERMES, C.J.L.; OGLIARI, A.; BACK, N. **Desenvolvimento da base de conhecimento de um sistema computacional de apoio ao projeto de instrumentos de medição.** Florianópolis : EMC/UFSC, 1997. 39 p. (Relatório de Iniciação Científica, CNPq).
- [77] - FERREIRA, Marcelo Gitirana Gomes. **Utilização de modelos para a representação de produtos no projeto conceitual.** Florianópolis, 1997. 128 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina.
- [78] - HOUNSELL, Marcelo da Silva. **Feature-based validation reasoning for intent-driven engineering design.** Loughborough, 1998. 290 p. Thesis (Doctor of Philosophy) - Loughborough University.
- [79] - BORLAND INTERNATIONAL, Inc. **Borland® Delphi™ for Windows 95 and Windows NT.** USA, 1983, 1997.
- [80] - BURR, J. **Mechatronics design in Japan.** Lyngby, Denmark : Institute for Engineering Design, 1989. 101 p.
- [81] - AKAO, Y. **Quality Function Deployment,** Cambridge : Productivity Press, 1990. 369 p.
- [82] - BORLAND INTERNATIONAL, Inc. **Borland® C++ Builder.** USA, 1997.
- [83] - PAHL, G., BEITZ, W. **Engineering Design: a systematic approach.** London : The Design Council, 1988. 397 p.

- [84] - ROTH, K. **New design methods for the development of promising products.** In: International Conference on Engineering Design - ICED 95. Praha, Czech republic, 1995. p.508-516.
- [85] - HUNDAL, M.S. **A methodical procedure for search of solutions from function structures.** In: International Conference on Engineering Design - ICED 91. Zurich, 1991. p. 9-16.
- [86] - HUNDAL, M.S. **A systematic method for developing function structures, solutions and concept variants.** *Mech. Mach. Theory*, Vol. 25. No 3, 1990. p. 243-256.
- [87] - SCHULTE, M.; WEBER, C. **The relationship between function and shape.** In: International Conference on Engineering Design - ICED 93. The Hague, The Netherlands, 1993. p. 9-20.
- [88] - BURR, J. **A theoretical approach to mechatronics design.** Lyngby, Denmark : Institute for Engineering Design, 1990. 126 p.
- [89] - HASHIM, F.M.; JUSTER, N.P.; PENNINGTON, A. **A functional approach to redesign.** *Engineering with Computers*. N. 10. London : Springer-Verlag London Limited, 1994. p. 125-139.
- [90] - CROW, Kenneth. **Value Analysis and Function Analysis System Technique.** DRM Associates, 1996. Disponível na Internet. <http://members.aol.com/drmassoc/va.html>.
- [91] - HAUSER, J.R. and CLAUSING, D. **The House of Quality.** *Harvard Business Review*, May-June, 1988. p. 63-73.
- [92] - REICH, Y. **AI-supported Quality Function Deployment.** In: Fourth International Workshop on Artificial Intelligence in Economics & Management, Kluwer, 1996. p. 91-106.
- [93] - INTERNATIONAL TECHNE GROUP INCORPORATED. **QFD/CAPTURE 3.2.** Milford, Ohio, 1996. Disponível na Internet. <http://www.iti-oh.com/qsoftwin.htm>. [agosto/97?].
- [94] - ASSOCIATED QUALITY CONSULTANTS, INC. **Quality Resoucers Online: Software to assist quality professionals.** Disponível na Internet <http://www.quality.org>.
- [95] - INFORMÁTICA EXAME. **Guia Informática 96: um roteiro completo de produtos e soluções.** São Paulo: Editora Abril, n. 123, ano 11, junho de 1996.
- [96] - INTELICORP, INC., 1992, **KAPPA-PC User's Guide**, versão 2.0.
- [97] - DIRECTA AUTOMAÇÃO. **DA-400 DATALN.** Folder Florianópolis, SC, Rod. SC 401, Km 01 - Edif. CELTA - 3º Andar.