



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

**METODOLOGIA PARA IMPLANTAÇÃO DA MANUTENÇÃO CENTRADA NA**  
**CONFIABILIDADE: uma abordagem fundamentada em Sistemas Baseados em**  
**Conhecimento e Lógica *Fuzzy***

**EMERSON RIGONI**

**Florianópolis - SC, Fevereiro de 2009.**

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

**METODOLOGIA PARA IMPLANTAÇÃO DA MANUTENÇÃO CENTRADA NA**  
**CONFIABILIDADE: uma abordagem fundamentada em Sistemas Baseados em**  
**Conhecimento e Lógica *Fuzzy***

Tese submetida à

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA**

para a obtenção do grau de

**DOUTOR EM ENGENHARIA MECÂNICA**

**EMERSON RIGONI**

**Florianópolis - SC, Fevereiro de 2009.**

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

**METODOLOGIA PARA IMPLANTAÇÃO DA MANUTENÇÃO CENTRADA NA  
CONFIABILIDADE: uma abordagem fundamentada em Sistemas Baseados em  
Conhecimento e Lógica *Fuzzy***

**EMERSON RIGONI**

Esta tese foi julgada adequada para a obtenção do título de  
**DOUTOR EM ENGENHARIA**  
**ESPECIALIDADE ENGENHARIA MECÂNICA**  
sendo aprovada em sua forma final.

---

Prof. Eduardo Alberto Fancello, D.Sc.  
Coordenador do POSMEC - UFSC

---

Prof. Jonny Carlos da Silva, Dr. Eng.  
Universidade Federal da Santa Catarina - UFSC  
Orientador

---

Prof. Acires Dias, Dr. Eng.  
Universidade Federal da Santa Catarina - UFSC  
Co-Orientador

**BANCA EXAMINADORA**

---

Prof. Jonny Carlos da Silva, Dr. Eng.  
Universidade Federal da Santa Catarina - UFSC  
Presidente

---

Prof. Gilberto Francisco Martha de Souza, Dr. Eng.  
Universidade de São Paulo - USP  
Relator

---

Prof. Enrique Andrés López Droguett, Ph.D.  
Universidade Federal de Pernambuco - UFPE

---

Prof. Jorge Coelho, D.Sc.  
Universidade Federal da Santa Catarina - UFSC

---

Prof. Nelson Back, Ph.D.  
Universidade Federal da Santa Catarina - UFSC

## DEDICATÓRIA

Para meus pais, Reinaldo e Lindamir, pela educação, amor, exemplos e contra-exemplos de vida que me fortalecem e orientam meus passos.

À minha avó Helena pelo amor e a sabedoria a mim concedidos nos momentos difíceis.

Ao meu irmão Cleverson pela parceria e apoio incondicional que me complementam e encorajam.

Para Silvana pela nossa cumplicidade e amor, pelo incentivo e companhia nos momentos em que a serenidade me estava distante, pela ajuda e participação importante nesta caminhada e pela paciência comigo.

## AGRADECIMENTOS

Este trabalho é a concretização de um desejo pessoal e resultado de um esforço substancial de pesquisa, explicitado aqui de maneira formal. Nesta busca de conhecimento e realização me foi grata e fundamental a ajuda daqueles que contribuíram com esta empreitada. A estes, o meu agradecimento sincero:

Deus, pela proteção e inspiração em todos os momentos.

Aos meus Orientadores Professores Jonny Carlos da Silva, Dr. Eng. e Acires Dias, Dr. Eng. pela orientação, incentivo, paciência e dedicação a mim concedidos.

Aos Membros da Banca Examinadora pela atenção, gentileza e disponibilidade em ler e acrescentar o seu conhecimento e suas contribuições ao meu trabalho.

A CAPES e a UFSC por tornarem material e intelectualmente realizável o desenvolvimento desta tese.

A UTFPR e ao DAELT pela licença capacitação que tornou possível a consecução deste trabalho.

Aos meus pais e familiares que me proporcionaram as condições necessárias para alcançar este objetivo.

A Silvana pela ajuda sincera e carinhosa com o texto, as traduções, formatações e o companheirismo indispensável nos momentos difíceis.

Ao Luis Alberto Galaz Mamani pelos finais de semana, nos quais se dedicou a contribuir com sua preciosa e indispensável ajuda com os softwares.

Ao professor Iony Patriota de Siqueira, especialista em MCC, que contribui com sua experiência durante processo de aquisição de conhecimento e validação dos softwares desenvolvidos.

Aos colegas do NEDIP, em especial ao Luis Fernando Peres Calil pelo imprescindível compartilhamento de conhecimento, ao Heitor Azuma Kagueiama pela ajuda indispensável em muitos momentos desta empreitada, ao Eduardo Yuji Sakurada pela acessibilidade e disposição em me ajudar sempre, ao Leonardo Mecabô pelo compartilhamento das dificuldades e desafios no projeto SECOMP, ao Paulo Francisco do Carmo pela troca de experiências e informações e a todos os bolsistas e estagiários que passaram pelo NEDIP e de alguma maneira contribuíram com este trabalho.

Aos colegas Luiz Amilton Pepplow, Paulo Rogério da Silveira e Walter Luis Mikos pelas trocas de informações e ajuda nas agruras do caminho.

Ao Ivan Eidt Colling pela ajuda com o Esperanto.

Aos meus alunos Cristiano José Gober, Luís Carlos Santos da Silva e Rogério José dos Santos por terem aceito o desafio da validação em campo dos softwares.

Aos colegas do DAELT que me substituíram durante meu afastamento e assim tornaram possível esta empreitada.

## RESUMO

RIGONI, Emerson. **METODOLOGIA PARA IMPLANTAÇÃO DA MANUTENÇÃO CENTRADA NA CONFIABILIDADE: uma abordagem fundamentada em Sistemas Baseados em Conhecimento e Lógica *Fuzzy***. Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica (POSMEC) da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), como requisito parcial para obtenção do título de Doutor em Engenharia Mecânica, Florianópolis, 2008.

A implantação da Manutenção Centrada na Confiabilidade (MCC) nem sempre acontece de maneira adequada, harmoniosa e consistente, resultando em baixo comprometimento dos mantenedores e, em casos críticos, abandono do programa de MCC pela falta de sinergia com os objetivos da empresa. Além dos aspectos técnicos, os aspectos gerenciais também influenciam no sucesso de um programa de MCC.

Este trabalho propõe uma metodologia para auxiliar a implantação da MCC, ponderando seus pré-requisitos e auditando cada etapa do processo de implementação, reduzindo assim os fatores críticos para o sucesso do programa. Tais fatores estão, na maioria das vezes, relacionados a baixa aderência da empresa/sistema aos pré-requisitos exigidos pela MCC e/ou etapas mal executadas durante a sua implementação. A proposta deste trabalho é ponderar as características da empresa/sistema e as necessidades da MCC e, após a implementação de cada etapa, auditá-la para que as inconsistências ocorridas durante sua execução não se propagem para as demais. Em etapas específicas propõe-se também ferramentas para auxiliar a sua implementação, apoiando a tomada de decisão frente às incertezas que se interpõem ao processo decisório.

A metodologia proposta é orientada por um Sistema Baseado em Conhecimento *Fuzzy* (SBC-*Fuzzy*) que incorpora critérios para diagnóstico e tomada de decisão, levando em conta os aspectos técnicos, gerenciais, a experiência de programas consolidados de MCC e o conhecimento institucional. Com esta metodologia, é possível minimizar os riscos de insucesso das metodologias tradicionais de implantação da MCC, considerando e tratando as incertezas por imprecisão (léxicas) do processo com uma visão holística das interações e necessidades da MCC.

O SBC-*Fuzzy* desenvolvido, bem como as ferramentas sugeridas para implementação das etapas críticas, foram testados e validados em campo por especialistas em implantação e gestão de programas de MCC. Tal processo comprovou os benefícios e a acurácia da metodologia e das ferramentas propostas.

**Palavras Chave:** Sistema Baseado em Conhecimento, Lógica *Fuzzy*, Manutenção Centrada na Confiabilidade.

## ABSTRACT

RIGONI, Emerson. **METHODOLOGY FOR RELIABILITY CENTERED MAINTENANCE IMPLEMENTATION: an approach grounded in Knowledge Based System and Fuzzy Logic.** Doctorate Thesis presented to the Graduate Program in Mechanical Engineering (POSMEC) of the Federal University of Santa Catarina (UFSC), as a partial requisite for Doctorate in Mechanical Engineering. Florianópolis, 2008.

The Reliability Centered Maintenance (RCM) implementation does not always happen in an appropriate, harmonious and consistent way, which results in low commitment from maintainers and, in some critical cases, abandonment of the RCM program due to lack of synergy with the company's goals. Along with technical aspects, some management ones also influence the success of the RCM program.

This thesis proposes a methodology to assist RCM implementation, considering its pre-requisites and auditing each implementation stage process in order to reduce critical factors to the program's success. These factors are, most of the time, related to the low adherence of the company/system to the pre-requisites demanded by RCM, and/or bad executed steps, during its implementation. It aims, therefore, to consider the company's/system's characteristics as well as the RCM needs and, after the implementation of each step, audit them so that the inconsistencies occurred during its execution are not extended to further ones. In addition, some auxiliary tools are also proposed for the implementation of specific steps to support decision making regarding uncertainties that may be interposed to the decision-making process.

This methodology is based on a Knowledge Based System-Fuzzy (KBS-Fuzzy) which incorporates criteria for diagnosis and decision-making, taking into account technical and management aspects as well as the experience of RCM consolidated programs and institutional knowledge. In this way, it is possible to minimize the unaccomplished risks of traditional RCM implementation methodologies, considering and treating inaccuracy (lexical) uncertainties of the process within a holistic view of RCM interactions and needs.

The KBS-Fuzzy developed, as well as the suggested tools for critical steps implementation, were field validated and tested by specialists in implementation and RCM program management, verifying the benefits and accuracy of such methodology and tools.

**Key-words:** Knowledge Based System, Fuzzy Logic, Reliability Centred Maintenance.

## RESUMO

RIGONI, Emerson. **METODOLOGIO POR EFEKTIVIGO DE VARTADO FOKUSIGITA SUR FIDINDECO: aliro fundamentita sur Sciarbazitaj Sistemoj kaj Svaga Logiko.** Doktora tezo prezentita al la Postdiploma Programo pri Mekanika Inĝenierarto (POSMEC) de la Federacia Universitato de Sankta Katarino (UFSC) kiel parta postulo por la havigo de la titolo de Doktoro pri Mekanika Inĝenierarto, Florianopolo, 2008.

La efektivigo de la Vartado Fokusigita sur Fidindeco (VFF) ne ĉiam fariĝas en maniero adekvata, harmonia kaj konsekvenca, el kio rezultas malalta devontiĝo de la prizorgistoj kaj, en krizaj okazoj, forlaso de la VFF-programo pro manko de samcela kunagado rilate al la celoj de la entrepreno. Krom teknikaj aspektoj, ankaŭ mastrumaj aspektoj influas la sukceson de VFF-programo.

Tiu ĉi laboro proponas metodologion por helpi la efektivigon de VFF, konsiderante ties antaŭpostulojn kaj postkontrolante ĉiun etapon de la efektivigproceso, tiel malpliigante la riskajn faktorojn cele al la sukceso de la programo. Tiaj faktoroj koncernas, plejofte, la malaltan alteniĝon de la entrepreno/sistemo al la antaŭpostuloj postulataj de VFF kaj/aŭ etapojn malbone plenumitajn dum ties efektivigoj. La propono de tiu ĉi laboro estas konsideri la karakterizaĵojn de la entrepreno/sistemo kaj la necesojn de VFF, kaj kontroli ĉiun etapon tuj post ties realigo, por ke ties nekoheraĵoj ne sin propagu al la sekvontaj ŝtupoj. En specifaj etapoj oni proponas ankaŭ efektivig-helpilojn, celante apogi la decid-ekprenon alfronte al necertaĵoj apereblaj dum la decidproceso.

La proponita metodologio estas fundamentita sur Sciarbazita Sistemo kun Svaga Logiko (SBS-Svaga), kiu enprenas kriteriojn por la diagnozo kaj decid-ekpreno, kunkalkulante aspektojn teknikajn kaj mastrumajn, same kiel la spertojn el plensukcesaj VFF-programoj kaj la institucian sciaron. Per ĉi tiu metodologio, eblas minimumigi la riskojn de malsukceso de la tradiciaj VFF-efektivigaj metodologioj, konsiderante kaj pritraktante la necertaĵojn leksikonajn, aŭ tiujn generatajn pro neprecizecoj en la proceso, per tuteca rigardo al la interagoj kaj necesoj de Vartado Fokusigita sur Fidindeco.

La disvolvita SBS-Svaga, same kiel la sugestitaj iloj por efektivigo de la kritaj etapoj, estis surterene elprovitaj kaj atestitaj fare de fakuloj pri efektivigo kaj mastrumado de VFF-programoj. Tia proceso pruvis la avantaĝojn kaj la ekzaktecon de la proponitaj metodologio kaj iloj.

**Ŝlosilvortoj:** sciarbazita sistemo, svaga logiko, vartado fokusigita sur fidindeco.



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 - Efetivo Próprio de Pessoal na Área de Manutenção.....	20
Figura 1.2 - Qualificação do Pessoal da Manutenção.....	20
Figura 1.3 - Programação Anual de Treinamento para o Pessoal de Manutenção.....	21
Figura 1.4 - Indicadores de Disponibilidade.....	22
Figura 1.5 - Idade Média dos Equipamentos/Instalações em Operação.....	22
Figura 1.6 - Monitoramento de Máquinas e Equipamentos Utilizados nas Empresas.....	24
Figura 2.1 - Curva da Banheira.....	35
Figura 2.2 - Padrões de Taxa Instantânea de Falhas.....	36
Figura 2.3 - Estágios Evolutivos da Falha.....	40
Figura 2.4 - Estrutura para Síntese das Metodologias Estudadas.....	42
Figura 2.5 - Metodologia para Implantação da MCC proposta pela IEC 60300-3-11.....	43
Figura 2.6 - Metodologia para Implantação da MCC proposta pela SAE JA1011/JA1012.....	45
Figura 2.7 - Metodologia para Implantação da MCC - ABS.....	46
Figura 2.8 - Metodologia para Implantação da MCC - NASA.....	47
Figura 2.9 - Metodologia para Implantação da MCC - NOWLAN E HEAP.....	48
Figura 2.10 - Metodologia para Implantação da MCC - MOUBRAY.....	49
Figura 2.11 - Metodologia para Implantação da MCC - SMITH.....	50
Figura 2.12 - Metodologia para Implantação da MCC - SMITH E HINCHCLIFFE.....	51
Figura 3.1 - Hierarquia do Conhecimento.....	54
Figura 3.2 - Espiral do Conhecimento.....	57
Figura 3.3 - Processo de Construção de um SBC.....	62
Figura 3.4 - Principais Atores do Processo de Construção de um SBC.....	63
Figura 4.1 - Grau de Especialização do Pessoal da Manutenção.....	67
Figura 4.2 - Contextualização de SBC e SE dentro dos SI's.....	70
Figura 4.3 - Arquitetura de um Sistema Especialista (SE).....	70
Figura 4.4 - Etapas de Desenvolvimento de Software Utilizando o Modelo Incremental.....	74
Figura 4.5 - Núcleo, Suporte e Limites de um Conjunto <i>Fuzzy</i> .....	88
Figura 4.6 - Operações: Complemento, Interseção e União de Conjuntos <i>Fuzzy</i> .....	90
Figura 4.7 - Partição de Conjuntos <i>Fuzzy</i> .....	90
Figura 4.8 - Modificadores Lingüísticos do FuzzyCLIPS.....	91
Figura 4.9 - Diagrama Típico de um Modelo de Inferência de Mandani.....	94
Figura 4.10 - Exemplo de um Processo de Inferência <i>Fuzzy</i> .....	97
Figura 5.1 - Procedimento de Referência para Implantação da MCC.....	100
Figura 5.2 - Aspectos do Procedimento de Referência para cada Etapa da MCC.....	101
Figura 5.3 - Planilha da FMECA adotada no Procedimento de Referência.....	105
Figura 5.4 - Seleção das Funções Significantes e Classificação dos seus Modos de Falha.....	106
Figura 5.5 - Seleção das Tarefas de Manutenção.....	107
Figura 5.6 - Avaliação dos Pré-requisitos e Auditoria <i>Fuzzy</i> das Etapas da MCC.....	111
Figura 5.7 - Processo de Avaliação dos Pré-Requisitos e Auditoria <i>Fuzzy</i> da MCC.....	111
Figura 5.8 - Processo de Avaliação <i>Fuzzy</i> dos Pré-Requisitos das Etapas da MCC.....	112
Figura 5.9 - Termos Primários para Avaliação de Pré-Requisitos e Auditoria.....	112
Figura 5.10 - Processo de Auditoria <i>Fuzzy</i> das Etapas da Mcc.....	113
Figura 5.11 - Critérios para Julgamento do Êxito de um Programa de MCC.....	114

Figura 5.12 - Avaliação dos Pré-Requisitos da Etapa 0.....	119
Figura 5.13 - Avaliação dos Pré-Requisitos da Etapa 1.....	124
Figura 5.14 - Avaliação dos Pré-Requisitos da Etapa 2.....	128
Figura 5.15 - Avaliação dos Pré-Requisitos da Etapa 3.....	131
Figura 5.16 - Avaliação dos Pré-Requisitos da Etapa 4.....	133
Figura 5.17 - Avaliação dos Pré-Requisitos da Etapa 5.....	135
Figura 5.18 - Avaliação dos Pré-Requisitos da Etapa 6.....	136
Figura 5.19 - Avaliação dos Pré-Requisitos da Etapa 7.....	138
Figura 5.20 - Avaliação dos Pré-Requisitos da Etapa 8.....	140
Figura 5.21 - Auditoria da Etapa 0.....	143
Figura 5.22 - Auditoria da Etapa 1.....	143
Figura 5.23 - Auditoria da Etapa 2.....	145
Figura 5.24 - Auditoria da Etapa 3.....	146
Figura 5.25 - Auditoria da Etapa 4.....	148
Figura 5.26 - Auditoria da Etapa 5.....	149
Figura 5.27 - Auditoria da Etapa 6.....	151
Figura 5.28 - Auditoria da Etapa 7.....	153
Figura 5.29 - Auditoria da Etapa 8.....	154
Figura 6.1 - Metodologia de Desenvolvimento do DALF-MCC.....	159
Figura 6.2 - Possíveis Configurações dos Termos Primários no DALF-MCC.....	160
Figura 6.3 - Tela de Ponderação dos Quesitos.....	161
Figura 6.4 - Relatório de Avaliação da Etapa.....	163
Figura 6.5 - Critério de Codificação da Base de Conhecimento do DALF-MCC.....	163
Figura 6.6 - Processo de Inferência <i>Fuzzy</i> com Atribuição de Conceitos.....	165
Figura 6.7 - Processo de Inferência <i>Fuzzy</i> com Atribuição de Notas.....	166
Figura 6.8 - Processo de Inferência <i>Fuzzy</i> com Atribuição de Nota e Conceito.....	168
Figura 6.9 - Conjuntos <i>Fuzzy</i> Resultantes da Avaliação Simulada de C4 e C5 da Etapa 0.....	169
Figura 6.10 - Processo de Inferência <i>Fuzzy</i> para Avaliação da Etapa 0.....	169
Figura 7.1 - Tela de Acesso aos Softwares de Apoio a Implementação da MCC.....	171
Figura 7.2 - Matriz para Avaliação do Grau de Risco.....	182
Figura A.1 -Planilha FMECA adotada no Procedimento de Referência.....	215
Figura A.2 - Estágios Evolutivos da Falha.....	216
Figura A.3 - Síntese: Causas, Modo de Falha e Efeitos.....	218
Figura A.4 - Identificação de Funções Significantes.....	219
Figura B.1 - Etapas de Desenvolvimento de Software Utilizando o Modelo Seqüencial.....	229
Figura B.2 - Etapas de Desenvolvimento de Software Utilizando o Modelo Espiral.....	230
Figura B.3 - Desenvolvimento de Software com Modelo Baseado em Componentes.....	231
Figura B.4 - Processo de Desenvolvimento de um SBC.....	232
Figura B.5 - Técnicas de Modelagem <i>Botton-up</i> e <i>Top-Down</i> .....	236
Figura B.6 - AC no Paradigma Top Down.....	237
Figura B.7 - O Processo KDD.....	243
Figura B.8 - Exemplos de Redes Semânticas: Tipo <u>é um</u> e <u>tem parte</u> .....	245
Figura B.9 - Exemplo de Frames.....	246
Figura B.10 - Exemplos de Interfaces no wxCLIPS.....	254
Figura C.1 - Procedimento de Referência para Implantação da MCC.....	100

Figura G.1 - Possíveis Configurações dos Termos Primários no DALF-MCC .....	301
Figura G.2 - Exemplo de ponderação para Et_0_C_2_Q_1 .....	301
Figura G.3 - Determinação da Área $A_{C1}$ da Equação G2 .....	303
Figura G.4 - Tela Inicial do DALF-MCC (Menu Início) .....	304
Figura G.5 - Tela de Identificação e Caracterização da Empresa (Menu Empresa).....	304
Figura G.6 - Tela de Parametrização (Menu Parametrização <i>Fuzzy</i> ).....	305
Figura G.7 - Tela de Ponderação dos Pré-Requisitos (Menu Pré-Requisitos) .....	306
Figura G.8 - Tela para Ponderação para Auditoria (Menu Auditoria) .....	306
Figura G.9 - Relatório (Cabeçalho Pré-Requisitos e Auditoria) .....	307
Figura G.10 - Relatório (Avaliação da Etapa 0).....	308
Figura G.11 - Relatório (Etapa 0 - Critério 3) .....	309
Figura G.12 - Tela de Apresentação do OpenFMECA .....	310
Figura G.13 - Tela de Configurações do OpenFMECA .....	310
Figura G.14 - Tela de Inclusão de Participante na Base de Dados do OpenFMECA .....	311
Figura G.15 - Tela de Elaboração da FMECA (EXEMPLO DISJUNTOR).....	311
Figura G.16 - Tela de Avaliação de Índices .....	311
Figura G.17 - OpenFMECA: Gerenciamento de Ações e Controles Atuais .....	312
Figura G.18 - Tela de Reavaliação de Índice .....	312
Figura G.19 - Relatórios OpenFMECA.....	313
Figura G.20 - Tela de <i>Login</i> do FMECA-Delphi .....	313
Figura G.21 - Tela do Formulário Sobre o Especialista .....	314
Figura G.22 - Tela da Primeira Iteração .....	314
Figura G.23 - Tela do Relatório da Primeira Iteração .....	315
Figura G.24 - Tela de Coleta de Informações Adicionais .....	315
Figura G.25 - Tela do Relatório das Informações Adicionais.....	316
Figura G.26 - Tela da Segunda Iteração .....	317
Figura G.27 - Tela do Relatório Individual do Especialista .....	317
Figura G.28 - Tela Inicial do NPR-Fuzzy .....	318
Figura G.29 - Tela de Parametrização e Ponderação do NPR-Fuzzy.....	319
Figura G.30 - Relatório de Avaliação do NPR-Fuzzy.....	320
Figura G.31 - Tela de Abertura do DALF-Diagramas .....	321
Figura G.32 - Tela de Abertura do DALF-Diagramas - Etapa 4 - Parte 1 .....	321
Figura G.33 - Tela de Identificação e Descrição da Função .....	322
Figura G.34 - Tela de Parametrização dos Termos Primários.....	322
Figura G.35 - Tela de Ponderação dos Quesitos - Etapa 4 - Parte 1 .....	324
Figura G.36 - Tela de Resultados do Processo de Inferência <i>Fuzzy</i> - Etapa 4.....	324
Figura G.37 - Tela de Ponderação dos Quesitos - Etapa 4 - Parte 2 .....	236
Figura G.38 - Tela de Abertura do DALF-Diagramas - Etapa 5.....	326
Figura G.39 - Tela de Ponderação dos Quesitos - Etapa 5.....	329
Figura G.40 - Tela de Resultados do Processo de Inferência <i>Fuzzy</i> - Etapa 5.....	239
Figura G.41 - Cabeçalho e Parametrização <i>Fuzzy</i> .....	330
Figura G.42 - Diagramas da Decisão Resultantes. ....	331
Figura G.43 - Ponderação dos Quesitos e Resultados do Processo de Inferência.....	331

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1.1 - Principais Indicadores de Desempenho Utilizados .....	21
Tabela 4.1 - Diferenças entre os Sistemas Convencionais e os SBC's .....	72
Tabela 4.2 - Critérios para Seleção de SBC's .....	75
Tabela 4.3 - Propriedades dos Conjuntos <i>Fuzzy</i> .....	89
Tabela 7.1 - Escala de Valores para Estimativa do Grau de Confiança .....	177
Tabela 7.2 - Termos Lingüísticos (Primários) Utilizados no NPR-Fuzzy .....	179
Tabela 7.3 - Graduação da Severidade das Conseqüências.....	182
Tabela 7.4 - Frequência de Ocorrência da Falha Funcional ou do Modo de Falha.....	182
Tabela 7.5 - Categorias de Risco da Falha Funcional ou do Modo de Falha .....	183
Tabela 8.1 - Dados Estatísticos do DALF-MCC.....	186
Tabela 8.2 - Entradas Simuladas no DALF-MCC.....	187
Tabela 8.3 - Resultado do Questionário de Validação (Alunos - UTFPR) .....	188
Tabela 8.4 - Resultado do Questionário de Validação (Especialistas - Congressos) .....	189
Tabela 8.5 - Resultado do Questionário de Validação (Aplicação em Campo).....	191
Tabela 8.6 - Resultado do Questionário de Validação (Especialistas em MCC) .....	193
Tabela A.1 - Sugestão de Critérios para Avaliar a Severidade dos Modos de Falha .....	220
Tabela A.2 - Sugestão de Critérios para Avaliar a Ocorrência da Causa da Falha .....	221
Tabela A.3 - Sugestão de Critérios para Avaliar a Ocorrência da Causa da Falha .....	222
Tabela A.4 - Sugestão de Critérios para Avaliar a Detecção da Causa da Falha .....	223
Tabela A.5 - Ferramentas para Promoção da Qualidade .....	224
Tabela B.1 - Vantagens e Desvantagens da AC Baseada em Análise de Protocolo .....	233
Tabela B.2 - Exemplo de Representação Objeto-Atributo-Valor (OAV) .....	247
Tabela B.3 - Tipos de Regras no FuzzyCLIPS) .....	252

## LISTA DE SIGLAS E ACRÔNIMOS

- ABNT → Associação Brasileira de Normas Técnicas  
ABRAMAN → Associação Brasileira de Manutenção  
ABS → *American Bureau of Shipping*  
AC → Agência Americana Regulamentadora da Construção de Navios  
AC → Aquisição do Conhecimento  
AGR → Análise de Grades de Repertório  
AGR → *Repertory Grid Analysis*  
ASME → *American Society of Mechanical Engineers*  
Sociedade Americana de Engenheiros Mecânicos  
*Air Transport Association of America – Maintenance Steering Group – Task Force 3*  
ATA MSG3 → Associação do Transporte Aéreo Americano – Grupo Governamental “de Condução” da Manutenção – Força Tarefa 3  
C1, C2...C<sub>n</sub> → Critérios Avaliados  
CCQ → Círculos de Controle da Qualidade  
CHESF → Companhia Hidrelétrica do São Francisco  
COG → Centro de Gravidade  
CNPq → Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico  
CLIPS → *C Language Integrated Production System*  
Sistema de Produção Integrado de Linguagem C  
CMMS → *Computer Maintenance Management Systems*  
Sistema Computadorizado de Gerenciamento da Manutenção  
D → Detecção  
DAELT → Departamento Acadêmico de Eletrotécnica  
DALF-MCC → Diagnóstico Auxiliado por Lógica *Fuzzy* para a MCC  
DIA → Detecção de Interação Automática  
DOD → *Department of Defense*  
Departamento de Defesa  
EC → Engenheiro de Conhecimento  
ECM → *Experience Centered Maintenance*  
Manutenção Centrada na Experiência  
ECOMP → Estação de Compressão de Gás Natural  
EE → Estação de Entrega  
EH → Especialista Humano  
EMC → Sigla do Departamento de Engenharia Mecânica da UFSC  
EEO → Evidente com efeito Econômico ou Operacional  
*Electric Power Research Institute*  
EPRI → Instituto de Pesquisa em Energia Elétrica  
ESA → ESA – Evidente com efeito na Segurança ou Ambiente  
ETA → *Event Tree Analysis*  
Análise da Árvore de Eventos  
FAA → *Federal Aviation Administration*  
Administração Federal da Aviação  
FMEA → *Failure Modes and Effects Analysis*  
Análise dos Modos de Falha e seus Efeitos  
FMECA → *Failure Modes, Effects and Criticality Analysis*  
Análise dos Modos de Falha seus Efeitos e sua Criticidade  
FTA → *Fault Tree Analysis*  
Análise da Árvore de Falhas  
GASBOL → Gasoduto Bolívia-Brasil  
GC → Gestão de Conhecimento  
IA → Inteligência Artificial  
ICOM → *Input, Control, Output, Mechanism*  
Entrada, Controle, Saída e Mecanismo  
IDEF → *Integration DEFinition*  
Definição Integrada  
IEC → *International Electrotechnical Commission*  
Comissão Internacional de Eletrotécnica  
ISO → *International Organization for Standardization*  
Organização Internacional para Padronização  
JESS → *Java Expert System Shell*  
*Shell* para desenvolvimento de Sistemas Especialistas em Java

KADS	→	<i>Knowledge Acquisition and Design Structure</i> Aquisição de Conhecimento e Projeto de Estrutura
KDD	→	<i>Knowledge Discovery in Data Base</i> Descoberta de Conhecimento em Banco de Dados
MCC	→	Manutenção Centrada na Confiabilidade
MF	→	Modos de Falha
MIT	→	<i>Massachusetts Institute of Technology</i> Instituto de Tecnologia de Massachusetts
MOM	→	Média dos Máximos
MSG-1	→	<i>Maintenance Steering Group – Task Force 1</i> Grupo Governamental “de Condução” da Manutenção – Força Tarefa 1
MTBF	→	<i>Mean Time Between Failure</i> Tempo Médio Entre Falhas
MTTR	→	<i>Mean Time To Repair</i> Tempo Médio Para Reparo
NASA	→	<i>National Aeronautics and Space Administration</i> Agência Aero-Espacial Norte Americana
NBR	→	Norma Brasileira
NE	→	Número de Efeitos
NPR	→	Número de Prioridade de Risco
NeDIP	→	Núcleo de Desenvolvimento Integrado de Produtos
NIST	→	<i>National Institute of Standards and Technology</i> Instituto Nacional de Padronizações e Tecnologias
O	→	Ocorrência
OAV	→	Objeto - Atributo - Valor
OEO	→	Oculto com efeito Econômico ou Operacional
ONS	→	Operador Nacional do Sistema
OPAL	→	<i>Object, Process and Actor Modeling Language</i> Linguagem de Modelagem Agente, Objeto e Processo
OSA	→	Oculto com efeito na Segurança ou Ambiente
PF	→	Intervalo entre a Falha Potencial e a Falha Funcional
PMBOK	→	<i>Project Management Body of Knowledge</i> Conjunto de Conhecimentos em Gerenciamento de Projetos
PMI	→	<i>Project Management Institute</i> Instituto de Gerenciamento de Projetos
Q1, Q2...Q <sub>n</sub>	→	Quesitos a serem Ponderados
QC	→	Quantidade de Causas
RC	→	Representação do Conhecimento
RCM	→	<i>Reliability Centered Maintenance</i> Manutenção Centrada na Confiabilidade
S	→	Severidade
SADT	→	<i>Structured Analysis and Design Technique</i> Técnica de Análise e Projetos Estruturados
SAE	→	<i>Society of Automotive Engineers</i> Sociedade de Engenheiros Automotivos
SBC	→	Sistema Baseado em Conhecimento
SCADA	→	<i>Supervisory Control And Data Acquisition</i> Supervisão Controle e Aquisição de Dados
SCGM	→	Sistema de Controle e Gestão da Manutenção
SE	→	Sistema Especialista
SI	→	Sistema Inteligente
SRCM	→	<i>Streamlined RCM</i> Processo Simplificado/Abreviado de Implantação da MCC
SSCM	→	Sistemática para Seleção da Concepção de Manutenção
TBG	→	Transportadora Brasileira Gasoduto Brasil Bolívia S.A.
TMDA	→	<i>Task / Method / Domain / Application</i> Tarefa / Método / Domínio / Aplicação
TPM	→	<i>Total Productive Maintenance</i> Manutenção Produtiva Total
UFSC	→	Universidade Federal de Santa Catarina
UML	→	<i>Unified Modeling Language</i> Linguagem de Modelagem Unificada
UTFPR	→	Universidade Tecnológica Federal do Paraná

## SUMÁRIO

<b>CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO.....</b>	<b>19</b>
1.1 TEMA DE PESQUISA .....	19
1.1.1 Aspectos Gerais.....	19
1.1.2 Aspectos Específicos .....	19
1.2 PREMISSAS E PROBLEMA DE PESQUISA .....	23
1.3 TRABALHOS RELEVANTES .....	25
1.4 OBJETIVOS .....	28
1.4.1 Objetivo Geral.....	28
1.4.2 Objetivos Específicos .....	28
1.6 JUSTIFICATIVAS E CONTRIBUIÇÕES.....	29
1.7 DELIMITAÇÃO DO TEMA .....	30
1.8 METODOLOGIA DA PESQUISA .....	31
1.9 ESTRUTURA DO TRABALHO.....	32
<b>CAPÍTULO 2 - MANUTENÇÃO CENTRADA NA CONFIABILIDADE .....</b>	<b>33</b>
2.1 INTRODUÇÃO .....	33
2.2 ASPECTOS GERAIS .....	33
2.2.1 Evolução Histórica da MCC.....	35
2.2.2 Considerações sobre os Mecanismos de Falha .....	35
2.2.3 Considerações Bibliográficas e Normativas .....	35
2.2.4 Atributos e Critérios de um Processo de MCC .....	38
2.3 CONCEITOS INERENTES A IMPLANTAÇÃO DA MCC.....	39
2.4 METODOLOGIAS PARA IMPLANTAÇÃO DA MCC.....	42
2.4.1 Metodologia Proposta pela IEC 60300-3-11.....	42
2.4.2 Metodologia Proposta pela SAE JA1011/JA1012.....	44
2.4.3 Metodologia Proposta pela ABS (American Bureau of Shipping) .....	44
2.4.4 Metodologia Proposta pela NASA (National Aeronautics and Space Administration) .....	44
2.4.5 Metodologia Proposta por Nowlan e Heap .....	46
2.4.6 Metodologia Proposta por Moubray.....	47
2.4.7 Metodologia Proposta por Smith.....	48
2.4.8 Metodologia Proposta por Smith e Hinchcliffe .....	50
2.5 CONSIDERAÇÕES E SÍNTESE DO CAPÍTULO .....	52
<b>CAPÍTULO 3 - GESTÃO DO CONHECIMENTO.....</b>	<b>53</b>
3.1 INTRODUÇÃO .....	53
3.2 DEFINIÇÕES E CONCEITOS.....	53
3.3 CRIAÇÃO DO CONHECIMENTO .....	56
3.4 A IMPORTÂNCIA DA GESTÃO DO CONHECIMENTO (GC) .....	59
3.5 A FUNÇÃO DA ENGENHARIA DO CONHECIMENTO NA GC.....	61
3.6 A GESTÃO DO CONHECIMENTO E O PROCESSO DE MCC .....	63
3.7 CONSIDERAÇÕES E SÍNTESE DO CAPÍTULO .....	66
<b>CAPÍTULO 4 - SISTEMAS BASEADOS EM CONHECIMENTO .....</b>	<b>67</b>
4.1 INTRODUÇÃO .....	67
4.2 DEFINIÇÕES E CONCEITOS.....	68
4.3 DIFERENÇAS ENTRE A ABORDAGEM ALGORÍTMICA E A HEURÍSTICA.....	71
4.4 PROCESSO DE DESENVOLVIMENTO DE UM SBC .....	73
4.5 AQUISIÇÃO E ELICITAÇÃO DO CONHECIMENTO.....	76
4.5.1 Técnicas Manuais para Elicitação do Conhecimento .....	77
4.5.2 Técnicas Automatizadas para Elicitação de Conhecimento .....	79
4.5.3 Considerações sobre Aquisição de Conhecimento (AC).....	80
4.6 REPRESENTAÇÃO DO CONHECIMENTO (RC) .....	80

4.6.1 Considerações sobre Representação de Conhecimento (RC).....	83
4.7 VERIFICAÇÃO E VALIDAÇÃO DE SBC .....	84
4.8 TRATAMENTO DE INCERTEZAS .....	85
4.8.1 Tratamento das Incertezas do Processo de Implantação da MCC.....	86
4.9 LÓGICA FUZZY .....	87
4.9.1 Conjuntos Fuzzy – Definições.....	87
4.9.2 Propriedades dos Conjuntos Fuzzy .....	88
4.9.3 Operações Fuzzy.....	89
4.9.4 Variáveis Linguísticas.....	90
4.9.5 Modificadores Linguísticos Fuzzy .....	91
4.9.6 Regras de Produção Fuzzy .....	91
4.9.7 O Processo de Inferência Fuzzy .....	93
4.10 A SHELL FUZZYCLIPS .....	97
4.11 CONSIDERAÇÕES E SÍNTESE DO CAPÍTULO.....	97

## **CAPÍTULO 5 - METODOLOGIA DESENVOLVIDA PARA IMPLEMENTAÇÃO DA MCC .. 99**

5.1 INTRODUÇÃO .....	99
5.2 PROCEDIMENTOS DE REFERÊNCIA PARA IMPLANTAÇÃO DA MCC.....	99
5.3 ASPECTOS DE CADA ETAPA DO PROCEDIMENTO DE REFERÊNCIA .....	100
5.3.1 Etapa 0 – Adequação da MCC .....	101
5.3.2 Etapa 1 – Preparação.....	102
5.3.3 Etapa 2 – Seleção do Sistema e Coleta de Informações .....	103
5.3.4 Etapa 3 – Análise dos Modos de Falha, seus Efeitos e sua Criticidade (FMECA) .....	104
5.3.5 Etapa 4 – Seleção das Funções Significantes e Classificação de seus Modos de Falha.....	105
5.3.6 Etapa 5 – Seleção das Tarefas de Manutenção Aplicáveis e Efetivas.....	106
5.3.7 Etapa 6 – Definição dos Intervalos Iniciais e Agrupamento das Tarefas de Manutenção.....	108
5.3.8 Etapa 7 – Redação do Manual e Implementação .....	109
5.3.9 Etapa 8 – Acompanhamento e Realimentação.....	109
5.4 METODOLOGIA PARA DIAGNÓSTICO DA MCC.....	110
5.5 SUCESSOS E FRACASSOS NA CONDUÇÃO DE UM PROGRAMA DE MCC.....	114
5.6 ESTRATÉGIA PARA AVALIAÇÃO DOS PRÉ-REQUISITOS DAS ETAPAS DA MCC.....	117
5.6.1 Avaliação dos Pré-Requisitos da Etapa 0.....	118
5.6.2 Avaliação dos Pré-Requisitos da Etapa 1.....	123
5.6.3 Avaliação dos Pré-Requisitos da Etapa 2.....	128
5.6.4 Avaliação dos Pré-Requisitos da Etapa 3.....	130
5.6.5 Avaliação dos Pré-Requisitos da Etapa 4.....	133
5.6.6 Avaliação dos Pré-Requisitos da Etapa 5.....	134
5.6.7 Avaliação dos Pré-Requisitos da Etapa 6.....	136
5.6.8 Avaliação dos Pré-Requisitos da Etapa 7.....	137
5.6.9 Avaliação dos Pré-Requisitos da Etapa 8.....	139
5.7 ESTRATÉGIA PARA AUDITORIA DAS ETAPAS DA MCC .....	141
5.7.1 Auditoria da Etapa 0 .....	142
5.7.2 Auditoria da Etapa 1 .....	143
5.7.3 Auditoria da Etapa 2 .....	144
5.7.4 Auditoria da Etapa 3 .....	145
5.7.5 Auditoria da Etapa 4 .....	147
5.7.6 Auditoria da Etapa 5 .....	148
5.7.7 Auditoria da Etapa 6 .....	151
5.7.8 Auditoria da Etapa 7 .....	152
5.7.9 Auditoria da Etapa 8 .....	153
5.8 AVALIAÇÃO DOS FATORES CRÍTICOS PARA A IMPLANTAÇÃO DA MCC.....	155
5.9 CONSIDERAÇÕES E SÍNTESE DO CAPÍTULO.....	155



<b>CAPÍTULO 6 - IMPLEMENTAÇÃO COMPUTACIONAL.....</b>	<b>157</b>
6.1 INTRODUÇÃO .....	157
6.2 ASPECTOS GERAIS DA IMPLEMENTAÇÃO COMPUTACIONAL.....	157
6.3 METODOLOGIA DE DESENVOLVIMENTO.....	158
6.4 ORGANIZAÇÃO DAS REGRAS NO DALF-MCC .....	160
6.5 POSSÍVEIS CONFIGURAÇÕES DO PROCESSO DE INFERÊNCIA FUZZY .....	163
6.6 CONSIDERAÇÕES E SÍNTESE DO CAPÍTULO .....	170
<b>CAPÍTULO 7 - FERRAMENTAS COMPUTACIONAIS DE APOIO À MCC.....</b>	<b>171</b>
7.1 INTRODUÇÃO .....	171
7.2 PROPOSTAS PARA IMPLEMENTAÇÃO DA ETAPA 3 .....	172
7.2.1 OpenFMECA – Suporte à Implementação da FMECA .....	173
7.2.2 FMECA-Delphi – Técnica Delphi para Elicitação do NPR .....	174
7.2.3 NPR-Fuzzy – Lógica Fuzzy para Avaliação do NPR.....	177
7.3 PROPOSTAS PARA IMPLEMENTAÇÃO DA ETAPA 4 .....	180
7.3.1 Análise de Risco nos Diagramas de Decisão da Etapa 4 da MCC .....	180
7.4 PROPOSTAS PARA IMPLEMENTAÇÃO DA ETAPA 5 .....	183
7.5 CONSIDERAÇÕES E SÍNTESE DO CAPÍTULO .....	184
<b>CAPÍTULO 8 - VERIFICAÇÃO E VALIDAÇÃO DO PROTÓTIPO.....</b>	<b>185</b>
8.1 INTRODUÇÃO .....	185
8.2 VERIFICAÇÃO.....	185
8.3 VALIDAÇÃO.....	187
8.4 CONSIDERAÇÕES E SÍNTESE DO CAPÍTULO .....	195
<b>CAPÍTULO 9 - CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>197</b>
9.1 INTRODUÇÃO .....	197
9.2 SOBRE OS OBJETIVOS E QUESTÕES DE PESQUISA PROPOSTOS.....	197
9.3 SOBRE AS CONTRIBUIÇÕES TÉCNICO-CIENTÍFICAS DA PESQUISA .....	199
9.4 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	200
<b>APÊNDICE A - MANUTENÇÃO CENTRADA NA CONFIABILIDADE .....</b>	<b>215</b>
A.1 GUIA PARA PREENCHIMENTO DA PLANILHA DE FMECA .....	215
A.1.1 Função .....	215
A.1.2 Falha Funcional.....	216
A.1.3 Modo de Falha .....	217
A.1.4 Efeitos do Modo de Falha.....	218
A.1.5 Severidade (S) .....	220
A.1.6 Causas.....	221
A.1.7 Ocorrência (O) .....	221
A.1.8 Controles Atuais.....	222
A.1.9 Detecção (D) .....	222
A.1.10 NPR (S.D.O) .....	223
A.2 MCC APLICADA AO GASODUTO BOLÍVIA BRASIL (GASBOL) .....	223
<b>APÊNDICE B - SISTEMAS BASEADOS EM CONHECIMENTO .....</b>	<b>229</b>
B.1 MODELOS PARA DESENVOLVIMENTO DE SOFTWARE .....	229
B.2 AQUISIÇÃO E ELICITAÇÃO DO CONHECIMENTO – TÉCNICAS MANUAIS.....	232
B.3 AQUISIÇÃO E ELICITAÇÃO DO CONHECIMENTO – TÉCNICAS AUTOMATIZADAS .....	239
B.4 REPRESENTAÇÃO DO CONHECIMENTO (RC) – TÉCNICAS.....	244
B.5 VERIFICAÇÃO E VALIDAÇÃO DE SBC.....	248
B.6 MODELAGEM DO CONHECIMENTO .....	249
B.7 CONFIABILIDADE DE SBC.....	250
B.8 FUZZYCLIPS COMO FERRAMENTA PARA DESENVOLVIMENTO DE SBC-FUZZY .....	251

<b>APÊNDICE C – QUESTIONÁRIOS DE AQUISIÇÃO E VALIDAÇÃO.....</b>	<b>255</b>
<b>APÊNDICE D – MANUAL DE INSTALAÇÃO E EXECUÇÃO DO DALF-MCC .....</b>	<b>265</b>
<b>APÊNDICE E – PUBLICAÇÕES .....</b>	<b>273</b>
E.1 CONGRESSOS E REVISTAS .....	275
E.2 ORIENTAÇÃO DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO .....	275
<b>APÊNDICE F - QUESITOS E CRITÉRIOS DO SBC-FUZZY DESENVOLVIDO .....</b>	<b>277</b>
F.1 ANÁLISE DOS PRÉ-REQUISITOS DA MCC .....	279
F.1.1 Pré-Requisitos_Etapa 0.....	279
F.1.2 Pré-Requisitos_Etapa 1.....	280
F.1.3 Pré-Requisitos_Etapa 2.....	281
F.1.4 Pré-Requisitos_Etapa 3.....	282
F.1.5 Pré-Requisitos_Etapa 4.....	283
F.1.6 Pré-Requisitos_Etapa 5.....	284
F.1.7 Pré-Requisitos_Etapa 6.....	284
F.1.8 Pré-Requisitos_Etapa 7.....	285
F.1.9 Pré-Requisitos_Etapa 8.....	286
F.2 AUDITORIA da MCC .....	286
F.2.1 Auditoria_Etapa 0.....	286
F.2.2 Auditoria_Etapa 1.....	287
F.2.3 Auditoria_Etapa 2.....	288
F.2.4 Auditoria_Etapa 3.....	289
F.2.5 Auditoria_Etapa 4.....	291
F.2.6 Auditoria_Etapa 5.....	291
F.2.7 Auditoria_Etapa 6.....	294
F.2.8 Auditoria_Etapa 7.....	295
F.2.9 Auditoria da Etapa 8.....	296
<b>APÊNDICE G - IMPLEMENTAÇÃO COMPUTACIONAL.....</b>	<b>299</b>
G.1 DALF-MCC .....	301
G.1.1 Processo de Fuzzyficação e Desfuzzyficação .....	301
G.1.2 Interface com o Usuário.....	303
G.1.3 Resultados e Conclusões do Processo de Inferência.....	307
G.2 OPEN-FMECA .....	309
G.2.1 Interface e Estrutura do OpenFMECA.....	310
G.3 FMECA-Delphi.....	313
G.3.1 Interface e Estrutura do FMECA-Delphi .....	313
G.4 NPR-FUZZY .....	318
G.4.1 Interface e Estrutura do NPR-Fuzzy.....	318
G.5 DALF-DIAGRAMAS (ETAPA 4) .....	320
G.5.1 Interface e Estrutura do DALF-Diagramas para a Etapa 4.....	321
G.6 DALF-DIAGRAMAS (ETAPA 5) .....	326
G.6.1 Interface e Estrutura do DALF-Diagramas para a Etapa 5.....	326
G.7 RELATÓRIO DE RESULTADOS E CONCLUSÕES DO DALF-DIAGRAMAS .....	330
<b>APÊNDICE H – ÍNDICES .....</b>	<b>333</b>
ÍNDICE ONOMÁSTICO .....	335
ÍNDICE REMISSIVO .....	339

## 1.1 TEMA DE PESQUISA

### 1.1.1 Aspectos Gerais

A habilidade das empresas contemporâneas de gerir, com a necessária competência e eficiência, seus ativos em busca de um diferencial competitivo está fortemente vinculada a sua política de gestão da manutenção. Neste contexto a Manutenção Centrada na Confiabilidade (MCC) apresenta-se como uma alternativa consolidada e que preserva, na sua metodologia, o capital intelectual das empresas.

Vale ressaltar que independente da política de gestão da manutenção, não há diferencial competitivo sustentável, senão através do que a empresa sabe, como utiliza o que sabe e a velocidade com que aprende. Por esta razão, a Gestão do Conhecimento (GC), associada à Inteligência Artificial (IA), em especial os Sistemas Baseados em Conhecimento (SBC's), estão se consolidando como ferramentas fundamentais de auxílio às políticas de gestão da manutenção.

### 1.1.2 Aspectos Específicos

A implantação e a gestão da MCC nem sempre acontecem de maneira adequada, harmoniosa e consistente, resultando em falta de comprometimento e, em casos críticos, em abandono do programa de MCC pela falta de sinergia com os objetivos da empresa. Além dos aspectos técnicos, os aspectos gerenciais e organizacionais também influenciam o sucesso de um programa de MCC (MOUBRAY, 2001). Alguns dos principais problemas relacionados ao insucesso da MCC são (SIQUEIRA, 2005): equívocos na previsão e gerenciamento de custos tanto de horas/homem como de equipamentos, resultando em aumento do tempo de retorno dos investimentos; falta de apoio da alta gerência, o que pode ter como consequência baixo comprometimento, limitações ou abandono do programa de MCC; e falta das condições prévias necessárias para cumprimento do programa de MCC (históricos de falha, conhecimento profundo da planta ou equipamento e cultura da equipe de manutenção e operação). Outro aspecto a ser analisado é a diferença de abordagem dos processos tradicionais de implantação e gestão da MCC, originalmente concebidos para a indústria de aviação, e os aspectos peculiares de outros ramos industriais, como por exemplo: o petroquímico e o de energia elétrica. Um dos exemplos desta diferença é o conhecimento sobre o histórico de falhas dos ativos. Na indústria de aviação este conhecimento, por força de regulamentações, é minuciosamente explicitado, porém, em outros ramos industriais, grande parte deste conhecimento é de natureza tácita, o que ratifica a necessidade da GC.

A política de gestão da manutenção, no contexto deste trabalho a MCC, desempenha, segundo Teixeira (2001) e Kardec e Xavier (2003), um papel importante para manter a logística da empresa

afetando diretamente sua competitividade. Assim, a metodologia de gestão da manutenção deve ser parte de uma estratégia para a efetividade da excelência empresarial o que, segundo Tsang (1998), extrapola a visão de um setor de manutenção exclusivamente com função tática e operacional. Para ratificar a importância crescente e a função estratégica da manutenção nas empresas brasileiras é relevante uma consulta ao Documento Nacional de 2007, uma pesquisa elaborada e conduzida pela Associação Brasileira de Manutenção (ABRAMAN) publicada no 22º Congresso Brasileiro de Manutenção realizado em Florianópolis – SC em Setembro de 2007. Os próximos parágrafos apresentam alguns dados constantes deste documento e as respectivas conclusões inerentes.

No ano de 2007 a atividade de manutenção demandou das empresas pesquisadas 37.921 empregados próprios, o que corresponde a 23,24% (valor médio) do total de empregados de cada empresa (Figura 1.1). Ao longo dos últimos anos se observa uma tendência de crescimento do pessoal próprio, o que em tese fortalece o comprometimento das equipes de manutenção.

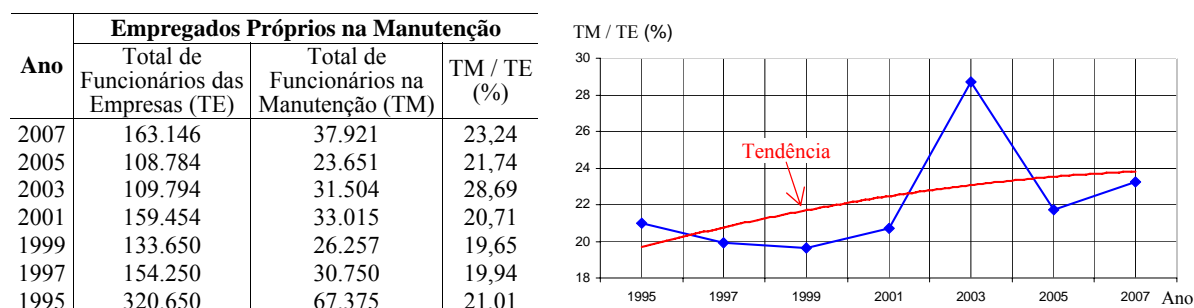


Figura 1.1 – Efetivo Próprio de Pessoal na Área de Manutenção.  
Fonte: adaptado de ABRAMAN, 2007.

Quanto ao perfil do pessoal próprio de manutenção, observa-se de acordo com a Figura 1.2, que: de 2003 para 2005 houve um leve decréscimo da presença de pessoal de nível superior e da mão-de-obra qualificada nas atividades de manutenção, indicadores estes que obtiveram um acréscimo de 2005 para 2007 impulsionados, em parte, pelo vigor experimentado pela economia do país, no mesmo período; é crescente a presença de pessoal técnico de nível médio nas atividades de manutenção durante os últimos anos; e a mão de obra não qualificada vêm se mantendo abaixo dos 8% desde 1999. Isso ratifica a constatação de que, de um modo geral, as empresas estão mantendo ou melhorando o nível de qualificação do pessoal da área de manutenção.

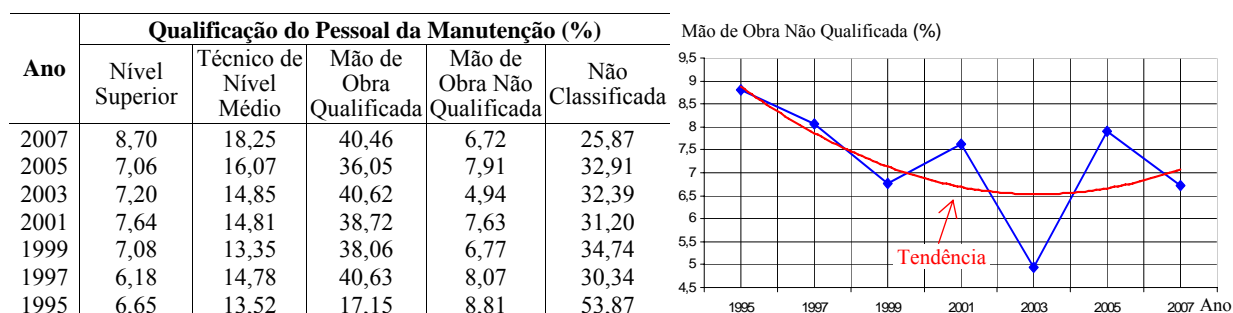


Figura 1.2 – Qualificação do Pessoal da Manutenção.  
Fonte: adaptado de ABRAMAN, 2007.

A Tabela 1.1 mostra que nos últimos anos houve uma utilização crescente de indicadores de desempenho da manutenção. Isto demonstra a preocupação das empresas em criar subsídios para a tomada de decisão, almejando uma gestão eficaz da manutenção, o que enfatiza a necessidade de ferramentas para auxílio à tomada de decisão e tratamento das incertezas do processo decisório.

Tabela 1.1 – Principais Indicadores de Desempenho Utilizados.  
Fonte: adaptado de ABRAMAN, 2007.

Principais Indicadores de Desempenho Utilizados (%)								Grau de Importância em 2007
Tipos	1995	1997	1999	2001	2003	2005	2007	
Custos	26,21	26,49	26,32	25,91	21,45	21,96	20,33	1
Disponibilidade Operacional	25,20	24,70	22,60	23,24	19,58	19,81	18,51	2
TMEF (Tempo Médio Entre Falhas)	-	-	-	-	11,89	11,69	14,21	3
TMPR (Tempo Médio Para Reparo)	-	-	-	-	9,56	11,46	11,74	4
Backlog (Trabalho Acumulado)	8,07	6,55	8,98	10,41	9,32	6,92	11,57	5
Frequência de Falhas	17,54	12,20	14,24	16,22	11,66	12,17	9,75	6
Satisfação do Cliente	13,91	11,01	11,76	11,86	8,62	8,11	8,93	7
Retrabalho	9,07	5,65	8,36	8,96	6,06	6,68	3,97	8
Utiliza Outros Indicadores	-	11,31	4,95	2,18	0,23	0,48	0,66	9
Não Utiliza Indicadores	-	2,09	2,79	1,22	1,63	0,72	0,33	10

Outra evidência do empenho das empresas na busca pela excelência na manutenção é o aumento dos programas de treinamento para os mantenedores, visando equipes mais preparadas e ações de manutenção mais efetivas (Figura 1.3). Este aumento do conhecimento institucional torna imperativo o uso de técnicas computacionais para seu tratamento e explicitação, objetivando facilitar sua apropriação por toda a empresa.

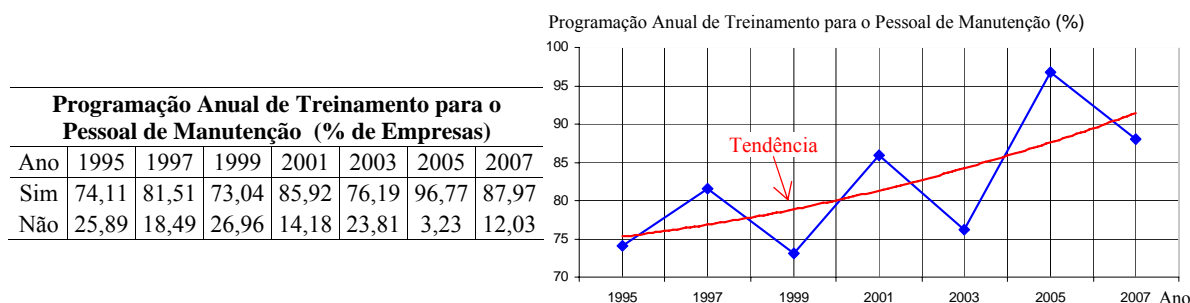


Figura 1.3 – Programação Anual de Treinamento para o Pessoal de Manutenção.  
Fonte: adaptado de ABRAMAN, 2007.

Respeitando a diversidade das fontes de dados do relatório apresentado pelo Documento Nacional de 2007 (ABRAMAN, 2007), os aspectos positivos relacionados até aqui, com base culminaram com uma inversão na curva da Disponibilidade Operacional que vinha decrescendo entre 2001 e 2005 e voltou a crescer em 2007. Por outro lado a Indisponibilidade Devido a Manutenção foi a mais baixa desde 2003 (Figura 1.4). Segundo o Documento Nacional, em 2007 os 8 (oito) melhores indicadores (acima de 90%) apresentaram uma média de 94,37% para a Disponibilidade Operacional. Estes aspectos estão relacionados com políticas inovadoras de gestão da manutenção aliadas a aspectos macro econômicos do país, os quais contribuíram para o crescimento das empresas/indústrias e com a necessidade de investimento em máquinas e equipamentos e conseqüentemente no suporte a sua manutenção.

Indicadores de Disponibilidade (%)						
Tipos	1997	1999	2001	2003	2005	2007
Disponibilidade Operacional	85,82	89,30	91,36	89,48	87,90	90,82
Indisponibilidade Devido à Manutenção	4,74	5,63	5,15	5,82	5,80	5,30

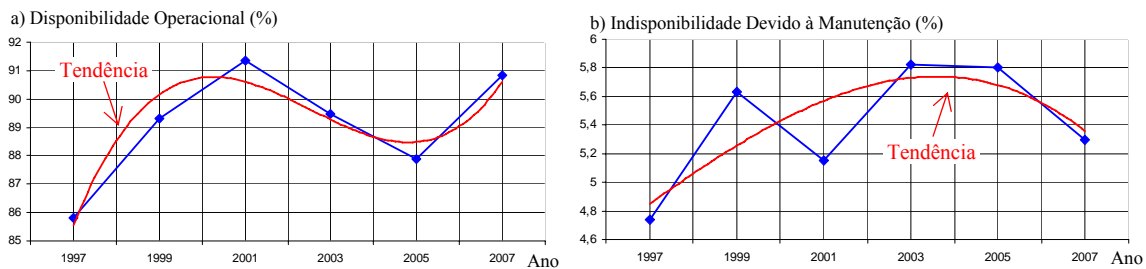


Figura 1.4 – Indicadores de Disponibilidade.

Fonte: adaptado de ABRAMAN, 2007.

A preocupação com a gestão da manutenção é crescente, uma vez que a idade média dos equipamentos e/ou instalações é alta (65,81 % acima de 11 anos – Figura 1.5) e as demandas estão aumentando, o que exige aumento equivalente da disponibilidade operacional.

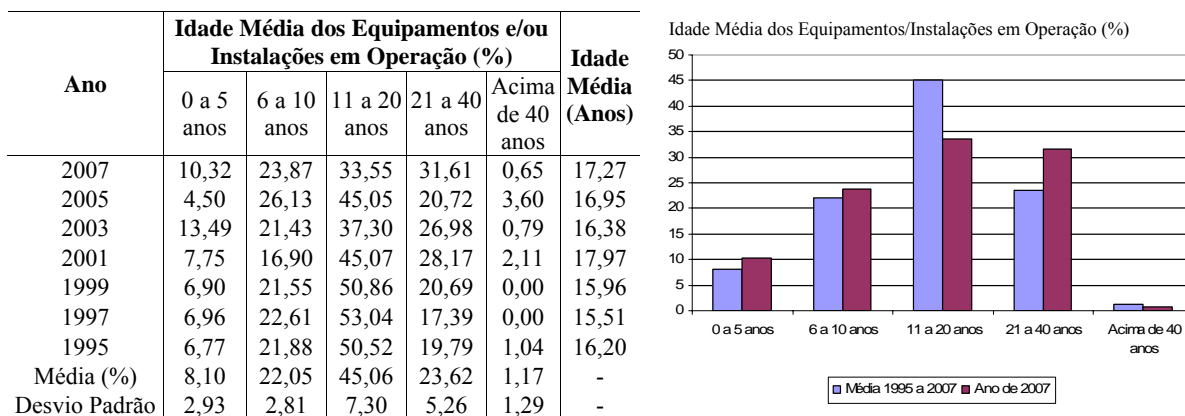


Figura 1.5 – Idade Média dos Equipamentos/Instalações em Operação

Fonte: adaptado de ABRAMAN, 2007.

A conjuntura revelada pelo Documento Nacional em 2007 (ABRAMAN, 2007), ressalta a importância da GC atrelada a metodologias consistentes de gestão da manutenção, a qual, não pode ser definida apenas com base em questões mercadológicas ou decisões intuitivas dos tomadores de decisão.

As questões mercadológicas estão relacionadas, principalmente, com a aquisição de softwares proprietários de gestão da manutenção (CMMS – *Computer Maintenance Management Systems*) os quais nem sempre atendem às necessidades específicas de uma determinada empresa ou sistema. Já as decisões intuitivas são, invariavelmente, parciais e não avaliam todo o contexto da aplicação e/ou empresa, resultando em falta de comprometimento e descrédito do programa de gestão da manutenção (FUENTES, 2006).

## 1.2 PREMISSAS E PROBLEMA DE PESQUISA

Cada metodologia de gestão da manutenção possui requisitos e necessidades cuja adequação da empresa/sistema deve ser previamente avaliada para que a sua aplicação resulte nos efeitos desejados. Além disto, ao se adotar uma metodologia de gestão da manutenção, seu ciclo de vida deve ser acompanhado a fim de que os desvios de conduta sejam rapidamente corrigidos, maximizando seus benefícios.

A MCC possui atributos de uma das melhores práticas de GC, somada à finalidade original de se promover a confiabilidade dos ativos pela manutenção. A prática de MCC constitui uma forma potencial de GC, embora os seus praticantes não percebam esta associação. Na MCC as pessoas são produtoras de conhecimento e ao mesmo tempo consumidoras pela troca de informações entre equipes multidisciplinares. O processo de MCC, desde a aquisição de informações até o estabelecimento das tarefas adequadas de manutenção, está inteiramente centrado no ser humano assim como a GC (ALKAIM, 2003).

Além dos aspectos gerais relacionados até aqui, há outros inerentes ao contexto atual de gestão dos ativos que, presume-se, corroboram para a utilização da MCC como metodologia de gestão da manutenção, dentre os quais citam-se:

- Os equipamentos e sistemas estão cada vez mais complexos e com modos de falha ocultos ao operador e/ou mantenedor, o que sugere atividades de manutenção preditivas ou de inspeção funcional. Moubray (2001) afirma que 40% dos modos de falha dos ativos são ocultos e destes 80% requerem inspeção funcional. Blanco (2007), após comparar diversos programas de MCC, concluiu que ao final da sua implementação 60% das atividades de manutenção, sugeridas pelos Diagramas de Decisão da MCC, são preditivas ou de inspeção funcional. Isto ratifica a MCC como apta a tratar os modos de falha inerentes aos ativos em seu contexto operacional atual;
- Por conscientização ou por imposição legal, além das questões econômicas, os gestores dos ativos estão, cada vez mais, sensibilizados com as questões ambientais e de segurança que permeiam a gestão da manutenção. Moubray (2001), Siqueira (2005), Smith e Hinchcliffe (2004) além de outros autores e normas pesquisadas demonstram que o tratamento das questões ambientais e de segurança é um dos atributos dos Diagramas de Decisão da MCC;
- A automatização dos sistemas, aliada ao aumento do monitoramento automático das máquinas/equipamentos, conforme apontado pelo Documento Nacional de 2007 (ABRAMAN, 2007) mostrado na Figura 1.6, corrobora a utilização de dados/conceitos relacionados à confiabilidade. Tais sistemas, cada vez mais desassistidos pelo operador, privilegiam a MCC frente a outras metodologias de gestão da manutenção, por exemplo, a Manutenção Produtiva Total (TPM – *Total Productive Maintenance*), a qual é por princípio dependente das decisões dos operadores e mantenedores.

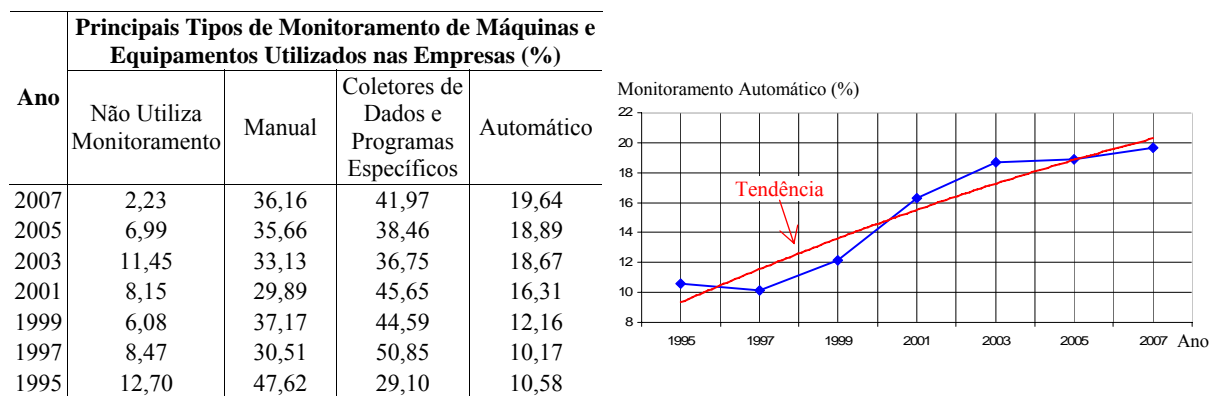


Figura 1.6 – Monitoramento de Máquinas e Equipamentos Utilizados nas Empresas.

Fonte: adaptado de ABRAMAN, 2007.

Os fatores supracitados somados ao contexto atual da manutenção evidenciam, por sua vez, os seguintes aspectos: a manutenção assumiu importância estratégica para a gestão dos ativos nas empresas contemporâneas; a política de gestão da manutenção deve ser condizente com o contexto operacional da empresa/sistema; a necessidade de técnicas de GC é premente, principalmente como aliadas da política de gestão da manutenção, para explicitação do conhecimento tácito dos operadores e mantenedores; ferramentas para tratamento das incertezas do processo decisório, frente a dados qualitativos, podem auxiliar a condução do processo de implantação das políticas de gestão da manutenção; a MCC possui requisitos desejáveis à gestão de ativos cuja aderência da empresa/sistema deve ser ratificada para maximizar seus resultados. Tais aspectos ensejam as seguintes premissas:

- A implantação da MCC como metodologia de gestão da manutenção depende da sua aderência ao contexto da empresa/sistema;
- Os benefícios de um programa de MCC são maximizados a partir de sua correta implantação e condução, o que pressupõe ações de auditoria ao longo de todo o seu ciclo de vida;
- Para consolidação dos pré-requisitos anteriores, entende-se ser importante a utilização de técnicas de GC vinculadas a ferramentas para tratamento das incertezas do processo decisório;
- O sucesso da implantação da MCC é dependente da correta tomada de decisão frente a dados invariavelmente qualitativos (ALKAIN, 2003). Portanto, o tratamento das incertezas inerentes a este processo decisório pode ser facilitado com o uso de técnicas de IA, mais precisamente a lógica *Fuzzy* (CAMPOS, 2004 e GARCIA, 2006).

As dificuldades e, por vezes, insucessos na implantação de MCC, e/ou na sua gestão, ocorrem por não se dispor de ferramentas de diagnóstico e de decisão que facilitem avaliar o conjunto de incertezas no ambiente corporativo, no campo técnico, na formação de recursos humanos, na gestão e na identificação do nível de maturidade da corporação. Neste contexto, acredita-se que a condução do processo de implantação e auditoria, utilizando um *SBC-Fuzzy* que trate as incertezas inerentes ao processo decisório, pode trazer benefícios e aumentar a aderência da empresa/sistema ao programa de MCC. Dessa hipótese emerge a questão principal, norteadora deste trabalho: **Como conduzir e orientar a implantação e a auditoria de um programa de MCC tratando as incertezas por imprecisão ou de natureza léxica do processo decisório?**



Decorrentes desta questão norteadora para guiar o processo de desenvolvimento deste trabalho, fundamentar seus diagnósticos e orientar a coleta de informação, surgem alguns questionamentos subjacentes, a saber:

- O que caracteriza um bom programa de MCC ao longo de todo o seu ciclo de vida?
- Para que tipo de empresa/sistema a MCC é mais aderente? Quais os pré-requisitos e necessidades de um programa de MCC que corroboram com tal aderência?
- Quais são e de que maneira os fatores gerenciais e técnicos afetam positiva ou negativamente a implantação e a gestão de um programa de MCC? Como tratar e incluir tais fatores no processo decisório de implantação e auditoria da MCC?
- Como as metodologias tradicionais de implantação e gestão da MCC podem ser conduzidas para reforçar os fatores de sucesso e minimizar o impacto dos fatores de insucesso?
- Quais os indicadores institucionais e técnicos que aferem a performance de um programa de MCC? Como estes indicadores podem realimentar o processo de implantação da MCC?

Ao responder e confrontar as respostas destas questões com as metodologias tradicionais de implantação e gestão da MCC (NOWLAN e HEAP, 1978; SMITH, 1993; SMITH e HINCHCLIFFE, 2004; MOUBRAY, 2001; NASA, 2000; IEC 60300-3-11, 1999; SAE JA 1011, 1999; SAE JA 1012, 2002; ABS, 2004) formula-se a tese de que é possível conceber uma metodologia operacionalizada por um SBC-*Fuzzy* para, em conjuntos com tais metodologias e softwares comerciais, orientar o processo de implantação e auditoria da MCC, a fim de maximizar seus fatores de sucesso.

### 1.3 TRABALHOS RELEVANTES

A partir da pesquisa bibliográfica e com a intenção de fundamentar o presente trabalho e vislumbrar as possíveis contribuições para o domínio do conhecimento proposto, foram selecionados alguns artigos, resumidos nos próximos parágrafos. Os autores destes artigos trazem exemplos de aplicações que fundamentam esta proposta de tese e foram motivadoras para o foco deste trabalho.

Rajotte e Jolicoeur (2000) propuseram mudanças na metodologia da MCC para adequá-la às necessidades da concessionária de Energia Elétrica de Quebec. As principais mudanças foram:

- Aplicação da MCC abordando/tratando o equipamento (Disjuntor, Seccionadoras, Transformadores, etc...) ao invés do sistema (Linhas de Transmissão, Subestações, etc...). Isto permitiu a concepção de padrões para outros equipamentos similares (*templates*), o que seria mais difícil na abordagem sistêmica;
- Mudança da noção de criticidade, a qual normalmente envolve a probabilidade de falha e as conseqüências para o sistema, passou a ser entendida, por limitação dos dados disponíveis, como sendo resultado do custo de reparo do equipamento, da probabilidade de falha e das

conseqüências para a segurança e o meio ambiente. Esta mudança foi devida a presença de equipamentos similares, porém em posição estratégica diferenciada com custos de manutenção e conseqüências distintas para o sistema/empresa e de difícil ponderação devido à configuração do sistema.

Além das adaptações sugeridas os autores ressaltam a importância do envolvimento de todo o pessoal da manutenção e o fato de o programa de MCC ser um processo contínuo dependente das demandas do sistema e dos avanços tecnológicos.

Johnston (2002) propõe uma metodologia para medir os benefícios de um programa de MCC, para a empresa. O autor argumenta que além das pessoas normalmente resistirem às mudanças, o período de tempo entre a análise da MCC e a obtenção de benefícios mensuráveis é longo, o que pode suscitar dúvidas quanto à eficiência da MCC, principalmente em programas consolidados de manutenção. Sendo assim, o autor propõe métricas em função do progresso da MCC, qualidade e benefícios para a empresa.

Backlund (2003) defende em seu trabalho de doutorado, junto a empresas de geração de energia elétrica, algumas pré-condições para implantação da MCC. O autor enfatiza a necessidade de uma visão holística para implantação da MCC e demonstra, com estudos de caso, que as falhas dos programas de MCC não são somente de natureza técnica, mas também gerenciais e organizacionais.

Raposo (2004), por sua vez, propõe uma metodologia para incorporar a análise de risco nos diagramas de decisão da MCC. A análise proposta pelo autor se aplica na definição das funções significantes e a classificação de seus modos de falha. Este mesmo tema foi objeto de estudo apresentado por Hauge e Johnston (2001).

Siqueira (2005a), por outro lado, sugere uma metodologia para avaliar o impacto de um programa de MCC no desempenho do sistema elétrico. O autor relata sua experiência na implantação da MCC na Companhia Hidrelétrica do São Francisco (CHESF) e propõe diversos índices para avaliar o desempenho do sistema elétrico após a implantação da MCC. Estudo semelhante foi apresentado por Bertling *et al* (2003).

Waltrich e Tondello (2007) estabelecem uma relação entre a MCC e a GC. Os autores apresentam a experiência da Eletrosul em MCC, e enfatizam o fato da mesma ser uma prática potencial de GC. Aspectos semelhantes da relação entre a MCC e a GC são discutidos por Alkaim (2003).

Além das questões metodológicas, as ferramentas utilizadas na implantação também têm uma influência direta na eficácia dos programas de MCC. É o caso da Análise dos Modos de Falha e seus Efeitos (FMEA), principal ferramenta da MCC, abordada em Antonietti (2002) e Garcia (2006). Antonietti (2002) relata as dificuldades encontradas durante a aplicação da FMEA em uma indústria automobilística e aponta algumas pré-condições para sua aplicação. Garcia (2006) apresenta uma abordagem *Fuzzy* para classificação dos Modos de Falha no FMEA para assim priorizar as ações de melhoria/manutenção.

A partir da pesquisa bibliográfica sintetizada nos parágrafos anteriores, pode-se inferir que:

- Nem sempre as metodologias existentes para implantação e gestão da MCC, concebidas para a indústria de aviação, atendem às necessidades específicas de uma determinada empresa e/ou sistema;
- Os benefícios de um programa de MCC para a empresa são de longo prazo e, portanto podem causar desmotivação, culminando em abandono do programa ou falta de comprometimento dos envolvidos;
- Muitas empresas não estão aptas a adotar a MCC como política de gestão da manutenção, dado que, a MCC pressupõe a existência de pré-requisitos que não são comuns a todas as empresas, estando, em geral, restritos a grupos de empresas em setores específicos;
- Os procedimentos para implantação da MCC necessitam de uma metodologia para verificação de pré-requisitos e auditoria das etapas implementadas do programa de MCC. Esta metodologia deve incorporar mecanismos para tratamento das incertezas do processo decisório;
- Falta uma metodologia clara para mensurar a relação entre o desempenho do programa de MCC e o desempenho do sistema. A falta de um procedimento atrelado a dados concretos, para avaliar o programa de MCC, pode esconder desvios de conduta que podem inviabilizar a implementação do programa;
- As ferramentas utilizadas pela MCC nem sempre apresentam resultados satisfatórios para aplicações específicas. Ferramentas que dificultam a organização da informação e das ações de manutenção, associadas a reuniões tediosas, podem desmotivar a equipe ou produzir resultados duvidosos;
- Faltam ferramentas para implementação das etapas da MCC que tratem as incertezas inerentes aos dados qualitativos que influenciam o processo decisório.

Os aspectos motivadores dos trabalhos precedentes, bem como suas relativas conclusões sugerem a necessidade de melhorias nos procedimentos de implantação da MCC como metodologia de gestão da manutenção. Sendo assim, nos próximos itens, serão apresentados os objetivos deste trabalho, buscando uma contribuição científica original que fundamente a tese proposta e ajude a consolidar os procedimentos para implantação da MCC e tratar as incertezas do processo decisório.

## 1.4 OBJETIVOS

### 1.4.1 Objetivo Geral

O objetivo geral deste trabalho é propor e desenvolver um *SBC-Fuzzy* que incorpore uma metodologia para auxiliar a implantação da MCC que pondere seus pré-requisitos e audite, após implementação, cada uma de suas etapas para aumentar a probabilidade de sucesso dos programas de MCC.

Assim sendo, propõe-se ponderar as características da empresa/sistema e as necessidades da MCC e, após a implementação de cada etapa, auditá-la para que as inconsistências ocorridas durante sua execução não se propagem para as demais etapas.

Para concretizar a proposição desenvolve-se uma metodologia, a qual está inserida e é operacionalizada por um *SBC-Fuzzy*, o qual incorpora critérios para diagnóstico e tomada de decisão, ponderando os aspectos técnicos, os aspectos gerenciais, a experiência de programas consolidados de MCC e o conhecimento institucional. Assim, entende-se ser possível tratar as incertezas por imprecisão, decorrentes de variáveis qualitativas do processo decisório, e aumentar a chance de sucesso dos programas de MCC com uma visão holística de suas interações e necessidades. Desta forma a equipe de implantação poderá antever suas necessidades e interpor adequações e regras de conduta que aumentem as chances de sucesso do programa de MCC.

#### 1.4.2 Objetivos Específicos

Este trabalho deverá também atender aos seguintes objetivos específicos, para cumprimento de seu objetivo geral:

- Investigar as metodologias existentes para implantação da MCC, resgatando seus conceitos, estratégias, ferramentas e necessidades. De forma concomitante identificar os fatores críticos de sucesso de um programa de MCC (planejamento, implantação e gestão) almejando possíveis contribuições;
- Desenvolver uma estratégia para identificar os atributos da empresa relacionados com as necessidades e pré-requisitos da MCC;
- Propor uma metodologia de análise qualitativa que confronte os atributos da empresa com as necessidades e fatores críticos de sucesso da MCC. Assim será possível verificar se a empresa possui os atributos necessários para aderir a um programa de MCC com riscos de insucesso minimizados. As incertezas por imprecisão inerentes deverão ser equacionadas;
- Desenvolver mecanismos de explicitação do conhecimento tácito, o qual deve compor o processo de inferência que irá avaliar a consistência dos pré-requisitos e a consolidação das etapas na auditoria do programa de MCC;
- Definir as variáveis de análise que irão compor a metodologia, a partir das quais serão prescritos os diagnósticos e conclusões que, por sua vez, irão apoiar a tomada de decisão. Com estas definições será possível desenvolver um *SBC-Fuzzy* que contemple tais variáveis;
- Criar indicadores de validação do *SBC-Fuzzy* proposto e da metodologia a ele incorporada e selecionar os especialistas que irão validá-lo;
- Ajustar as entradas e saídas do *SBC-Fuzzy* desenvolvido em função dos resultados do processo de validação com os especialistas;
- Testar em campo o *SBC-Fuzzy* e a metodologia proposta para ratificar os resultados do processo de validação com os especialistas.

## 1.6 JUSTIFICATIVAS E CONTRIBUIÇÕES

Muitos programas de MCC, quando não abandonados no todo ou parcialmente, têm desempenho insatisfatório Blanco (2007). As metodologias existentes não possuem mecanismos suficientemente eficazes para diagnosticar e se resguardar dos fatores responsáveis por esses insucessos dos programas de MCC. Nesse sentido esse trabalho se justifica e contribui nos seguintes aspectos:

- A proposição de uma metodologia para verificar a aderência das características da empresa aos requisitos de um programa de MCC, possibilita a adequação do procedimento de implantação, ou, mudanças nos aspectos internos da empresa que afetam a MCC, vislumbrando uma implementação futura;
- A investigação dos fatores críticos que podem afetar o sucesso de um programa de MCC ao longo de todo o seu ciclo de vida, torna possível criar barreiras para resguardar o programa de MCC dos efeitos dos fatores técnicos e gerenciais que o afetam negativamente;
- O desenvolvimento de uma metodologia para facilitar à implantação da MCC focada nos fatores críticos, relacionados tanto com os aspectos técnicos quanto gerenciais, agregará valor aos procedimentos existentes de implantação da MCC, e o *SBC-Fuzzy*, associado à metodologia proposta, permitirá diagnosticar e orientar o processo decisório de forma a minimizar os riscos de insucesso;
- O procedimento de análise de pré-requisitos e auditoria, proposto neste trabalho, pode servir como indicador para o acompanhamento do desempenho do processo de implantação da MCC, focado nos fatores relevantes para o seu sucesso. A partir destes indicadores é possível realimentar o processo de implantação e promover as correções necessárias.

A implantação e a gestão da MCC envolvem decisões com base em dados qualitativos e quantitativos. Destaca-se, neste processo, a importância da experiência e conhecimento técnico dos administradores do programa de MCC. Para gerir este conhecimento e tratar as incertezas inerentes ao processo decisório e de diagnóstico dos fatores que são críticos para o sucesso de um programa de MCC, mencionados em itens anteriores, este trabalho se justifica e contribui nos seguintes aspectos:

- Proposição de uma técnica baseada em IA (*SBC-Fuzzy*) para: tratamento e estruturação das incertezas por imprecisão ou léxicas do processo decisório; diagnóstico qualitativo dos fatores que impactam na implantação da MCC; e proposição de regras de conduta que minimizem os riscos de insucesso do programa de MCC;
- Criação de um repositório de conhecimento heurístico referente ao processo de implantação da MCC. Esse conhecimento é particularmente importante para criar de barreiras que minimizarão os fatores de insucesso, revertendo na melhoria do desempenho do programa de MCC.

## 1.7 DELIMITAÇÃO DO TEMA

O estudo realizado e as proposições apresentadas nesse trabalho estão delimitados, em termos contextuais, pelos seguintes aspectos:

- Os aspectos normativos e conceituais têm como referência:
  - As normas: IEC-60300-3-11, 1999; SAE JA 1011, 1999; SAE JA 1012, 2002;
  - Especialistas em implantação e gestão de MCC;
  - Programas consolidados de MCC, em diferentes estágios de evolução. Assim será possível identificar, fatores de insucesso da MCC ao longo de todo o seu ciclo de vida, incluindo planejamento, implantação e gestão.
- A GC fundamenta a consecução de mecanismos para explicitação do conhecimento tácito dos operadores, mantenedores e especialistas em MCC para assim, avaliar os pré-requisitos e auditar a implantação da MCC;
- O conhecimento tratado neste trabalho é, em sua maioria, de natureza qualitativa com uma incerteza por imprecisão intrínseca. Para tratar essas incertezas e estruturar a coleta de informações, diagnóstico e apoio à decisão é desenvolvido um *SBC-Fuzzy*,
- O *SBC-Fuzzy* desenvolvido não trata dos procedimentos metodológicos e documentais para implementação das etapas do processo de implantação da MCC, mas sim da análise de seus pré-requisitos e sua auditoria. Para as etapas mais expressivas do procedimento de implantação da MCC softwares complementares são desenvolvidos para sanar problemas específicos de cada etapa, evidenciados ao longo do processo de aquisição do conhecimento.

Portanto a consolidação dos objetivos deste trabalho estará delimitada pela utilização da lógica *Fuzzy* devido às suas vantagens inerentes, citadas por Fernandes (2004, p. 28), as quais são detalhadas no Capítulo 4, e pela GC como elemento estruturante para explicitação do conhecimento tácito valendo-se dos benefícios citados por Alkaim (2003).

## 1.8 METODOLOGIA DA PESQUISA

Silva e Menezes (2005) classificam uma pesquisa de quatro maneiras: quanto aos procedimentos adotados, quanto à natureza, quanto à forma de abordagem e quanto aos objetivos.

Conforme a classificação sugerida por Silva e Menezes (2005) quanto aos procedimentos metodológicos utilizados neste trabalho tem-se: pesquisa bibliográfica, levantamento, pesquisa participante e pesquisa-ação. O material bibliográfico abrange os aspectos norteadores deste trabalho (GC, IA e MCC), os quais são explicitados em capítulos específicos. Os levantamentos ocorreram junto aos especialistas que participaram da elicitación do conhecimento, os quais também de modo participante contribuíram para composição do *SBC-Fuzzy* e das ferramentas

complementares, propostas para as etapas mais expressivas do processo de implantação da MCC. As técnicas para aquisição e representação do conhecimento são mostradas no Capítulo 4. O problema coletivo e a participação cooperativa que evidencia a pesquisa-ação estão caracterizados de seguinte forma: o problema coletivo diz respeito à implantação e auditoria da MCC como forma de gestão da manutenção, em seus diversos domínios de aplicação; e os envolvidos de modo cooperativo foram especialistas em MCC, participantes do processo de elicitação do conhecimento para consolidação do SBC-*Fuzzy* desenvolvido.

Quanto à sua natureza, esta pesquisa se caracteriza como aplicada o que, segundo Silva e Menezes (2005), gera conhecimento para aplicações práticas e dirigidas à solução de problemas específicos. A aplicação prática está caracterizada na implantação de programas de MCC. O problema específico que se quer resolver é a análise dos pré-requisitos e a auditoria das etapas de implantação da MCC, com uma visão holística de seus pré-requisitos e das características e necessidades organizacionais, tratando as incertezas do processo decisório.

Em relação à forma de abordagem, proposta por Silva e Menezes (2005), este trabalho se classifica como qualitativo. Deste modo, as dinâmicas da MCC foram analisadas de forma indutiva, focando no processo e em seus pontos críticos com o objetivo de inferir uma metodologia genérica que minimize os fatores de insucesso.

Quanto aos objetivos, seguindo a definição de Gil (1996), este trabalho se classifica como exploratório, pois visa proporcionar maior familiaridade com as etapas de implantação da MCC com o objetivo de tornar explícitos seus conceitos e requisitos, corroborando com a construção das hipóteses e concepção da metodologia proposta. Envolve ainda, levantamento bibliográfico, entrevista com especialistas e estudo e análise de casos.

Quanto ao desenvolvimento do SBC-*Fuzzy*, foi adotado o modelo incremental. Neste modelo é possível que as etapas do ciclo de desenvolvimento sejam seguidas utilizando apenas pequenas partes de conhecimento em relação à totalidade do domínio do conhecimento. Esse procedimento permite retornos às etapas anteriores, caso seja constatado algum tipo de erro ou inadequação em alguma tomada de decisão ao longo do processo, seguindo assim os conceitos de Engenharia Simultânea propostos por Silva (1998).

A formatação deste trabalho segue as normas e recomendação da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) para trabalhos acadêmicos. As figuras cuja fonte não esteja citada subentende-se como sendo do autor.

## 1.9 ESTRUTURA DO TRABALHO

Os capítulos iniciais tratam cada um dos temas envolvidos como um assunto específico focado nos objetivos deste trabalho. Nos capítulos finais é explicitada a inter-relação entre os diversos temas abordados e o modo como este relacionamento é implementado para cumprir os objetivos desta tese. Sendo assim, excluindo-se o presente Capítulo, os demais, possuem o seguinte conteúdo:

- O Capítulo 2 apresenta os tópicos principais referentes à MCC e às metodologias tradicionais para sua implantação e gestão. Este capítulo norteia as inovações propostas e serve de apoio para o planejamento da etapa de aquisição do conhecimento;
- O Capítulo 3 trata dos conceitos e definições relativas à gestão do conhecimento e sua importância para a criação e a disseminação sistematizada do conhecimento institucional, particularmente aquele aplicado à implantação da MCC e sua auditoria. As necessidades e aspirações apontadas neste capítulo ratificam a concepção do SBC-*Fuzzy* proposto;
- O Capítulo 4 mostra o ciclo de desenvolvimento de um SBC-*Fuzzy*, evidenciando as etapas mais relevantes, as definições e os conceitos. Este capítulo oferece suporte à gestão do conhecimento tratada no Capítulo 3, fundamentando a criação de um repositório de conhecimento que serve de apoio à tomada de decisão e diagnóstico das características da empresa e/ou sistema, frente aos requisitos da MCC, auxiliando também em sua auditoria;
- O Capítulo 5 explicita a metodologia proposta para auxiliar a implantação da MCC de modo a ponderar as características e objetivos da empresa/sistema e os requisitos de um programa de MCC, incluindo sua auditoria;
- O Capítulo 6 apresenta os detalhes do desenvolvimento do SBC-*Fuzzy* proposto para apoio à decisão e diagnóstico dos fatores inerentes a implantação e auditoria da MCC. A aplicação computacional tratada neste capítulo segue os preceitos do Capítulo 5 aliado à fundamentação teórica dos Capítulos 2, 3 e 4;
- O Capítulo 7 mostra as ferramentas computacionais sugeridas para auxiliar a implementação das Etapas 3, 4 e 5, do procedimento de referência adotado neste trabalho, explicitado no Capítulo 5;
- O Capítulo 8 apresenta a validação da metodologia a partir das opiniões e considerações dos especialistas, além de demonstrar os resultados de uma aplicação em campo da metodologia proposta e das ferramentas computacionais associadas;
- O Capítulo 9 finaliza o trabalho apresentando a análise dos resultados alcançados bem como os desdobramentos que podem culminar com trabalhos futuros em temas correlatos.



## MANUTENÇÃO CENTRADA NA CONFIABILIDADE

### 2.1 INTRODUÇÃO

Este capítulo apresenta os conceitos inerentes a Manutenção Centrada na Confiabilidade (MCC) com interesse e/ou relacionados aos objetivos deste trabalho. Além dos aspectos teóricos, também são apresentados os procedimentos para implantação da MCC à luz das bibliografias e normas de referência. A partir desta abordagem tem-se o arcabouço teórico para vislumbrar: os pré-requisitos necessários para a implementação das etapas, que compõem o procedimento de implantação da MCC; as etapas mais expressivas do processo de implantação da MCC; e os aspectos mais relevantes que devem compor o processo de auditoria de um programa de MCC.

Os itens abordados neste capítulo fundamentam os questionamentos e a base de conhecimento do SBC-*Fuzzy* (Sistema Baseado em Conhecimento – *Fuzzy*) desenvolvido, para avaliação dos pré-requisitos e auditoria da MCC. Também procura-se elucidar os fundamentos para compreender as necessidades do procedimento de implementação das etapas, visando interpor soluções que possam minimizar as dificuldades comumente experimentadas pela equipe de implantação de um programa de MCC.

### 2.2 ASPECTOS GERAIS

A norma NBR-5462 (ABNT, 1994) define manutenção como sendo “a combinação de todas as ações técnicas e administrativas, incluindo as de supervisão, destinadas a manter ou recolocar um item em um estado no qual possa desempenhar uma função requerida”. A mesma norma define item como sendo “qualquer parte, subsistema, sistema ou equipamento que possa ser considerado individualmente e ensaiado separadamente”.

Para Moubray (2001), ‘manter’ significa continuar em um estado existente, ou seja, a manutenção é o conjunto de técnicas de atuação para que os ativos físicos (equipamentos, sistemas, instalações) cumpram ou preservem sua função. O mesmo autor atribui à manutenção a função de “assegurar que os itens físicos continuem a fazer o que os seus usuários querem que eles façam”. Essa mudança de enfoque proposta, de atenção não ao item, mas à função que ele possui, representa a ruptura do paradigma de manutenção proposto pela MCC. De acordo com Rausand (2003), o objetivo principal da MCC é reduzir o custo de manutenção, focalizando as funções mais importantes do sistema, evitando ou removendo ações de manutenção que não são absolutamente necessárias.

A MCC é, portanto, uma metodologia para analisar as funções do sistema e o modo como estas funções podem falhar para, então, aplicar um critério de priorização explícito baseado em fatores ambientais, econômicos, operacionais e de segurança, a fim de identificar as tarefas de

manutenção aplicáveis e efetivas (MOUBRAY, 2001; SIQUEIRA, 2005; SMITH, 1993; SMITH e HINCHCLIFFE, 2003).

### 2.2.1 Evolução Histórica da MCC

A MCC teve suas origens na década de 50 como resultado de vários estudos de confiabilidade desenvolvidos pela indústria da aviação civil americana. Entretanto, foi na década de 60 que os conceitos da MCC foram desenvolvidos pela indústria aérea americana como resposta a um novo cenário que surgia, ou seja, um crescente aumento dos custos de manutenção e baixa confiabilidade na manutenção preventiva tradicional, baseada no tempo. Além destes, outros fatores também contribuíram tais como o aumento da quantidade e diversidade dos ativos físicos a serem mantidos, projetos cada vez mais complexos e otimizados, novas metodologias de manutenção e o crescente reconhecimento da responsabilidade da manutenção dentro de uma organização.

Em 1967, representantes das linhas aéreas, fabricantes e o governo americano apresentaram o MSG-1 (*Maintenance Steering Group* – Grupo Governamental “de Condução” da Manutenção), cujo objetivo era estabelecer um procedimento adequado de manutenção, de modo a reduzir o tempo de paralisação, os custos associados e melhorar a segurança de voo para o Boeing 747. Em 1970, um segundo grupo foi formado, o MSG-2, que gerou o *Airline Manufacturer Maintenance Program Planning Document* (Documento de Planejamento do Programa de Manutenção dos Fabricantes de Aeronaves). Este documento generalizava os procedimentos específicos de manutenção do MSG-1, de modo a torná-lo aplicável para todas as aeronaves. A partir dos documentos MSG-1 e MSG-2, Nowlan e Heap (1978) desenvolveram um estudo mais detalhado, encomendado pelo Departamento de Defesa dos Estados Unidos, para a determinação de normas e procedimentos de manutenção com base em uma ampla análise estatística. Este documento, conhecido como MSG-3, tornou-se um marco para a manutenção da indústria aeronáutica, no qual os autores denominaram a metodologia de manutenção proposta de *Reliability Centered Maintenance* (RCM – MCC). Os estudos de Nowlan e Heap (1978) consolidaram e proporcionaram a base teórica para o desenvolvimento da MCC. Desses estudos, duas conclusões se destacaram:

- 1) Revisões programadas têm pouco efeito na confiabilidade total de um equipamento complexo, a menos que exista um modo de falha dominante;
- 2) Existem muitos equipamentos para os quais não há forma efetiva de manutenção programada.

A partir dos estudos iniciais de Nowlan e Heap (1978), vários autores e instituições propuseram metodologias ligeiramente diferentes para a implantação da MCC (NOWLAN e HEAP, 1978; SMITH, 1993; SMITH e HINCHCLIFFE, 2003; MOUBRAY, 2001; NASA, 2000; IEC 60300-3-11, 1999; SAE JA 1011, 1999; SAE JA 1012, 2002; ABS, 2004), as quais serão abordadas em um item específico deste capítulo.

## 2.2.2 Considerações sobre os Mecanismos de Falha

De acordo com a NBR-5462/1994, falha é o “término da capacidade de um item em desempenhar a função para o qual foi projetado”. A falha pode ser tanto o colapso total do sistema, quando este deixa de operar por completo, como o desvio do ponto ou faixa desejada de operação. Neste último caso, se a resposta do sistema está fora da faixa tolerada, o sistema está deixando de cumprir a sua função e, por conseguinte, falhou. Em um equipamento complexo, composto de muitos componentes, cada qual com um mecanismo de falha diferente, a curva da probabilidade condicional de falhas por unidade de tempo ou taxa instantânea de falha  $\lambda(t)$  ao longo do período de vida do equipamento será uma combinação dos mecanismos de falha de cada componente, ponderada pela sua participação e influência temporal na função principal do equipamento. Esta curva, conhecida como a Curva da Banheira (Figura 2.1), é utilizada, quando aplicável, para representar o comportamento típico do mecanismo de falha agregado destes componentes. Na fase inicial, região 1 da Figura 2.1, ocorrem as denominadas falhas de juventude, normalmente associadas a erros de projeto ou de fabricação. Durante a vida operacional, região 2, as falhas ocorrem com uma probabilidade aproximadamente constante (falhas aleatórias). O final da vida do componente, região 3, caracteriza-se por forte influência da degradação e a probabilidade condicional de falhas aumenta significativamente (MONCHY, 1989).

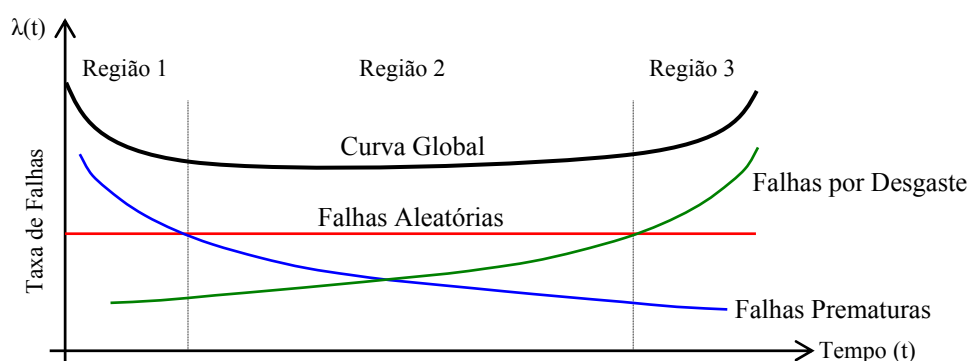


Figura 2.1 – Curva da Banheira.  
Fonte: adaptado de MOUBRAY, 2001.

O estudo dos mecanismos de falha busca identificar as características peculiares das diversas formas como as falhas acontecem e assim escolher a melhor estratégia de manutenção (SIQUEIRA, 2005). A constatação de que diferentes mecanismos de falhas provocam diferentes comportamentos nos equipamentos, ao longo da sua vida útil, constituiu o ponto de partida da metodologia MCC. Os estudos originais de Nowlan e Heap (1978) conduziram à identificação de três comportamentos básicos dos componentes (não estruturais de aeronaves comerciais) ao longo da sua vida útil, com relação à taxa instantânea de falha:

- 1) Alguns componentes mostram uma idade bem definida de desgaste, onde ocorre um aumento rápido na taxa instantânea de falha,  $\lambda(t)$ ;

- 2) Outros componentes podem apresentar uma taxa instantânea de falha  $\lambda(t)$  constante;
- 3) Outros componentes podem não apresentar qualquer degradação funcional ao longo da vida útil.

Estes comportamentos deram origem às seis curvas básicas de taxas instantâneas de falhas, observadas ao longo da vida útil dos componentes (MOUBRAY, 2001; SMITH e HINCHCLIFFE, 2003; SEIXAS, 2004; SIQUEIRA, 2005). A Figura 2.2 mostra em quatro estudos (UAL – *United Air Lines*, Bromberg, *United States Navy* – Navio e Submarino) o percentual de componentes, dos sistemas avaliados, com suas relativas taxas instantâneas de falha (identificadas de A a F).

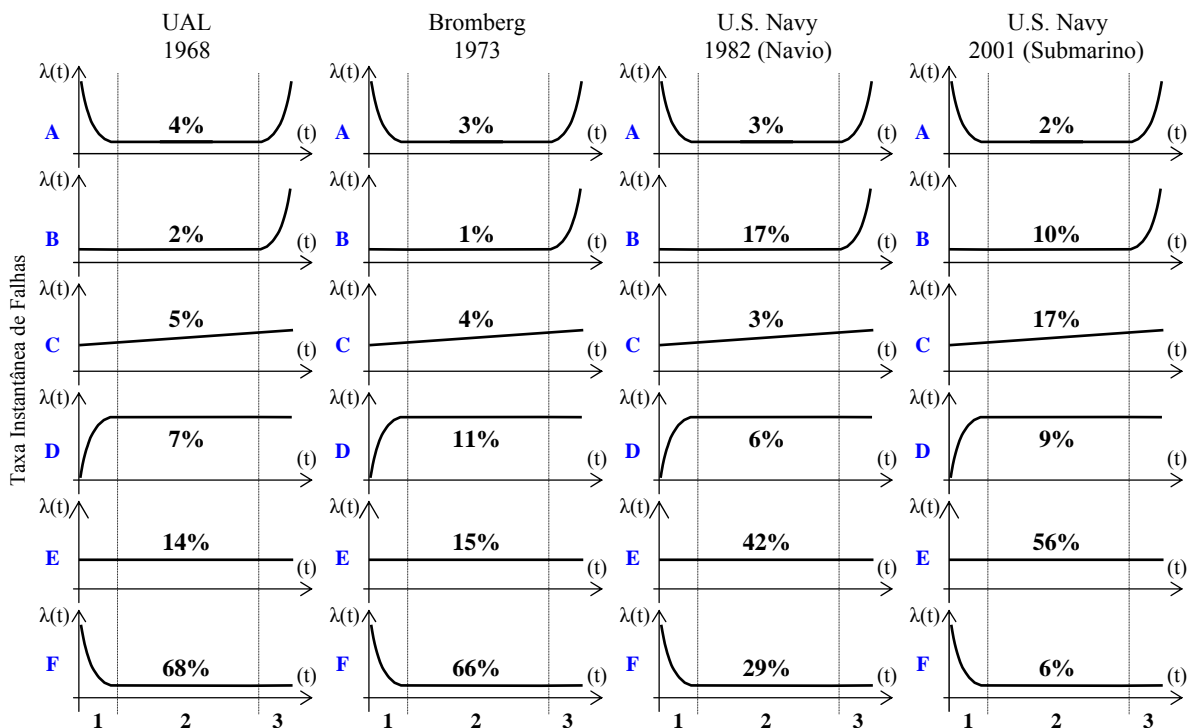


Figura 2.2 – Padrões de Taxa Instantânea de Falhas.

Fonte: adaptado de SEIXAS, 2004.

Da Figura 2.2, pode-se concluir que:

- a) O padrão A é muito semelhante ao apresentado na Figura 2.1, referente à Curva da Banheira;
- b) O padrão B mostra uma etapa de taxa instantânea de falha constante ou lentamente crescente, terminando num período que é fortemente influenciada pela degradação;
- c) O padrão C mostra um leve aumento da taxa instantânea de falha, mas sem a identificação do período de degradação;
- d) O padrão D mostra uma baixa taxa instantânea de falha quando o sistema é novo, depois um rápido crescimento até se chegar a um nível constante;
- e) O padrão E mostra uma taxa instantânea de falhas constante ao longo de todo o período de vida do sistema;
- f) O padrão F começa com uma alta taxa instantânea de falhas quando o sistema é novo, para logo depois cair para uma taxa de falhas constante.

Para SMITH e HINCHCLIFFE (2003) estes resultados contradizem a crença de que sempre há uma conexão entre confiabilidade e idade do sistema em operação. Com relação às falhas, Seixas (2004) lembra que não se deve descartar o fator humano como causador de tais falhas, citando dois tipos de erros que podem culminar com uma falha: erros ativos e erros latentes. Os erros ativos são aqueles em que o efeito é prontamente observado, enquanto o erro latente é aquele onde a consequência leva um determinado tempo para ser observada. O erro latente é, na verdade, uma combinação de diversos fatores ao longo do tempo que culminam com uma falha.

### 2.2.3 Considerações Bibliográficas e Normativas

Segundo Siqueira (2005), devido às similaridades dos requisitos de segurança com a indústria aeronáutica, a MCC foi também inserida na indústria elétrica e nuclear. Em 1981, dez anos após as interações iniciais da *United Airlines* com a Marinha Americana, a RCM foi adotada na manutenção de submarinos nucleares. Nesse mesmo ano, Anthony M. Smith, então na *General Electric*, e Tom Matteson da *United Airlines*, iniciaram, através do EPRI (*Electric Power Research Institute*), os estudos de viabilidade de aplicação da MCC em usinas elétricas nucleares, os quais motivaram o EPRI, em 1984, a recomendar sua aplicação na geração nuclear. Isso motivou a empresa *Florida Power & Light*, em 1985, a testar sua efetividade através de um projeto piloto na Usina *Turkey Point*, sob o patrocínio do EPRI e liderança de Anthony M. Smith e Tom Matteson. Este projeto foi seguido, em 1986, por outro projeto piloto na Usina Nuclear *McGuire* da Duke Power. Estas experiências consolidaram a metodologia hoje adotada em mais de 400 usinas nucleares e regulamentada pela NRC (*National Regulatory Commission*) nos Estados Unidos.

A rápida disseminação da MCC motivou o desenvolvimento de versões ligeiramente diferentes da versão original de Nowlan e Heap (1978). Sua adaptação ao chão de fábrica, além da introdução de questões ambientais motivou Moubrey (2001) a propor modificações na lógica MCC, chamando esta versão de RCM2. Visando reduzir o esforço despendido na implementação de programas de MCC, o EPRI propôs uma versão simplificada, denominada de SRCM (*Streamlined RCM*). Mais recentemente, Smith e Hinchcliffe (2003) propuseram novas versões baseadas, respectivamente, no método clássico (*Abbreviated Classical RCM*) e na experiência (*ECM – Experience Centered Maintenance*). Tais propostas revelam uma disputa comercial por marcas registradas, motivando a necessidade de normatização da metodologia.

O esforço internacional de normatização da MCC iniciou-se com a publicação, em março de 1999, da norma IEC 60.300-3-11 (*Dependability Management – Part 3-11: Application Guide – Reliability Centred Maintenance*). Já em agosto de 1999, foi publicada a norma internacional SAE JA 1011, (*Evaluation Criteria for Reliability Centered Maintenance (RCM) Processes*), contendo os critérios mínimos que uma metodologia de gestão da manutenção deve apresentar para que seja chamada de MCC, na visão da SAE (*Society of Automotive Engineers*). Esta norma decorreu de uma solicitação do governo americano à SAE, em 1995, para substituição da norma correspondente da força aérea (*ATA MSG3 – Air Transport Association of America –*

*Maintenance Steering Group – Task Force 3 – Operator/Manufacturer Scheduled Maintenance Development*). Em janeiro de 2002, estes critérios foram detalhados com a publicação da norma SAE JA 1012, (*A Guide to the Reliability Centered Maintenance (RCM) Standard*), que interpreta cada um dos itens da norma SAE JA 1011. Simultaneamente, o relatório ATA MSG-3 continua sendo referência na elaboração dos programas de manutenção da indústria aeronáutica, tendo sido revisado em 2007 pela FAA (*Federal Aviation Administration*).

#### 2.2.4 Atributos e Critérios de um Processo de MCC

Existem quatro atributos, segundo Moubray (2001), que definem e caracterizam a MCC, tendo relação direta com seus objetivos:

- a) Preservação da função do sistema;
- b) Identificação das falhas funcionais e aplicação da FMEA (*Failure Modes and Effects Analysis* – Análise dos Modos de Falha e seus Efeitos);
- c) Classificação e priorização das falhas funcionais segundo suas conseqüências;
- d) Elaboração das atividades de manutenção segundo sua viabilidade técnica e seu custo/benefício, utilizando um diagrama de decisão.

O processo de implantação da MCC consiste em sistematizar ações, normalmente orientadas por uma lista de verificação na forma de perguntas sobre os ativos ou sistemas a serem analisados. Tais ações devem ser documentadas. Os questionamentos que orientam as ações são:

- 1) Quais são as funções associadas e os padrões de desempenho associados ao ativo no seu contexto operacional atual (Funções)?
- 2) De que forma o ativo falha em cumprir suas funções (Falhas Funcionais)?
- 3) O que causa cada falha funcional (Modos de Falha)?
- 4) O que acontece quando ocorre cada falha (Efeitos da Falha)?
- 5) Qual o impacto dos efeitos do modo de falha na operação do sistema, no meio ambiente, na segurança e na economia do processo (Conseqüências da Falha)?
- 6) O que pode ser feito para prevenir cada falha (Tarefas Aplicáveis e Efetivas)?
- 7) O que deve ser feito se não for encontrada uma tarefa aplicável e efetiva adequada (Ações *Default*)?

Na prática, e de acordo com Siqueira (2005), costuma-se acrescentar mais uma questão com o objetivo de definir qual a melhor freqüência para as tarefas de manutenção aplicáveis e efetivas. Tal questão é:

- 8) Qual a freqüência ideal para as tarefas de manutenção aplicáveis e efetivas?

Uma norma ou procedimento de implantação da MCC deve, portanto, responder e documentar, de forma auditável, as respostas aos questionamentos supracitados. Para este processo, por sua vez, pode-se utilizar diversas ferramentas e métodos. Neste trabalho, adota-se

um procedimento de referência para implantação da MCC, o qual será explicitado no Capítulo 5, que se aplica somente à consecução dos objetivos deste trabalho.

### 2.3 CONCEITOS INERENTES A IMPLANTAÇÃO DA MCC

O objetivo deste item é apresentar os principais conceitos inerentes ao processo de implantação da MCC, particularmente aqueles relativos à análise e tomada de decisão. Tais conceitos são intrínsecos e necessários para compreensão das metodologias e normas referentes à implantação da MCC, a serem abordados em itens subseqüentes, sendo que também servirão de base para a aquisição de conhecimento e desenvolvimento do SBC-*Fuzzy* proposto.

#### Função, Falha Potencial, Falha Funcional e Modo de Falha

A função é aquilo que se deseja que o item/ativo/sistema faça, dentro de um padrão de desempenho especificado (MOUBRAY, 2001; SMITH e HINCHCLIFFE, 2003; SIQUEIRA, 2005). As seguintes considerações normatizadas e bibliográficas elucidam o conceito de função:

- IEC 60300-3-11/1999 (Pg. 17 item 3.1.15) → Ação característica normal de um item;
- SAE JA1011/1999 (Pg. 04 item 3.13) e SAE JA1012/2002 (Pg. 06 item 3.13) → Aquilo que o proprietário ou usuário do ativo físico ou sistema deseja que o mesmo faça;
- SAE J1739/2002 (Pg. 31 item 5.2.9) → A descrição da função deve levar em conta normas aplicáveis de desempenho, de material, de processo, ambientais e de segurança;
- Moubray, 2001 (Pg. 22 item 2.1) → A descrição da função deve consistir de um verbo, um objeto e um padrão desejado de desempenho.

As funções de cada item/ativo/sistema, em seu contexto operacional, podem ser divididas em duas categorias:

- Funções Primárias: estão relacionadas ao motivo pelo qual o item/ativo/sistema foi projetado e cobrem questões como velocidade, quantidade, capacidade de transporte ou armazenagem, qualidade do produto e serviços ao cliente;
- Funções Secundárias: são aquelas esperadas, e que vão além do cumprimento das funções primárias. Estão relacionadas às expectativas do usuário com relação à segurança, controle, conforto, proteção, contenção, integridade estrutural, economia, conformidade com os regulamentos ambientais e até a aparência do ativo.

Uma falha potencial é uma condição identificável e mensurável que indica uma falha funcional pendente ou em processo de ocorrência. A falha funcional é caracterizada pelo descumprimento da função e é definida como a incapacidade de um item/ativo/sistema executar uma função específica dentro dos padrões desejados de desempenho (MOUBRAY,

2001; SMITH e HINCHCLIFFE, 2003; SIQUEIRA, 2005). As seguintes considerações normatizadas elucidam o conceito de falha funcional:

- IEC 60300-3-11/1999 (Pg. 17 item 3.1.17) → Falha na qual um item não consegue desempenhar uma ou mais de suas funções requeridas;
- SAE JA1011/1999 (Pg. 04 item 3.14) e SAE JA1012/2002 (Pg. 06 item 3.14) → Um estado no qual um ativo físico ou sistema é incapaz de desempenhar uma função específica com o desejável nível de desempenho.

A falha funcional é provocada por um modo de falha, definido como um evento ou fenômeno físico que provoca a transição do estado “cumprindo a função” para o estado “não cumprindo a função” (Figura 2.3). Netherton (2002 *apud* ALKAIM, 2003) faz uma extensa análise das possíveis interpretações de modo de falha. As seguintes considerações normativas e bibliográficas elucidam o conceito de modo de falha:

- MIL-STD-1629A/1980 → É a maneira a partir da qual a falha é observada;
- IEC 60300-3-11/1999 (Pg. 17 item 3.1.12) → Um dos possíveis estados de falha de um item, para uma dada função requerida;
- SAE JA1011/1999 (Pg. 04 item 3.12) e SAE JA1012/2002 (Pg. 06 item 3.12 e Pg. 14 item 8) → Um evento ou condição física, que causa uma falha funcional;
- SAE J1739/2002 (Pg. 31 item 5.2.10) → Maneira como uma máquina/equipamento falha ao executar sua função;
- Moubray, 2001 (Pg. 53 item 4.1) → Qualquer evento que cause uma falha funcional.

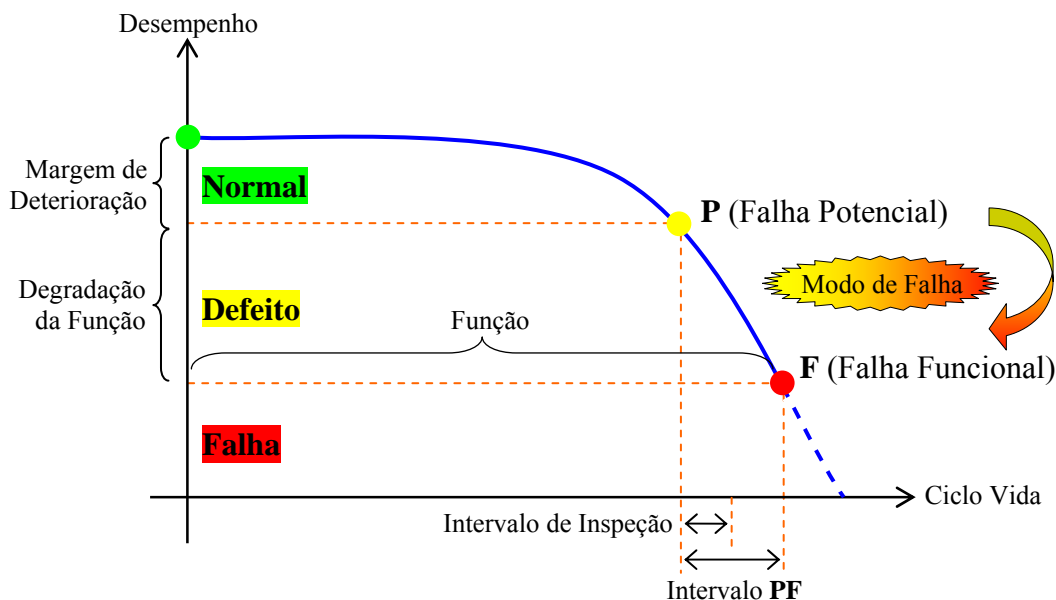


Figura 2.3 – Estágios Evolutivos da Falha.  
Fonte: adaptado de SIQUEIRA, 2005.

Para a análise da função, da falha funcional e do modo de falha, além das causas do modo de falha e os efeitos provocados no sistema, a MCC utiliza a FMEA ou a FMECA (*Failure Modes*,



*Effects and Criticality Analysis* – Análise dos Modos de Falha seus Efeitos e sua Criticidade) caso a criticidade também necessite ser avaliada (SIQUEIRA, 2005). Segundo a norma SAE J1739 (2002) a FMEA/FMECA pode ser descrita como um conjunto de atividades sistemáticas que visa: reconhecer e avaliar a falha de um produto/processo e os efeitos dessa falha; identificar ações que possam eliminar ou reduzir a chance de uma falha ocorrer; e documentar o processo. Para os estudos da MCC é comum acrescentar-se uma coluna à planilha de FMEA/FMECA proposta pela SAE J1739, destinada a análise da falha funcional. Para o preenchimento desta coluna, a MCC utiliza uma abordagem funcional, caracterizando a falha como a perda da função (parcial ou total) ou desvio funcional. Já para o preenchimento da coluna modo de falha a MCC utiliza uma abordagem estrutural, o que enseja a necessidade de informações/especificações mais detalhadas de engenharia para evidenciar o que causou a falha funcional. Segundo Siqueira (2005) cabe à manutenção tratar os modos de falha, assim como, cabe ao projeto/engenharia do item/ativo/sistema tratar as causas do modo de falha. Mais detalhes do preenchimento da FMEA/FMECA, com base nas diversas normas e bibliografias pesquisadas, são mostrados no Apêndice A deste trabalho.

#### Funções Significantes e Classificação de seus Modos de Falha

Das funções analisadas na FMEA/FMECA são significantes, do ponto de vista da MCC, aquelas com algum impacto sobre os seguintes aspectos: segurança, meio ambiente, operação e economia do processo. Tais funções terão seus modos de falha classificados e serão submetidas às etapas seguintes do processo decisório da MCC. Esta classificação se dá, primeiramente, pela evidência ou não do modo de falha e/ou seus efeitos e, em seguida, pelo impacto nos aspectos anteriormente citados. Dessa forma, os modos de falha das funções significantes podem ser classificados em: ESA – Evidente com efeito na Segurança ou Ambiente; EEO – Evidente com efeito Econômico ou Operacional; OSA – Oculto com efeito na Segurança ou Ambiente e OEO – Oculto com efeito Econômico ou Operacional (IEC 60300-3-11, 1999; SIQUEIRA, 2005). A identificação das funções significantes e a classificação de seus modos de falha é operacionalizada a partir de diagramas de decisão, os quais variam em termos de formatação conforme as normas e bibliografias pesquisadas. Mais detalhes dos aspectos supracitados serão tratados no Capítulo 5, quando da abordagem do procedimento de referência adotado neste trabalho.

#### Tarefas de Manutenção Aplicáveis e Efetivas

Com os modos de falha classificados, determinam-se quais tarefas de manutenção deverão ser adotadas para prevenir ou corrigir cada modo de falha das funções significantes ou, alternativamente, reduzir seus efeitos e conseqüências para níveis aceitáveis. Cabe salientar que, para a MCC, tais tarefas devem ser aplicáveis e efetivas. Serão aplicáveis se: prevenirem os

modos de falha; reduzirem a taxa de deterioração; detectarem a evolução da falha; descobrirem as falhas ocultas; suprirem necessidade e consumíveis do processo e/ou repararem o item após a falha. E serão efetivas se: forem aplicáveis tecnicamente; viáveis com os recursos disponíveis; se produzirem os resultados esperados; e forem executáveis a um intervalo razoável do ponto de vista do proprietário/usuário. Quando não é possível identificar uma tarefa preventiva, aplicável e efetiva, a MCC sugere a utilização de tarefas *default* (padrão), as quais incluem reprojeto e operação até a falha com reparo funcional posterior (SIQUEIRA, 2005). Mais detalhes dos aspectos relacionados às tarefas de manutenção serão tratados no Capítulo 5, na abordagem do procedimento de referência adotado neste trabalho.

## 2.4 METODOLOGIAS PARA IMPLANTAÇÃO DA MCC

Este item apresenta as principais metodologias para implantação da MCC, a partir das quais será possível propor um procedimento de referência, o qual servirá de base para os desenvolvimentos deste trabalho. As metodologias tratadas neste item seguem a estrutura mostrada na Figura 2.4, a qual enfatiza as entradas/pré-requisitos de cada etapa do processo de implantação, bem como suas atividades inerentes e saídas esperadas de cada etapa.

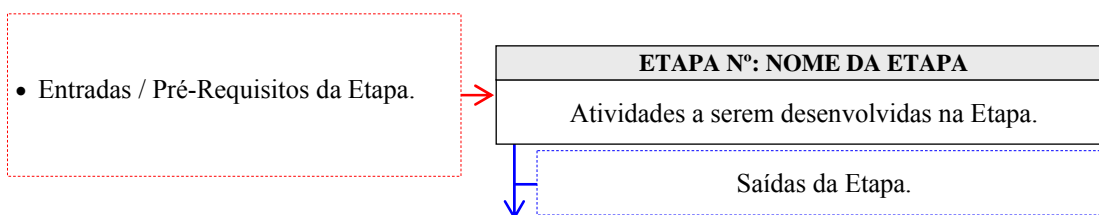


Figura 2.4 – Estrutura para Síntese das Metodologias Estudadas.

Todas as metodologias apresentadas nos próximos itens pressupõem a documentação, de maneira auditável, das decisões tomadas em cada etapa e a incorporação de tais decisões no sistema de planejamento e controle da manutenção.

### 2.4.1 Metodologia Proposta pela IEC 60300-3-11

A IEC 60300-3-11 (1999) fornece as orientações para o desenvolvimento de um programa inicial de manutenção preventiva para equipamentos e estruturas, utilizando as técnicas de análise propostas pela MCC. Este guia de aplicação é uma extensão do guia IEC 60706-4 (1992), o qual descreve as tarefas requeridas para o planejamento e suporte à manutenção e as interfaces entre a confiabilidade, manutenibilidade e o plano de suporte a manutenção. A metodologia proposta pela IEC 60300-3-11 é mostrada na Figura 2.5.

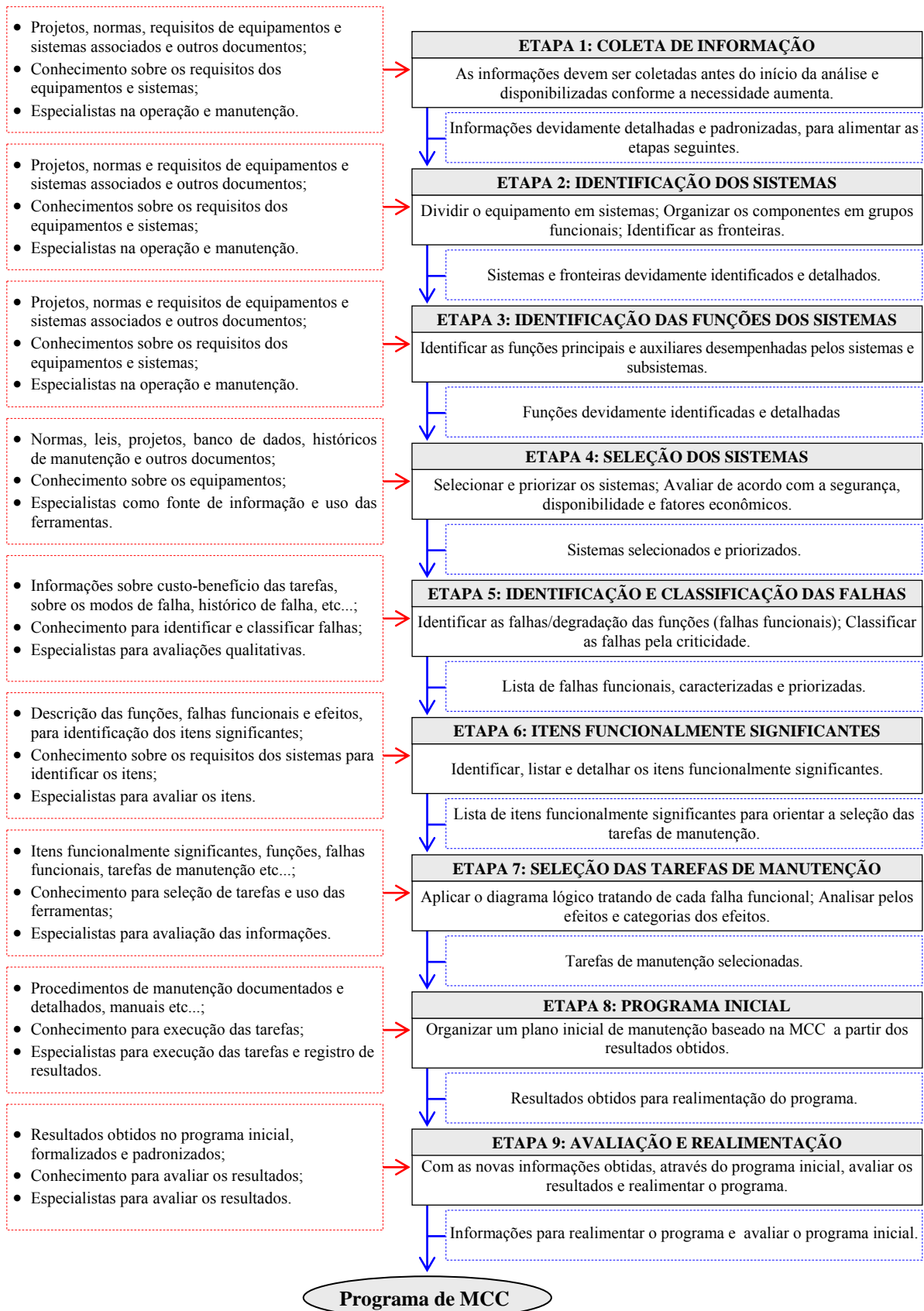


Figura 2.5 – Metodologia para Implantação da MCC proposta pela IEC 60300-3-11.

Fonte: IEC 60300-3-11, 1999.

#### 2.4.2 Metodologia Proposta pela SAE JA1011/JA1012

A metodologia proposta pelas normas SAE JA1011 (1999) e SAE JA1012 (2002) foi criada para atender a demanda internacional por um padrão que definisse quais os requisitos que um programa de gestão da manutenção deve cumprir, para que possa ser chamado de MCC. Os critérios estabelecidos pelas normas da SAE são baseados em processos e conceitos de MCC contidos em normas publicadas pela marinha americana MIL-STD-2173(AS) (*Reliability Centered Maintenance Requirements of Naval Aircraft, Weapons Systems and Support Equipment*) e sua sucessora a NAVAIR 00-25-403 (*Guidelines for the Naval Aviation Reliability Centered Maintenance Process – Versão de 1996*), no documento original de Nowlan e Heap (1978) e na versão (publicada em 1997) de Moubrey (2001).

A metodologia proposta pelas normas SAE JA1011 (1999) e SAE JA1012 (2002) segue a seqüência mostrada na Figura 2.6.

#### 2.4.3 Metodologia Proposta pela ABS (*American Bureau of Shipping*)

O guia da ABS (2004) fornece um resumo das várias técnicas de manutenção utilizadas na indústria, para sistemas e máquinas e, também, como essas técnicas podem ser aplicadas dentro da filosofia da MCC. Segundo este guia, com a aplicação dos princípios da MCC, a manutenção é avaliada e aplicada de maneira mais racional, fornecendo resultados mais positivos para o proprietário/operador das embarcações e instalações em terra. Além disso, o guia apresenta a MCC como uma parte do gerenciamento de risco, permitindo o entendimento das perdas associadas às falhas dos equipamentos e propiciando um programa de manutenção mais otimizado.

A metodologia proposta pela ABS (2004), para implantação da MCC segue a seqüência mostrada na Figura 2.7.

#### 2.4.4 Metodologia Proposta pela NASA (*National Aeronautics and Space Administration*)

A metodologia proposta pela NASA (2000) está incorporada em um guia criado para fornecer informações detalhadas, auxiliar na implementação dos conceitos e dar suporte aos programas de MCC, dentro das suas instalações. O objetivo foi ter à disposição, em um único documento de referência, a identificação de requisitos da MCC durante o ciclo de vida das instalações, os requisitos de desempenho em projetos e contratos e os requisitos de projeto para manutenibilidade. Essa metodologia segue a seqüência mostrada na Figura 2.8.

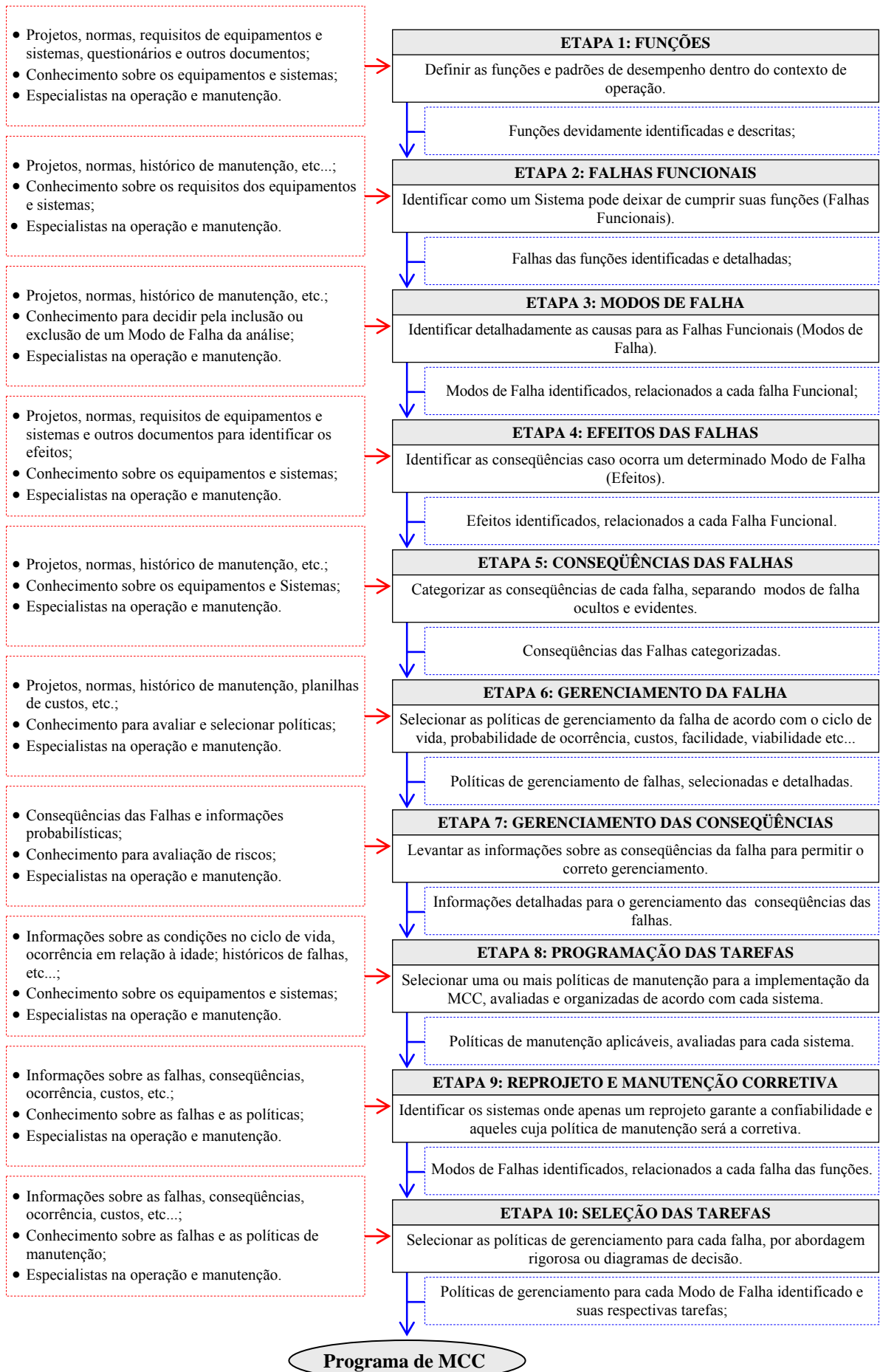


Figura 2.6 – Metodologia para Implantação da MCC – SAE JA1011/JA1012.  
Fonte: SAE JA1011, 1999 e SAE JA1012, 2002.

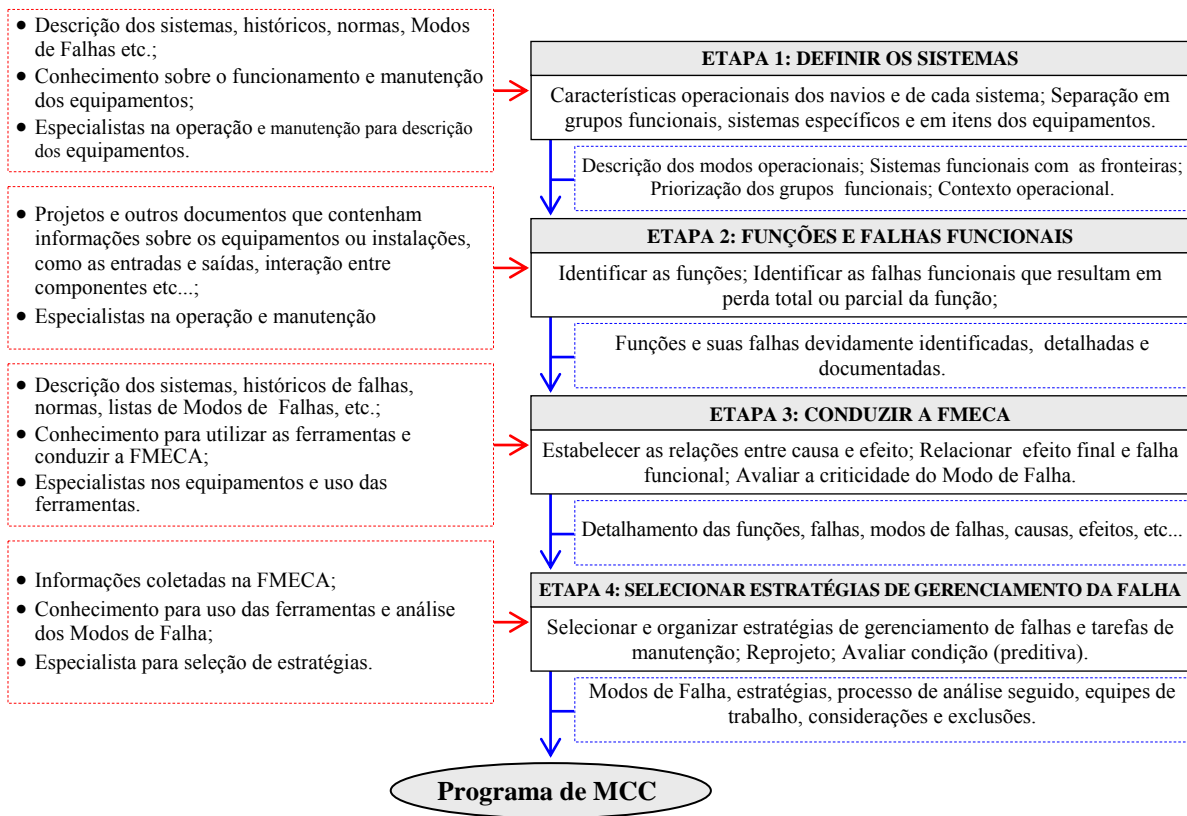


Figura 2.7 – Metodologia para Implantação da MCC – ABS.  
Fonte: ABS, 2004.

#### 2.4.5 Metodologia Proposta por Nowlan e Heap

Nowlan e Heap (1978) apresentaram a primeira abordagem da MCC como uma disciplina lógica para o desenvolvimento de um programa de manutenção programada. Tendo como referência a manutenção de aeronaves e equipamentos militares, o objetivo da metodologia proposta era explorar a confiabilidade dos equipamentos e, assim, minimizar seus custos de manutenção. Cada tarefa de manutenção programada é gerada com uma razão explícita e identificada: garantir que os equipamentos cumpram com suas funções. A metodologia proposta por Nowlan e Heap (1978) é mais rigorosa do que as adotadas na época por tratar, detalhadamente, das conseqüências das falhas das funções e avaliar os modos de falhas e suas causas. Tal metodologia foi baseada na experiência dos autores no desenvolvimento de abordagens de manutenção dentro da *United Airlines*, servindo como referência para os programas de manutenção de aeronaves comerciais, submetidos à FAA, e equipamentos militares. Segundo a proposta de Nowlan e Heap (1978), um programa de manutenção tem quatro objetivos básicos: assegurar que os níveis de segurança e confiabilidade dos equipamentos sejam alcançados; recuperar os níveis de segurança e confiabilidade quando ocorre a deterioração dos equipamentos; obter as informações necessárias para a melhoria de projeto dos itens com confiabilidade insatisfatória; e alcançar esses objetivos com o mínimo custo.

A metodologia proposta por Nowlan e Heap (1978) segue a seqüência mostrada na Figura 2.9.

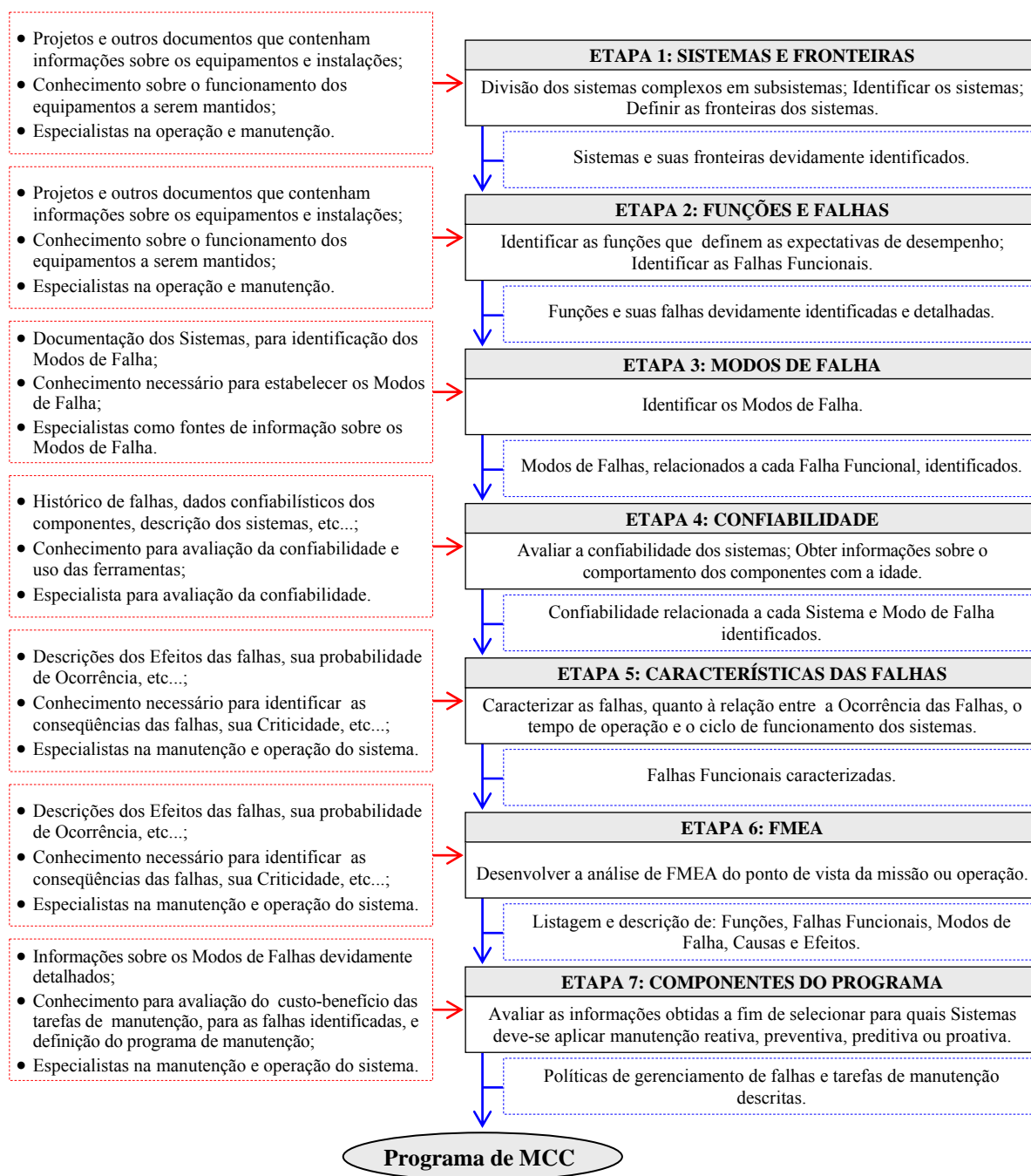


Figura 2.8 – Metodologia para Implantação da MCC – NASA.  
Fonte: NASA, 2000.

#### 2.4.6 Metodologia Proposta por Moubray

A partir do início dos anos 80, Moubray (2001) e seus colaboradores auxiliaram a aplicação da MCC em diversas empresas, levando ao desenvolvimento dos conceitos (denominado RCM2) que nortearam a concepção das Normas SAE JA1011 e SAE JA1012. Trata-

se de uma metodologia para aplicação da MCC em empresas/indústrias de setores diversos, além da aviação, e que acrescenta em sua análise o tratamento de questões ambientais.

A metodologia proposta por Moubray (2001) segue a seqüência mostrada na Figura 2.10.

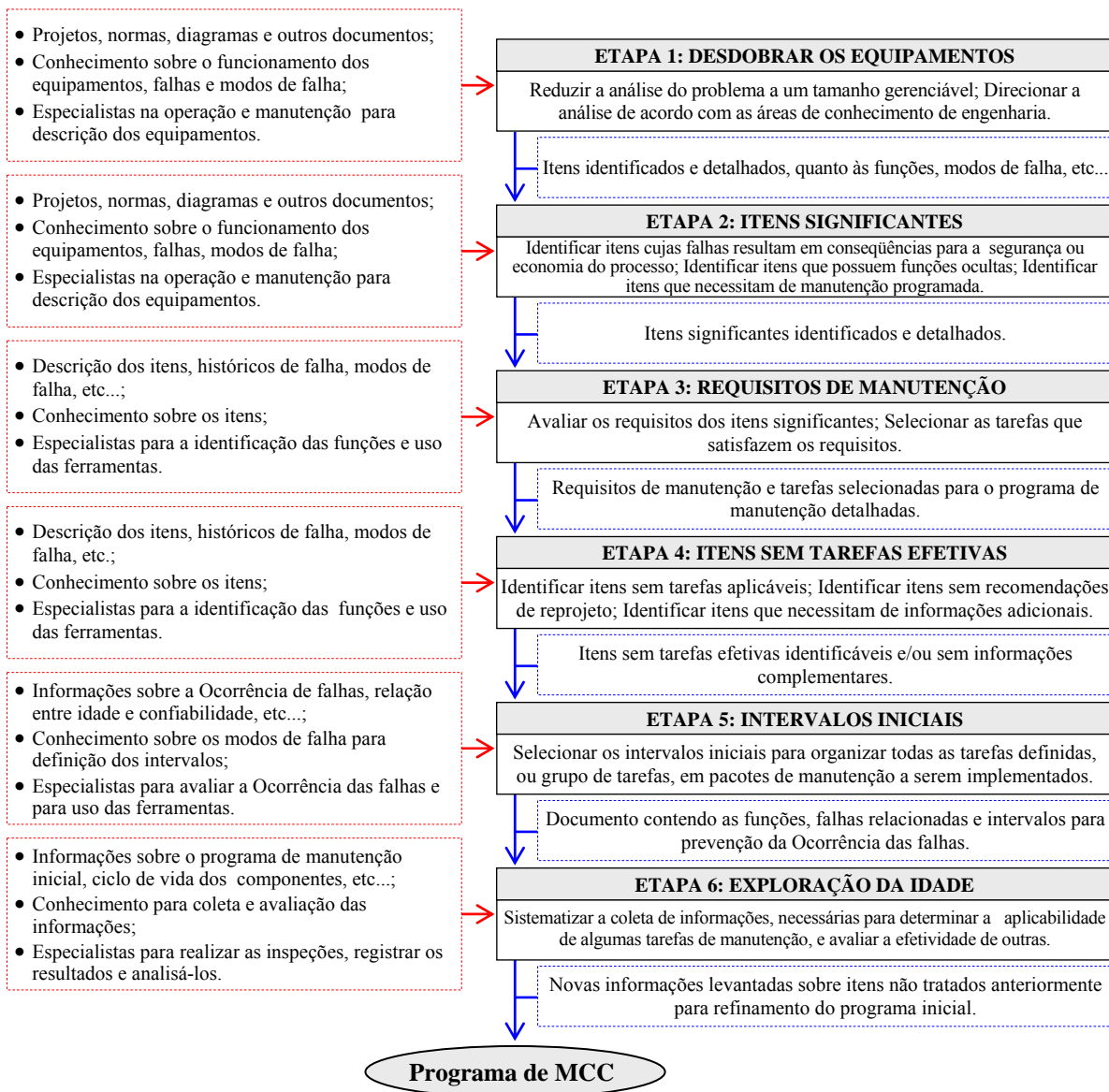


Figura 2.9 – Metodologia para Implantação da MCC – NOWLAN e HEAP.

Fonte: Nowlan e Heap, 1978.

#### 2.4.7 Metodologia Proposta por Smith

A experiência de Smith (1993) está relacionada, principalmente, com as áreas de sistemas aeroespaciais, motores a jato e usinas nucleares de geração de energia. Tal experiência serviu de base para um dos livros clássicos da MCC, de Anthony M. Smith, publicado em 1993, que estende a MCC a setores além da aeronáutica. A amizade profissional com o engenheiro Thomas D. Matteson, pioneiro da MCC e que participou do desenvolvimento da metodologia adotada pela FAA, como padrão para a manutenção preventiva de aeronaves, originou discussões sobre



problemas de confiabilidade, segurança, operação e manutenção. Na década de 80 as aeronaves acumularam mais horas em operação do que os reatores nucleares comerciais dos Estados Unidos, resultando em um produto mais maduro, sendo que os reatores apresentavam problemas similares àqueles experimentados pelas aeronaves comerciais com o passar dos anos. Percebeu-se, então, o benefício potencial do uso das práticas e procedimentos adotados na indústria de aviação comercial, adaptadas para as usinas nucleares.

A metodologia proposta por Smith (1993), para implantação da MCC, segue a seqüência mostrada na Figura 2.11.

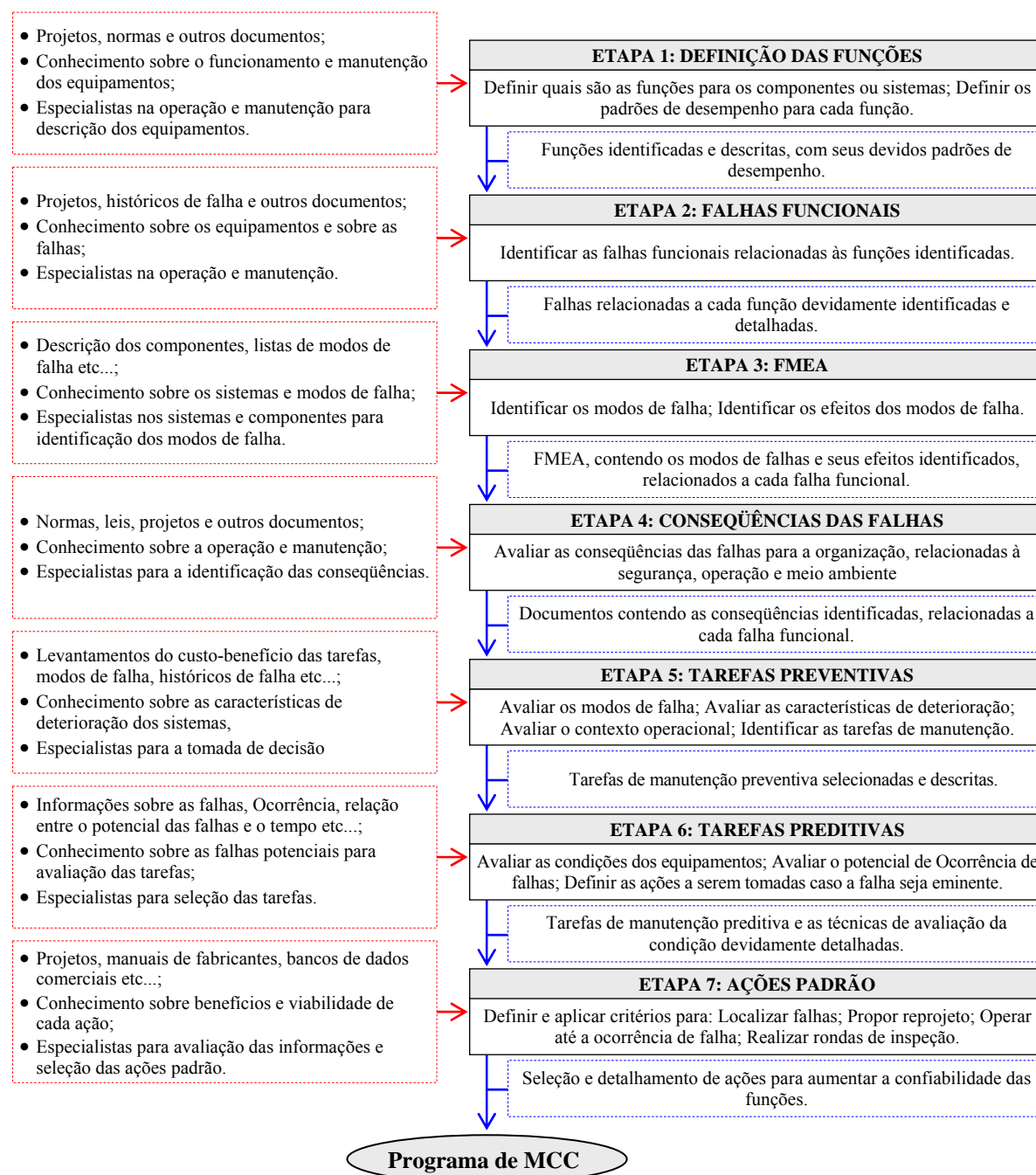


Figura 2.10 – Metodologia para Implantação da MCC – MOUBRAY.  
Fonte: Moubray, 2001.

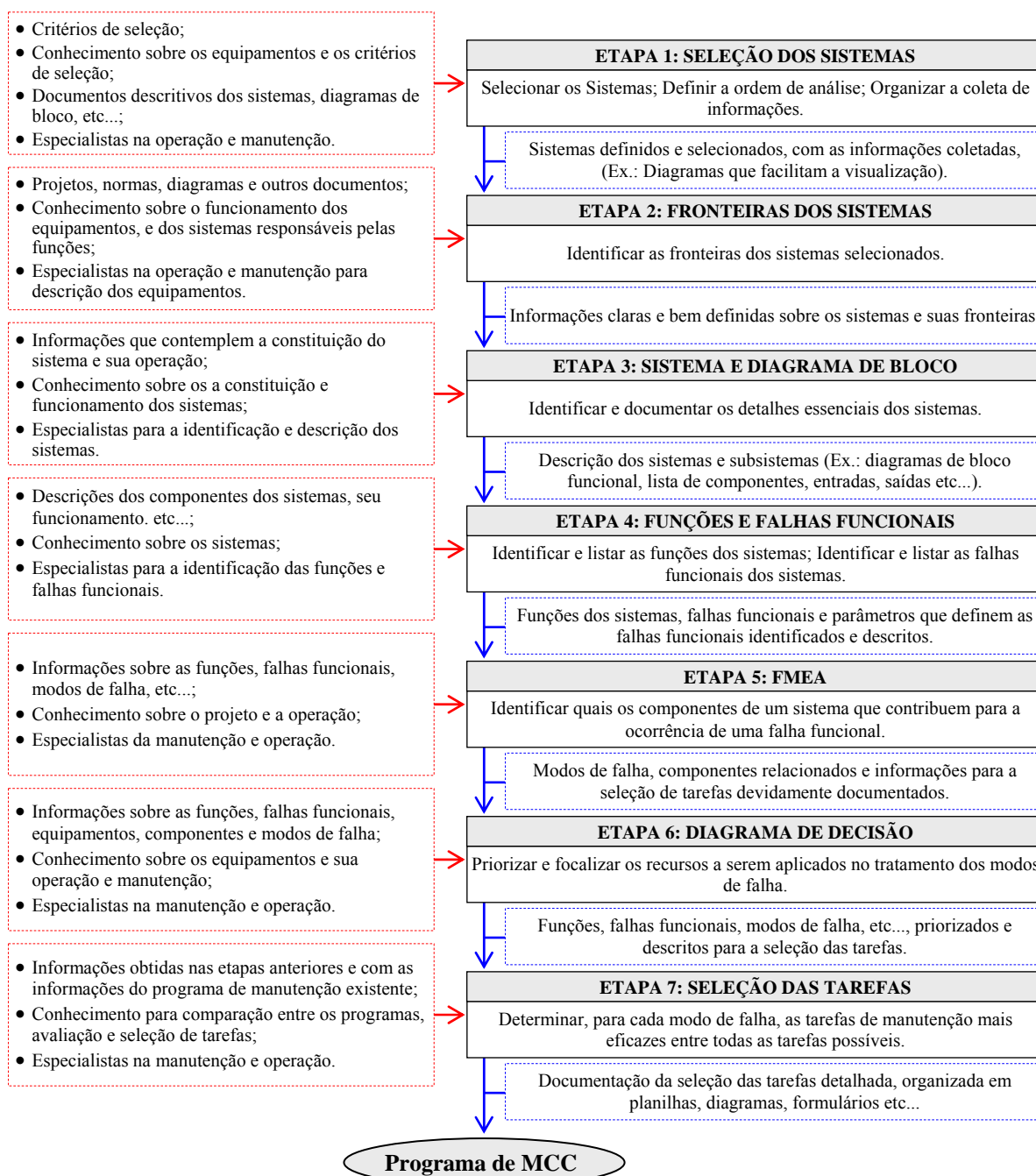


Figura 2.11 – Metodologia para Implantação da MCC – SMITH.

Fonte: Smith, 1993.

#### 2.4.8 Metodologia Proposta por Smith e Hinchliffe

O livro de Smith (1993) foi atualizado pelo autor em 2004, em co-autoria com Glenn R. Hinchcliff, que liderou a aplicação da MCC na *Florida Power & Light*, tendo Anthony M. Smith como consultor. Neste, os autores aprimoram o conteúdo do livro *Reliability Centered Maintenance*, Smith (1993), e propõem melhorias na metodologia de implantação da MCC, com base em questões práticas observadas pelos autores.

A metodologia proposta por Smith e Hinchcliffe, (2004) para implantação da MCC segue a seqüência mostrada na Figura 2.12.

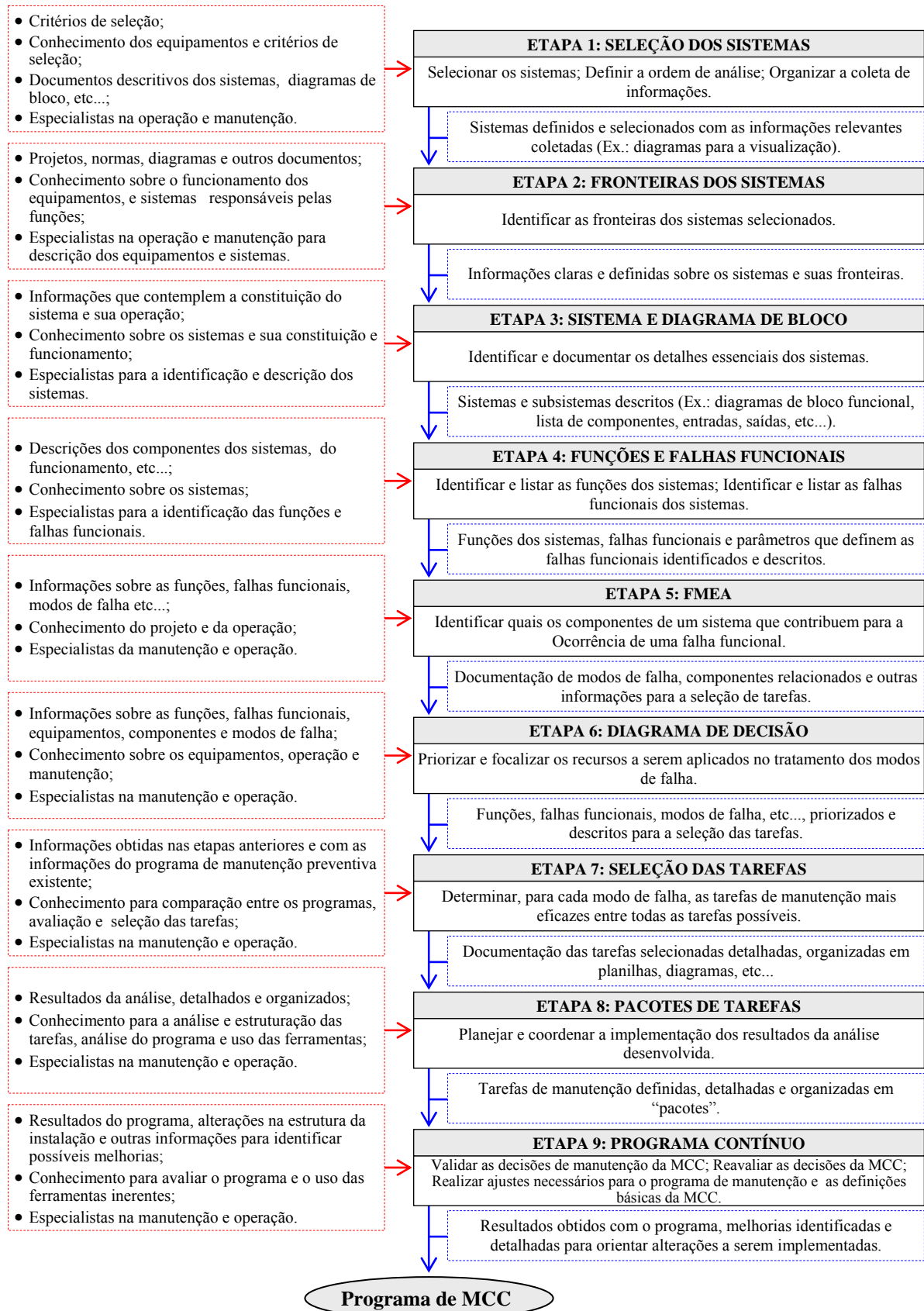


Figura 2.12 – Metodologia para Implantação da MCC – SMITH e HINCHCLIFFE.  
 Fonte: Smith e Hinchcliffe, 2004.

## 2.5 CONSIDERAÇÕES E SÍNTESE DO CAPÍTULO

Neste capítulo foram abordados os principais conceitos relacionados à MCC e de especial interesse aos objetivos deste trabalho, citados no Capítulo 1. Explanadas as definições relacionadas à manutenção, foram abordados os conceitos inerentes à MCC sendo, então, possível explicitar as principais metodologias para implantação da MCC, fundamentadas nas bibliografias e normas comumente utilizadas na prática.

A pesquisa revelou inconsistências e/ou divergências no procedimento de implantação da MCC, o qual difere entre as normas e bibliografias pesquisadas. Tal constatação revela uma das dificuldades associadas à implantação da MCC, relacionada à escolha do procedimento mais adequado para a condução desse processo, respeitando-se as características da empresa/sistema. Esta observação ratifica a necessidade de compatibilização das características da empresa e/ou sistema com os requisitos da MCC, o que corrobora com os objetivos deste trabalho. E neste caso, também ensejou a proposta de um procedimento de referência, abordado no Capítulo 5, para contemplar as divergências observadas nas normas e bibliografias pesquisadas. No Capítulo 5 também são abordados os desdobramentos e as deliberações processadas a partir dos aspectos apresentados no presente capítulo. Quanto as questões conceituais e de escopo, as seguintes observações podem ser feitas em relação as normas e bibliografias pesquisadas:

- A Norma IEC 60300-3-11 é de âmbito internacional e foi concebida para ser aplicada ao setor elétrico;
- As Normas SAE JA1011 e JA1012 propõem uma metodologia para implantação da MCC muito semelhante a proposta por Moubray (2001), a qual serviu de base para a SAE. Destaca-se, neste caso, a preocupação com as questões ambientais nos diagramas de decisão;
- Os guias da NASA e da ABS apresentam abordagens mais específicas, respectivamente para: instrumentos e equipamentos de segurança; e embarcações e instalações em terra onde a MCC é parte de uma estratégia para gerenciamento de risco;
- As bases da MCC foram propostas por Nowlan e Heap (1978) entretanto a abordagem destes autores está fortemente vinculada à manutenção de aeronaves e equipamentos militares. A aplicação da MCC no setor industrial, a partir dos conceitos de Nowlan e Heap (1978), se deve a Antony M. Smith (1993). Posteriormente Smith e Hinchcliffe, (2004) aprimoraram a metodologia inicial, proposta por Antony M. Smith (1993), enfatizando a MCC como um programa contínuo, ressaltando a necessidade de realimentações e atualizações.

No próximo capítulo são abordados os aspectos relativos à gestão do conhecimento e sua relação com a MCC.

## GESTÃO DO CONHECIMENTO

## 3.1 INTRODUÇÃO

As vantagens competitivas, inerentes à manutenção, estão fortemente relacionadas à política de Gestão do Conhecimento (GC), a qual, associada à Inteligência Artificial (IA), em especial os Sistemas Baseados em Conhecimento (SBC), resulta em agilidade e efetividade das intervenções de manutenção, ao mesmo tempo em que preserva o capital intelectual das empresas. No caso específico da Manutenção Centrada na Confiabilidade (MCC), sua implantação pode ser mais consistente e eficaz, na medida que o conhecimento institucional é utilizado como elemento norteador das decisões.

A GC se insere e contribui com este trabalho explicitando, no SBC-*Fuzzy* proposto, o conhecimento tácito de especialistas em implantação da MCC e mantenedores. Tal conhecimento será utilizado para confrontar as características específicas da empresa/sistema com as necessidades da MCC. Assim, é possível ratificar ou não o atendimento da empresa/sistema aos pré-requisitos da MCC e/ou a conformidade na execução das etapas do processo de implantação.

A aplicação do SBC-*Fuzzy* proposto resulta em um diagnóstico das características da empresa e sua aderência ou não às necessidades da MCC. As conclusões relativas ao processo de diagnóstico refletem o estágio atual de aderência da empresa à MCC, servindo de base para análises futuras da evolução da empresa e guia durante o procedimento de implementação e auditoria, ou seja, de maneira indireta, reflete/explicita o conhecimento que a empresa tem de suas próprias habilidades e competências e seu grau de adesão às necessidades da MCC.

## 3.2 DEFINIÇÕES E CONCEITOS

Tentando ilustrar o conceito de conhecimento, Rezende (2003) e Giarratano e Riley, (1998) utilizam a pirâmide do conhecimento, Figura 3.1, na qual:

- Ruído: são dados de pouco ou nenhum interesse;
- Dado: é um elemento da informação, um conjunto de letras, números ou dígitos que, tomados isoladamente, não transmitem nenhuma informação, ou seja, não contém um significado claro;
- Informação: é todo aquele dado que foi tratado e possui um valor significativo atribuído ou agregado a ele e, com sentido natural e lógico para quem usa a informação;

- **Conhecimento:** é a informação tratada por pessoas ou recursos computacionais para geração de cenários. É um termo abstrato que tenta capturar a compreensão do indivíduo sobre um dado assunto;
- **Síntese, Análise e Compreensão:** constituem o metaconhecimento, um conhecimento profundo que descreve o conhecimento sobre o conhecimento, ou seja, as leis básicas que regem o mundo e a forma como os demais tipos de conhecimento podem ser aplicados. É usado para selecionar qual o conhecimento mais apropriado para a resolução de um problema.

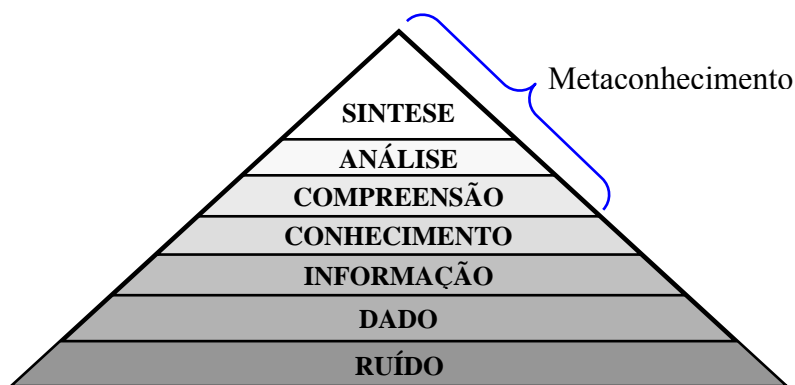


Figura 3.1 – Hierarquia do Conhecimento.

Fonte: adaptado de REZENDE, 2003 e GIARRATANO e RILEY, 1998.

Segundo Santiago (2004), a informação tem por finalidade exercer algum impacto sobre o julgamento do destinatário. Ela deve informar e, portanto, pode ser considerada como sendo o dado que faz a diferença, pois, ao contrário deste, ela possui relevância e propósito. Dados só se tornam informações a partir dos seguintes métodos:

- **Contextualização:** definição da finalidade dos dados coletados;
- **Categorização:** conhecimento das unidades de análise;
- **Cálculo:** análise matemática dos dados;
- **Correção:** eliminação das imprecisões e dos erros;
- **Condensação:** sumarização dos dados existentes.

Para o autor, o conhecimento é uma mistura fluida de experiências, valores, informações contextualizadas e percepções “*insights*”, além de possibilitar a existência de uma estrutura que permite a avaliação e incorporação de novas experiências e informações. O conhecimento é intrínseco as pessoas. Nas organizações ele está presente não apenas em documentos, mas também em rotinas, processos e práticas e, segundo Davenport e Prusak (1998), a transformação da informação em conhecimento é possível a partir da:

- **Comparação:** entendimento sobre como as informações relativas a um determinado assunto podem ter alguma relação ou aplicação em outras situações;
- **Conseqüência:** implicação que determinada informação pode trazer para a tomada de

alguma decisão e/ou ação;

- Conexão: relação entre a informação adquirida e um conhecimento já existente;
- Conversação: interpretação daquela informação a partir do entendimento sobre o que as pessoas pensam sobre ela.

A GC busca agregar valor às informações, filtrando, resumindo e sintetizando-as e, dessa forma, desenvolvendo um perfil de utilização pessoal que ajuda a levá-las à ação. Entre informação e conhecimento, observa-se que (SANTIAGO, 2004):

- O conhecimento, ao contrário da informação, diz respeito às crenças e compromissos;
- O conhecimento, ao contrário da informação, está relacionado à ação, isto é, o conhecimento tem um determinado “fim”;
- Tanto informação como conhecimento dizem respeito ao significado específico com relação a um determinado contexto considerado.

Segundo Abel (2005), o conhecimento pode ser categorizado nos seguintes níveis:

- Conhecimento Superficial: descrição de objetos do domínio, informações que se referem a problemas imediatos e a solução associada;
- Conhecimento do Domínio: descreve a forma de resolver problemas no domínio na forma de descrições, heurísticas ou procedimentos, mesmo que muitos deles não sejam compreendidos teoricamente;
- Conhecimento Profundo: estrutura interna e causal (relações de causa e efeito) dos objetos do domínio e suas interações. É o conhecimento teórico do domínio que pode ser aplicado a diferentes tarefas e em mais de uma situação, utilizando mecanismos de transferência e analogia. Este tipo de conhecimento é de difícil aquisição e trata computacional.

Além do nível, as seguintes categorias de conhecimento têm especial interesse para a finalidade deste trabalho: declarativo, procedural, heurístico, tácito e explícito.

Segundo Abel (2005), o Conhecimento Declarativo trabalha com uma representação descritiva do domínio, declara os fatos do mundo, o que as coisas são, como se associam e se relacionam no mundo. Quanto ao nível, trata-se de um conhecimento superficial. Já o Conhecimento Procedural descreve a forma como as coisas trabalham sob diferentes tipos de circunstâncias, descrito na forma de instruções passo-a-passo. Pode fornecer uma aplicação imediata para o conhecimento declarativo (ABEL, 2005).

O Conhecimento Heurístico<sup>1</sup> pode ser tratado como um conjunto de regras que conduzem o processo de raciocínio. É empírico e representa o conhecimento compilado por um especialista por meio da experiência na resolução de problemas passados. Este é o tipo mais importante de

---

<sup>1</sup> A palavra heurística vem da palavra grega *heuriskein*, e significa descobrir, e também é a origem da palavra *eureka*, derivada da exclamação atribuída a Arquimedes, *heurika* (descobri), dita na descoberta de um método para determinar a pureza do ouro.

conhecimento tratado pelos SBC's e foi introduzido em IA por George Polya, em 1957, em seu livro *How to Solve It* (RICH e KNIGHT, 1993; POLYA, 1957).

O Conhecimento Tácito é pessoal e intrínseco ao indivíduo. É um saber subjetivo, baseado em experiências pessoais e específico ao contexto e, por essa razão, difícil de ser formulado e comunicado (SANTIAGO, 2004). Segundo Nonaka e Takeuchi (1997), o conhecimento tácito pode ser de dois tipos: o primeiro, incorporado nas habilidades e que pode ser copiado, é passível de codificação, podendo ser articulado e escrito. O segundo é aquele que não pode ser codificado ou escrito, sendo de difícil transferência por não poder ser demonstrado; é adquirido pela experiência, tendo a interação pessoal um papel fundamental. Por isso a transferência dessa forma de conhecimento se dá principalmente através das redes pessoais. O Conhecimento Explícito, por sua vez, é objetivo e facilmente captado, codificado e compartilhado. Este é um conhecimento transmissível em linguagem formal e sistemática (SANTIAGO, 2004).

Para Nonaka e Takeuchi (1997), o conhecimento tácito é algo pessoal, presente no cérebro das pessoas, resultante de suas experiências e ações, formado através das emoções, valores, desejos ou ideais, mas que, num sentido amplo, é o novo fator de produção para as organizações. Já o conhecimento explícito é aquele exposto nos documentos, computadores e sistemas de uma organização, ou seja, foi transferido da mente das pessoas para ser acessado por membros da empresa, de forma sistematizada e controlada.

### 3.3 CRIAÇÃO DO CONHECIMENTO

Para Nonaka e Takeuchi (1997), a estrutura conceitual básica, sobre as formas de administração do processo de criação do conhecimento, possui duas dimensões:

- Ontológica: o conhecimento só pode ser criado por indivíduos. Uma organização, por si só, não pode criar conhecimento; seu escopo é apoiar os indivíduos e lhes proporcionar condições para a criação deste. A existência do conhecimento organizacional é possível a partir de interações que permitam sua criação de forma individual e a sua disseminação para a organização como um todo;
- Epistemológica: segundo o qual, há dois tipos de conhecimento: Tácito e Explícito.

Os conhecimentos tácito e explícito não são entidades totalmente separadas, mas mutuamente complementares. O conhecimento humano é criado e expandido através da interação social entre os conhecimentos tácito e explícito, ao que se chama de Conversão do Conhecimento. O processo de conversão ocorre conforme o modelo apresentado na Figura 3.2. Este processo, chamado de Espiral do Conhecimento, pressupõe a superação de um ambiente competitivo e egocêntrico por um ambiente cooperativo e em harmonia com os objetivos da organização. A



espiral do conhecimento é cíclica e seu objetivo é converter o conhecimento tácito individual no conhecimento tácito institucional (NONAKA e TAKEUCHI, 1997).

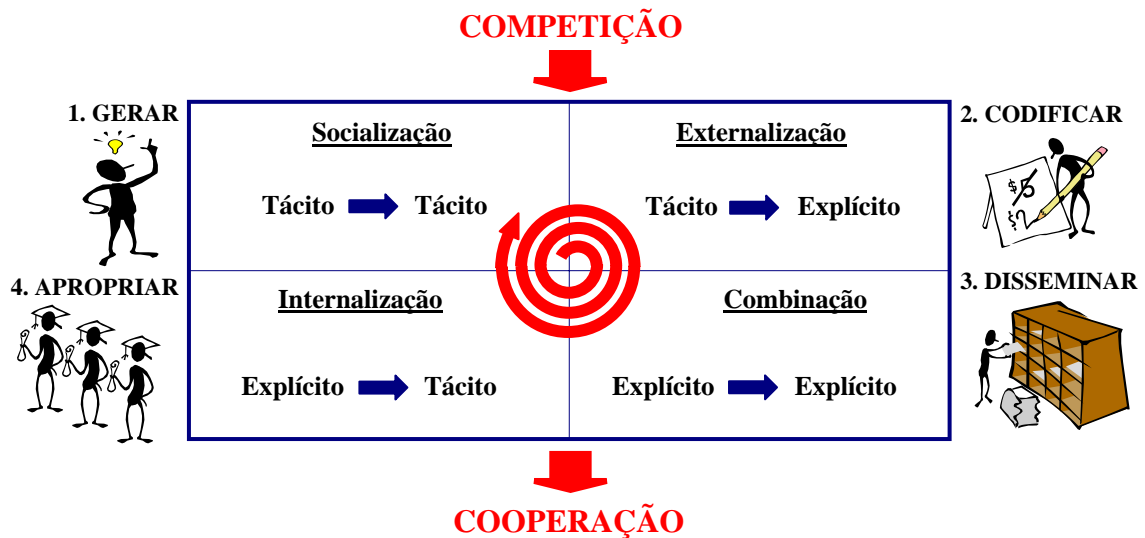


Figura 3.2 – Espiral do Conhecimento.  
Fonte: adaptado de NONAKA e TAKEUCHI, 1997.

Segundo Santiago (2004), da Figura 3.2 cabe ressaltar que:

- Socialização: é um processo de compartilhamento de experiências e, a partir daí, da criação do conhecimento tácito como modelos mentais ou habilidades técnicas compartilhadas. As seguintes considerações podem ser feitas:
  - Trata-se de um processo de compartilhamento de experiências diversas e criação do conhecimento tácito e habilidades técnicas;
  - A aquisição do conhecimento tácito se faz a partir da experiência;
  - *Brainstorming* é um meio que permite a reorientação dos modelos mentais de todos os indivíduos em uma mesma direção, por essa razão, é um meio eficaz para o compartilhamento de experiências;
  - Coloca o indivíduo na posição daquele que executa a atividade e permite que ele aprenda *in-loco* a partir de uma experiência real;
  - É possível obter essa socialização a partir do contato com os clientes, permitindo a criação de idéias para aperfeiçoamento de seus produtos e processos.
- Externalização: é um processo de articulação de conhecimentos tácitos em conceitos explícitos e é provocado pelo diálogo ou pela reflexão coletiva. As seguintes considerações podem ser feitas:
  - Trata-se da conversão dos conceitos tácitos em explícitos pelo uso de analogias, conceitos, modelos, hipóteses ou metáforas;
  - A escrita é uma forma de converter o conhecimento tácito em conhecimento explícito, apesar das discrepâncias e lacunas que possam ocorrer nessa conversão;
  - O processo de criação do conceito pode ser desenvolvido com o diálogo e reflexão

- coletiva, para isto, se combina a dedução e a indução;
- O uso de metáforas ou analogias é muito eficaz, pois estimula o compromisso direto com o processo criativo e a criação e elaboração de um conceito. A metáfora é uma forma de perceber ou entender intuitivamente uma coisa, imaginando outra coisa simbolicamente. As eventuais contradições inerentes no uso de uma metáfora são harmonizadas a partir da analogia;
- É o método chave para criação do conhecimento explícito, uma vez que cria conceitos novos e explícitos a partir do conhecimento tácito.
- Combinação: baseia-se na troca de informações explícitas e no paradigma da tecnologia da informação. Envolve a combinação de conjuntos diferentes de conhecimento explícito. Ocorre troca e combinação de conhecimentos através de meios como documentos, reuniões, ou redes de comunicação computadorizadas. Sendo assim, as seguintes considerações podem ser feitas:
    - Trata-se do aprendizado formal baseado em informações explícitas e no uso da tecnologia da informação;
    - Os indivíduos trocam e combinam conhecimentos através de documentos, reuniões, conversas ao telefone, e-mails ou redes de comunicação computadorizadas;
    - Os métodos formais de educação e treinamento também são exemplos de conversão desse conhecimento explícito;
    - A combinação também ocorre quando os conceitos de produtos são associados e integrados aos principais conceitos da organização (visão da empresa).
  - Internalização: é o processo de incorporação do conhecimento explícito no conhecimento tácito da organização. Os membros da organização passam a vivenciar o novo conhecimento e aprender a partir da sua aplicação “*learning by doing*”. Esse conhecimento tácito acumulado precisa ser compartilhado com outros membros da organização iniciando, assim, uma nova espiral de criação de conhecimento. As seguintes considerações podem ser feitas:
    - Trata-se da incorporação do conhecimento nas atividades operacionais da empresa para obtenção de um resultado prático;
    - Todo ativo de conhecimento obtido nos processos anteriores de socialização, externalização e combinação tornam-se valiosos quando são internalizados nas bases do conhecimento tácito dos indivíduos;
    - Há a necessidade da verbalização e diagramação do conhecimento a partir de documentos, manuais ou relato de histórias. Toda esta documentação permite ao indivíduo que suas experiências sejam internalizadas, o que aumenta seu conhecimento tácito;
    - Ouvir a experiência passada por alguém também é um meio para o compartilhamento do conhecimento tácito que, a partir de então, passa a ser da organização;

→ A expansão do escopo da experiência prática, o “aprender fazendo”, é essencial para o processo de internalização.

O modelo da espiral do conhecimento pode ser resumido da seguinte forma: inicialmente a socialização desenvolve um campo de interação que permite o compartilhamento das experiências dos indivíduos. A partir da externalização se propicia o diálogo ou reflexão coletiva, com o uso de metáforas ou analogias, o que resulta no conceito. O modo de combinação possibilita a colocação do conhecimento recém criado junto àquele já existente, resultando em um novo processo, sistema ou modo de fazer. A internalização ocorre a partir do “aprender fazendo” (SANTIAGO, 2004).

### 3.4 A IMPORTÂNCIA DA GESTÃO DO CONHECIMENTO (GC)

Segundo Abel (2005), o conhecimento de uma empresa, tratado como patrimônio volátil, pode ter um valor agregado que supera todas as instalações físicas ou bens tangíveis da mesma empresa. É o que chamamos de capital intelectual, isto é, o conhecimento tratado como *commodity*.

O desafio da Idade do Conhecimento, pela qual passa atualmente a administração de empresas, é como transformar esse patrimônio volátil e não-registrável, em algo que possa ser capturado, tornado independente das pessoas que o retém e, em algum grau, medido (LEBOWITZ, 1987 e LIEBOWITZ e WILCOX, 1997).

Segundo Abel (2005), a motivação crescente pelo domínio do conhecimento e a capacidade de gerenciá-lo é garantida por diversos fatores, a saber:

- O percentual de conhecimento envolvido nos produtos e serviços está crescendo rapidamente e se reflete na estrutura dos custos de produção;
- O conhecimento necessário para implementar processos de negócios muda subitamente, como resultado de desenvolvimentos científicos e tecnológicos ou modificações nas relações econômicas;
- A pressão crescente do tempo cada vez menor no qual as decisões gerenciais devem ser feitas;
- A mobilidade dos profissionais vem aumentando, devido às modificações nas relações de trabalho e possibilidades tecnológicas, podendo levar a transferência do conhecimento direto para a concorrência.

A busca de instrumentos que permitam às organizações reter, organizar e otimizar a utilização do conhecimento é objeto de estudo da GC (LIEBOWITZ e WILCOX, 1997). A Engenharia de Conhecimento e, em especial, sua aplicação no desenvolvimento de SBC's é uma das ferramentas que auxiliam o processo de GC, fornecendo os subsídios tecnológicos para implantação e consolidação dos mecanismos demandados pela GC.

Boff (2001), descreve a GC como sendo: “um conjunto de estratégias para criar, adquirir, compartilhar e utilizar ativos de conhecimento e estabelecer fluxos que garantam a informação necessária no tempo e formato adequados, a fim de auxiliar na geração de idéias, solução de problemas e tomada de decisão”. A GC é, portanto, o processo sistemático de identificação, criação, renovação e aplicação dos conhecimentos estratégicos na vida de uma organização. É um processo corporativo, focado na estratégia empresarial e que envolve a gestão das competências, do capital intelectual, a aprendizagem organizacional, a inteligência empresarial e a educação corporativa (NONAKA e TAKEUCHI, 1997).

Baseado no modelo da Espiral do Conhecimento, proposto por Nonaka e Takeuchi (1997), Terra (2000) destacou as dimensões através das quais a GC pode ser entendida:

- Alta Administração: definição dos campos de conhecimento que deverão ter prioridade nos esforços de aprendizado dos funcionários da organização, de acordo com a estratégia organizacional e com as metas a serem atingidas;
- Cultura Organizacional: voltada à inovação e aprendizado contínuo, comprometida com os resultados de longo prazo e com a otimização das áreas da empresa;
- Estrutura Organizacional: para superar os limites impostos à inovação, ao aprendizado e à geração de novos conhecimentos, as estruturas tradicionais devem dar lugar a equipes multidisciplinares com alto grau de autonomia;
- Políticas de Recursos Humanos: associadas à aquisição de conhecimento externo e interno à empresa, bem como com a geração, difusão e armazenamento de conhecimentos na empresa;
- Sistemas de Informação: uso de tecnologias que ajudem a captação, difusão e armazenamento do conhecimento nas organizações, associado ao importante papel do contato pessoal e do conhecimento tácito para os processos de aprendizado organizacional;
- Mensuração de Resultados: avaliação dos ganhos obtidos sob diferentes aspectos, desde a imagem, até financeiros e a comunicação dessas metas atingidas para todos na organização;
- Aprendizado com o Ambiente: realização de alianças estratégicas com empresas e aprendizado com os clientes.

No contexto deste trabalho, todas estas dimensões devem ser consideradas para que a implantação e a gestão da MCC obtenham êxito. Nesse sentido, as seguintes considerações podem ser feitas com relação a cada uma das dimensões propostas por Terra (2000), com relação direta a este trabalho:

- Alta Administração: o conhecimento relativo a MCC, tanto anterior como posterior a sua implantação, deve ser tratado com prioridade pelos níveis superiores da administração, caso

contrário, não haverá comprometimento dos níveis inferiores com o programa de MCC;

- Cultura Organizacional: caso a equipe de manutenção não esteja habituada com práticas que promovam a GC, dificilmente o fará após a implantação da MCC, fortemente dependente de dados históricos e documentação dos ativos. Desta forma, dificilmente ocorrerá a inovação e o aprendizado organizacional;
- Estrutura Organizacional: a manutenção não deve estar isolada dos demais setores da empresa. O conhecimento e as necessidades de toda a organização devem permear as decisões da MCC e vice-versa. Durante a sua implantação, o conhecimento institucional deve balizar as decisões do grupo de MCC para que suas decisões sejam aderentes às características e necessidades da empresa. Ao longo de sua gestão, o programa de MCC deve estar vinculado ao conhecimento estratégico que orienta o planejamento da empresa, para que as ações de manutenção sejam as mais eficazes possíveis;
- Políticas de Recursos Humanos: as necessidades e o potencial interno da empresa devem estar claramente mensurados e avaliados, para dar respostas rápidas às carências da MCC, com a aquisição de conhecimento externo e/ou interno, bem como, garantir o armazenamento de novos conhecimentos na empresa;
- Sistemas de Informação: a MCC é fortemente dependente de um sistema computadorizado para armazenamento de dados e documentação dos ativos. Este mesmo sistema pode servir para explicitação, armazenamento e disseminação do conhecimento e, com o auxílio do *SBC-Fuzzy* proposto neste trabalho, contribuir com o processo de aprendizado organizacional;
- Mensuração de Resultados: o acompanhamento dos resultados do programa de MCC é crucial para realimentá-lo e maximizar os ganhos para a empresa. Todo o conhecimento heurístico ou explícito deste processo deve ser armazenado para utilização durante o processo decisório;
- Aprendizado com o Ambiente: o conhecimento de programas bem sucedidos de MCC deve nortear a implantação e a gestão de programas novos, minimizando assim os riscos de insucesso.

### 3.5 A FUNÇÃO DA ENGENHARIA DO CONHECIMENTO NA GC

A Engenharia do Conhecimento teve este nome reivindicado por Ed Feigenbaum, um dos idealizadores do DENDRAL<sup>2</sup> (DURKIN, 1994), conduzindo ao paradigma do Sistema Especialista (SE) ou SBC. Segundo Lira e Fantinato (2005), Engenharia de Conhecimento é um termo usado para descrever o processo global de desenvolvimento de um SE ou, no caso deste trabalho (ver Capítulo 4), um SBC. Tipicamente envolve uma interação entre o construtor do

---

<sup>2</sup> DENDRAL - Projeto desenvolvido em 1965 na Universidade de Standford (EUA). O objetivo era desenvolver programas capazes de determinar automaticamente o conjunto de estruturas moleculares, constituídas de átomos conhecidos, capazes de explicar dados provenientes da análise espectrográfica de uma molécula desconhecida.

sistema, chamado Engenheiro de Conhecimento (EC), e um ou mais especialistas do domínio que se quer modelar (Figura 3.3).

O EC é o profissional responsável pela estruturação e construção do SBC. Ele adquire conhecimento de alguma fonte, interpreta e representa em tipos e estruturas convenientes (LIRA e FANTINATO, 2005). Um estudo mais detalhado pode ser encontrado em Gonzalez e Dankel (1993) e Rezende (2003) que traçam o perfil e citam as características desejáveis do EC.



Figura 3.3 – Processo de Construção de um SBC.

Para Lira e Fantinato (2005) os Especialistas, também chamados Peritos ou *Experts*, são pessoas que possuem um alto grau de conhecimento em um determinado domínio e habilidade para transmitir esse conhecimento. Em muitos casos, são a fonte de conhecimento para a concepção do SBC. Um estudo detalhado das características inerentes a cada tipo de especialista e as especificidades do relacionamento entre o EC e os Especialistas pode ser encontrado em Rezende (2003).

Schreiber *et al.* (2002), analisando a GC e sua interação com a EC, destaca seis atores que interagem durante a concepção de um SBC, são eles, Figura 3.4:

- 1) Especialista ou Provedor de Conhecimento: papel exercido pela pessoa que detém o conhecimento. Tradicionalmente é exercido por um especialista no domínio da aplicação;
- 2) Engenheiro ou Analista de Conhecimento: responsável pela elicitação do conhecimento do especialista e modelagem do conhecimento com base nas necessidades do usuário do SBC;
- 3) Desenvolvedor do SBC: é o responsável pelo projeto e implementação do SBC a partir da modelagem feita pelo Engenheiro ou Analista de Conhecimento;
- 4) Usuário de Conhecimento: faz uso direto ou indireto do SBC. Envolver os usuários desde o início do desenvolvimento do sistema, no caso de SBC's, é mais importante do que no caso de softwares tradicionais;
- 5) Gerente de Projeto: está encarregado de comandar o desenvolvimento do SBC. Os maiores riscos para o gerente de projeto referem-se à natureza dos problemas relacionados ao conhecimento. Assim, requisitos de monitoramento são fundamentais durante o ciclo de vida do projeto;

- 6) Gerente de Conhecimento: não está diretamente envolvido no desenvolvimento do SBC, pois sua função é formular uma estratégia de conhecimento ao nível do negócio e garantir a disseminação do conhecimento.

A GC requer, além da disponibilidade da informação, a experiência, o contexto, a negociação, a interpretação e a reflexão das pessoas para que essa informação faça sentido e tenha valor. A aprendizagem organizacional é a base necessária para a realização de uma GC bem sucedida. Uma proposta eficiente de aprendizagem na empresa significa que os conhecimentos não serão recursos estáticos acumulados em arquivos ou na cabeça dos indivíduos, mas sim disponíveis a qualquer tempo para todos os interessados (SANTIAGO, 2004).

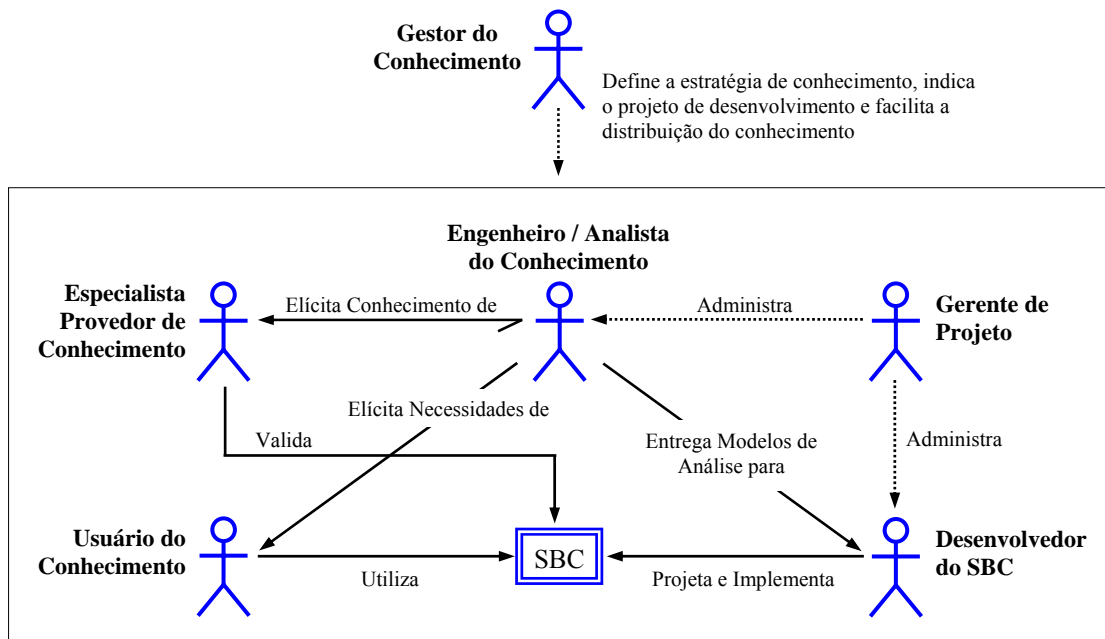


Figura 3.4 – Principais Atores do Processo de Construção de um SBC.  
Fonte: adaptado de SCHREIBER et al, 2002.

A Engenharia do Conhecimento provê os mecanismos para criação de repositórios de conhecimento, ao mesmo tempo em que facilita a externalização e a disseminação deste. No contexto proposto neste trabalho, a Engenharia do Conhecimento dará suporte às necessidades da GC na criação do SBC-*Fuzzy* que irá auxiliar o processo da implantação e auditoria da MCC, incluindo diagnóstico e apoio a decisão.

### 3.6 A GESTÃO DO CONHECIMENTO E O PROCESSO DE MCC

A implantação e a auditoria de um programa de MCC envolvem decisões com base em dados qualitativos, disponibilizados pelos operadores e mantenedores dos ativos e, dados quantitativos que podem ser acessados de um banco de dados da própria empresa, o que é salutar,

ou banco de dados genéricos disponibilizados por fabricantes ou entidades ligadas à análise confiabilística.

O aprendizado e o conhecimento produzidos pela manutenção são expressos por indicadores de desempenho baseados no custo da manutenção, disponibilidade operacional, confiabilidade (Tempo Médio entre Falhas – MTBF), manutenibilidade (Tempo Médio para Reparo – MTTR) e índices de acidentes com pessoas, instalações ou meio ambiente.

Seja qual for a etapa do processo de MCC, é importante salientar a necessidade de experiência no procedimento de implementação e conhecimento técnico de seus executores, principalmente durante a concepção do FMEA (*Failure Modes and Effects Analysis* – Análise dos Modos de Falha e seus Efeitos) ou FMECA (*Failure Modes, Effects and Criticality Analysis* – Análise dos Modos de Falha seus Efeitos e sua Criticidade). A GC viabilizada pelo SBC-*Fuzzy*, base da metodologia proposta nesta tese, pode ser utilizada para garantir a administração e armazenamento deste conhecimento e experiência, auxiliando a implementação e a auditoria da MCC. Tal conhecimento e experiência estão estruturados na inferência *Fuzzy*, proporcionada pelo SBC sugerido nesse trabalho. Na fase de implementação da MCC, esse conhecimento será utilizado para verificar a aderência da empresa/sistema aos requisitos exigidos pela MCC, enquanto que, na fase de auditoria, a implementação correta das etapas é que será avaliada pelo SBC-*Fuzzy*. Os próximos parágrafos explicitam a relação e a importância de um sistema de GC para a MCC.

### Caracterização do Problema

A metodologia da MCC se caracteriza por envolver nos estudos, implantação, auditoria e gestão representantes de diversas áreas (manutenção, operação, segurança e qualidade), garantindo que a visão e as expectativas de cada setor estejam contempladas nas decisões tomadas. Esse grupo deve analisar, além da viabilidade da MCC para o contexto da empresa/sistema, as necessidades estratégicas da empresa em termos de aumento de disponibilidade e confiabilidade dos ativos, além da maneira mais econômica de alcançar estes objetivos. Com isto é possível definir os sistemas e subsistemas que serão analisados e suas fronteiras. O processo de decisão e o conhecimento intrínseco a ele devem ser documentados para orientar as decisões e as etapas seguintes do processo.

### Produção e Codificação do Conhecimento

O estudo das falhas e as proposições da MCC são realizados sobre os equipamentos e componentes escolhidos como estratégicos. O conhecimento, necessário para cumprimento desta etapa, normalmente é sintetizado em um FMEA/FMECA que deve ser armazenado e disseminado para auxiliar as equipes de manutenção em intervenções futuras. Este conhecimento pode também ser convertido em regras para um SBC e utilizado para treinamento e apoio a tomada de decisão.



### Integração de Conhecimento

Definidas todas as atividades, é preciso agrupá-las visando reunir as de mesma periodicidade, especialidade e tipo de intervenção em um único procedimento de manutenção. O objetivo final desta etapa é formar procedimentos padrões de manutenção que possam ser exportados para o Sistema de Controle e Gestão da Manutenção (SCGM) da empresa. Cumpridas as tarefas agendadas de manutenção, a GC deve garantir a realimentação do programa de MCC, incorporando os conhecimentos inerentes para consultas futuras.

### Disseminação e Apropriação do Conhecimento

Um dos problemas de qualquer metodologia de gestão da manutenção, neste caso a MCC, é a falta de apropriação dos conhecimentos inerentes às suas ações. Para que a MCC contribua com vantagens competitivas para a empresa, é necessário disseminar os conhecimentos produzidos e treinar a equipe de manutenção. Este treinamento deve salientar a importância da documentação das etapas e do conhecimento envolvido na correção das falhas, principalmente as falhas ocultas ou que não estavam previstas no FMEA/FMECA inicial e que foram detectadas durante uma intervenção sistemática ou não. Com isto, garante-se que os procedimentos de manutenção sejam realizados nas datas corretas, por pessoal especializado, e assim sejam mensurados os resultados da aplicação dos novos conhecimentos. A partir desses apontamentos é calculada a confiabilidade dos equipamentos, sendo extraídos os dados para simulação de disponibilidade, adequação das periodicidades de intervenção e das quantidades de sobressalentes no estoque. Esses procedimentos são indispensáveis para garantir o sucesso de um programa de MCC.

### Resultados Esperados

Os resultados qualitativos, decorrentes da aplicação da GC na MCC são:

- Otimização das ações da manutenção, a partir do registro histórico de falhas, agrupamento de atividades semelhantes e documentação dos ativos;
- Melhoria contínua focada no aprendizado organizacional;
- Retenção de experiências e conhecimento;
- Envolvimento dos operadores nas ações de manutenção e conservação dos ativos devido ao maior conhecimento sobre suas funções e modos de falha;
- Organização e atualização da documentação técnica dos ativos e seus componentes.

Os resultados quantitativos, decorrentes da aplicação da GC na MCC são:

- Aumento do tempo médio entre falhas (MTBF);
- Diminuição do tempo médio para reparo (MTTR);
- Aumento da disponibilidade operacional do sistema;
- Redução do custo de manutenção;
- Redução do número de acidentes;
- Acréscimo no volume de produção.

### 3.7 CONSIDERAÇÕES E SÍNTESE DO CAPÍTULO

O conhecimento inerente às atividades de manutenção é, em geral, de natureza tácita com alto grau de diversidade e forte transferência através do relacionamento interpessoal (ORTIZ, 2004).

A GC implica em uma nova técnica aliada à gestão da manutenção que leva em conta o conhecimento organizacional para, então, alcançar um diferencial competitivo fundamentado na efetividade das atividades de manutenção.

No contexto específico, proposto neste trabalho, a teoria da GC orientará a estruturação do conhecimento dos especialistas e a explicitação do conhecimento tácito dos envolvidos no processo de implementação e auditoria da MCC. O conhecimento explicitado na metodologia proposta reflete as características da empresa e o confronto destas com as necessidades da MCC tornando-se, assim, estratégico para amenizar os fatores de insucesso que podem influenciar o processo de implantação. A engenharia do conhecimento, especificamente o *SBC-Fuzzy* desenvolvido, é utilizada neste trabalho para dar suporte e orientar a tomada de decisão durante a análise dos pré-requisitos e a auditoria do processo de implantação da MCC.

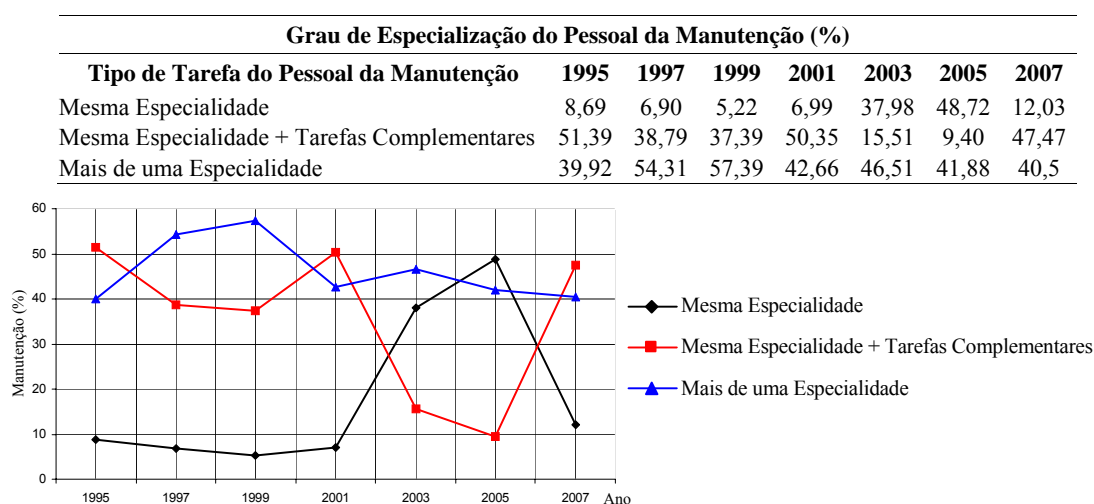
Neste capítulo foram abordados os principais conceitos relacionados a GC e de especial interesse aos objetivos deste trabalho. Elucidados os principais conceitos referentes à hierarquia do conhecimento, foram discutidos: os processos de conversão e criação do conhecimento; a importância da GC no contexto deste trabalho; a função da Engenharia do Conhecimento como suporte da GC; e como a GC pode auxiliar o processo de implantação e auditoria da MCC. As técnicas e os conceitos, intrínsecos à GC norteiam a implementação do *SBC-Fuzzy* proposto, de acordo com a finalidade exposta no Capítulo 1.

## SISTEMAS BASEADOS EM CONHECIMENTO

## 4.1 INTRODUÇÃO

Um dos propósitos deste trabalho é desenvolver um Sistema Baseado em Conhecimento *Fuzzy* (SBC-*Fuzzy*) para auxiliar o processo de implantação e auditoria da Manutenção Centrada na Confiabilidade (MCC), focado em seus fatores críticos de sucesso. Um destes fatores, o qual pode comprometer os benefícios da MCC, é o conhecimento tanto do sistema técnico quanto da melhor estratégia para implementação e auditoria. Este conhecimento, conforme abordado no Capítulo 3 é reconhecidamente heurístico, o que ratifica a necessidade e os benefícios dos SBC's.

Analisando o Documento Nacional de 2007 (ABRAMAN, 2007), é possível verificar a importância e a função estratégica dos SBC's para a gestão da manutenção nas empresas brasileiras. Esta importância pode ser concluída com a análise da Figura 4.1, a qual mostra o Grau de Especialização do Pessoal da Manutenção. Excluindo os anos de 1997 e 1999, observa-se uma forte concentração do pessoal de manutenção em tarefas de uma mesma especialidade associadas ou não à tarefas complementares, ou seja, as tarefas de manutenção estão cada vez mais a cargo de especialistas. Tal constatação enfatiza a importância dos SBC's para preservação da memória corporativa, servindo de repositório do conhecimento heurístico dos especialistas além de uma ferramenta para o treinamento de pessoal e instrumento para consolidação da Gestão do Conhecimento (GC) principalmente no que diz respeito a explicitação e disseminação.



Fonte: adaptado de ABRAMAN, 2007.

Este capítulo tratará, portanto dos aspectos relacionados à Inteligência Artificial (IA) em geral, e sua aplicação no desenvolvimento de SBC's em particular, para concepção de um sistema computacional baseado em lógica *Fuzzy* para implementação e auditoria da MCC.

## 4.2 DEFINIÇÕES E CONCEITOS

Inserido no contexto computacional, o termo Inteligência<sup>1</sup> Artificial (IA) foi introduzido pelo Dr. John McCarty, em 1956, no MIT - *Massachusetts Institute of Technology* como título da conferência de Dartmouth, New Hampshire, sobre as possibilidades de fornecer inteligência à máquina. Esta conferência foi também o primeiro encontro entre os quatro pesquisadores de IA, nos Estados Unidos, durante duas décadas: McCarthy, *et al.* (1955). Deste encontro nasceram os dois paradigmas da inteligência artificial: Simbólica e Conexionista, e uma definição de IA atribuída a John McCarthy, como sendo: o campo da Ciência da Computação que se dedica ao estudo e a modelagem da inteligência humana. Na IA Simbólica, o comportamento inteligente global é simulado, sem considerar os mecanismos responsáveis por este comportamento. Na IA Conexionista, acredita-se que construindo máquinas que imitem a estrutura do cérebro ela apresentará inteligência (ABEL, 2005).

Tentando definir IA Russell e Norvig (2004) concluíram que esta definição depende de algumas variantes, relacionadas ao processo de pensamento e raciocínio e ao comportamento. Assim, segundo Abel (2005), o estudo da IA é distribuído em três grandes áreas:

- Processamento de Linguagem Natural: permite que as pessoas interajam com o computador da maneira que estão habituadas a se comunicar, utilizando expressões da linguagem humana;
- Robótica: aliada a engenharia, busca implementar as funções de movimento, percepção e controle à máquina;
- Processamento de Conhecimento: refere-se ao armazenamento e a manipulação de conhecimento pela máquina de forma a permitir sua utilização para a resolução de problemas.

A IA permite construir sistemas para processamento simbólico, o que de muitas formas reproduz a forma como o ser humano resolve problemas. A partir dos anos 60 foram construídos sistemas para resolver problemas simbólicos complexos como solução de equações diferenciais (MACSYMA)<sup>2</sup>, ou proposição de fórmulas químicas estruturais (DENDRAL). A experiência dessa primeira fase ensinou que a qualidade de solução desses sistemas não era determinada pelos mecanismos de raciocínio neles embutidos, mas sim pelo conhecimento extraído de especialistas humanos e codificado no programa. A partir dessa constatação, parte do esforço na construção de sistemas de IA voltou-se, na segunda fase, para técnicas de extração do conhecimento de especialistas e codificação em diversos formalismos de representação. Assim nasceu a Engenharia de Conhecimento e os primeiros Sistemas Especialistas (SE's), numa alusão à origem do

---

<sup>1</sup> Etimologicamente, a palavra inteligência vem do latim *inter* (entre) e *legere* (escolher). Inteligência significa aquilo que nos permite escolher entre uma coisa e outra, objetivando eficiência.

<sup>2</sup> As descrições destes e de outros sistemas especialistas desenvolvidos nas décadas de 60 e 70 podem ser encontradas em WATERMAN, 1986, GIARRATANO e RILEY, 1998, GONZALEZ e DANKEL, 1993.

conhecimento que esses sistemas aplicavam, dos quais os representantes mais conhecidos desta época são os sistemas MYCIN que fazia diagnóstico de doenças infecciosas, e PROSPECTOR, que auxiliava na prospecção de minérios metálicos. Esses sistemas, onde o conhecimento de um indivíduo (o especialista) era representado em uma base de conhecimento para ser utilizado exclusivamente por um mecanismo de inferência, respondendo consultas, sem integração com outros sistemas, estabeleceram as bases para a engenharia de SE's que orientou a área até o final dos anos 80 e início da década de 90. Assim foram definidos os sistemas especialistas nesta fase (ABEL, 2005):

- Um programa de computador inteligente que usa conhecimento e inferência para resolver problemas que são difíceis o suficiente para requerer perícia humana significativa para sua solução (FEIGENBAUM, 1979);
- Sistema de computação que usa representação de conhecimento ou perícia humana num domínio particular de forma a executar funções semelhantes às de um Especialista Humano (EH) naquele domínio (BEYON, 1991);
- Sistemas computacionais que procuram reunir todos os elementos do processo de decisão de um EH. Estes sistemas reúnem informações especializadas sobre campos de conhecimento muito específicos (RABUSKE, 1995).

Segundo Abel (2003), uma nova revolução na Engenharia de Conhecimento aconteceu com o surgimento dos modelos administrativos de GC e das plataformas distribuídas de sistemas. O modelo tradicional de SE's restringe-se hoje a aplicações de pequeno porte. Na moderna Engenharia de Conhecimento, os SE's foram incorporados aos SBC's que têm como função, implementar um processo de solução de problemas que foi racionalizado e padronizado por uma organização, e não apenas reproduzir o conhecimento de um EH.

Para encadeamento deste trabalho, é importante diferenciar os SE's dos SBC's. Os SBC's são sistemas capazes de resolver problemas usando conhecimento específico sobre o domínio da aplicação, normalmente estão inseridos no processo de gestão de um sistema ou organização e envolvem coleta de dados e manipulação de diversos tipos de conhecimento, por exemplo: procedural, heurístico e explícito. Os SE são SBC que resolvem problemas ordinariamente resolvidos por um EH, por isso eles requerem conhecimento sobre a habilidade, a experiência e as heurísticas usadas pelo especialista, portanto seu desenvolvimento requer uma profunda interação entre o Engenheiro de Conhecimento (EC) que irá modelar e/ou desenvolver o sistema e o EH. Assim os SBC's podem ser classificados como SE quando o desenvolvimento do mesmo é voltado para aplicações nas quais o conhecimento a ser manipulado restringe-se a um domínio específico e conta com um alto grau de especialização e conhecimento heurístico e cujo funcionamento se processa de maneira isolada de outros sistemas, *stand alone* (REZENDE, 2003). A Figura 4.3 sintetiza as características destes sistemas no contexto dos Sistemas Inteligentes (SI).

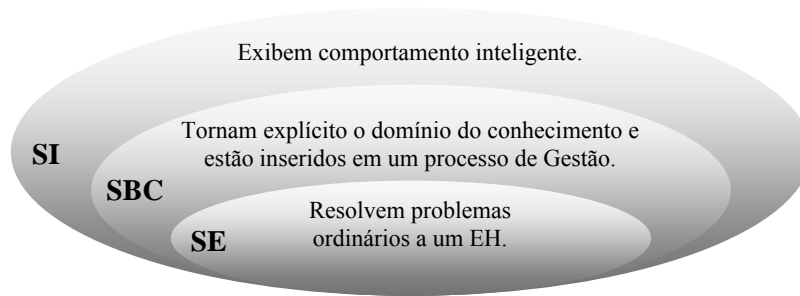


Figura 4.2 – Contextualização de SBC e SE dentro dos SI's.  
Fonte: REZENDE, 2003.

O sistema proposto neste trabalho auxilia a implantação da MCC, avaliando seus pré-requisitos e auditando suas etapas, com foco na GC. Além do conhecimento heurístico dos EH's serão utilizados no processo de inferência o conhecimento explícito de manuais e normas. Portanto, a partir deste ponto, o produto deste trabalho será tratado como um SBC. A base do SBC proposto é um SE implementado com a *shell* FuzzyClips e com uma interface desenvolvida em *Visual Basic*.

Os SE's são concebidos para reproduzir o comportamento de EH's na resolução de problemas do mundo real, mas o domínio destes problemas é restrito, porém dentro de seu domínio, o conhecimento armazenado deve estar no limite da perícia e, também, organizado de forma a facilitar a consulta de soluções por um usuário não especialista. Com estas características os SE's não somente diferem dos sistemas de informação convencionais, que apenas facilitam a obtenção e o armazenamento da informação, como também tornam-se úteis para a capacitação e o ensino (LAUDON, 2002). A Figura 4.3 ilustra a estrutura de um SE.

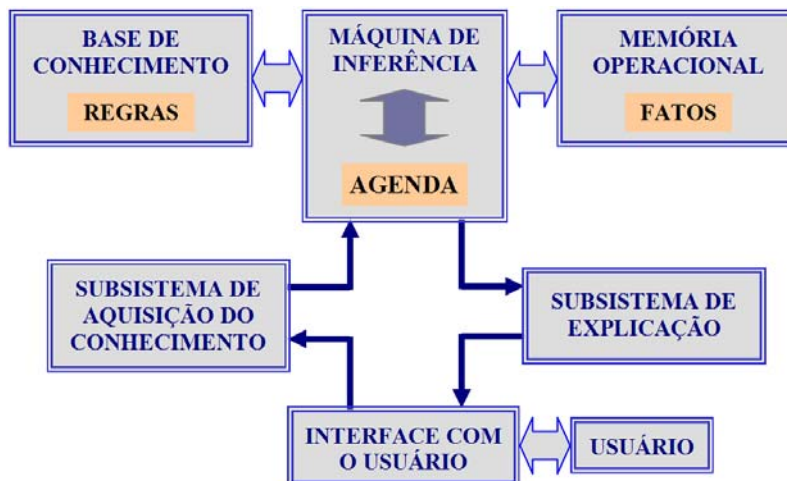


Figura 4.3 – Arquitetura de um Sistema Especialista (SE).  
Fonte: GIARRATANO e RILEY, 1998.

A base de conhecimento fornece as características funcionais do sistema. Este terá o conhecimento que for inserido na sua base de conhecimento (RIBEIRO e CUNHA, 1987). Segundo Fernandes (2003) a base de conhecimento é formada pelas regras e procedimentos que o EH utiliza na solução de problemas. Este conhecimento é modelado no sistema, com auxílio de um EH ou outras fontes, pelo EC, que o implementa de maneira própria à representação escolhida.

A memória operacional funciona como uma memória de curto prazo do sistema, pois armazena os fatos, relativos ao problema apresentado pelo usuário, durante o processo de solução do problema. Estes fatos podem ser adquiridos de diversas fontes tais como: sensores, respostas via teclado, banco de dados, ou outros programas (GIARRATANO e RILEY, 1998).

A máquina de inferência funciona como um processador cognitivo que compara os dados contidos na memória operacional com o conhecimento contido na base de conhecimento, para extrair uma conclusão (DURKIN, 1994).

A máquina de inferência é a parte do SE que realmente processa o raciocínio e o planejamento lógico. Quando a base de conhecimento é formada por regras, a máquina de inferência determina qual condicional da regra, se existir alguma, é satisfeita por fatos que estejam na memória operacional e adiciona a conclusão desta regra à memória operacional. Existem duas maneiras de implementar a inferência, o encadeamento para frente (*forward chaining*) onde se inicia com uma evidência para se chegar a uma conclusão e o encadeamento para trás (*backward chaining*) onde se inicia com uma conclusão e procura-se uma evidência que a comprove. Também é possível, em um sistema, a aplicação de ambos os métodos (FERNANDES, 2003).

A agenda é uma lista das regras priorizadas pela máquina de inferência, cujas condições são satisfeitas pelos fatos ou objetos na memória operacional (GIARRATANO e RILEY, 1998). Desta forma, a agenda armazena informações, fatos e estruturas de suporte ao funcionamento do sistema, quando este efetua raciocínios/inferências.

O subsistema de aquisição de conhecimento é utilizado para introdução ou remoção de conhecimentos da base de conhecimento (FERNANDES, 2003).

O subsistema de explicação é empregado para explicar ao usuário a linha de raciocínio que o SE utilizou para chegar à conclusão. Esta característica permite solicitar ao sistema informações adicionais, além de capacitá-lo para fins educacionais (FERNANDES, 2003).

A interface com o usuário estabelece um meio de comunicação entre o usuário e o sistema (FERNANDES, 2003).

#### 4.3 DIFERENÇAS ENTRE A ABORDAGEM ALGORÍTMICA E A HEURÍSTICA

Segundo Rezende (2003), a comunidade de IA tem atribuído algumas características específicas a um SI para classificá-lo como um SBC ou em casos mais específicos um SE. Em resumo, os SBC's devem ser capazes de:

- Questionar o usuário, usando uma linguagem de fácil entendimento, para reunir as informações de que necessita;
- Desenvolver uma linha de raciocínio a partir dessas informações e do conhecimento nele embutido para encontrar soluções satisfatórias. Para isso, o SBC pode manipular regras e informações incompletas, imprecisas e conflitantes;
- Explicar seu raciocínio, caso seja questionado pelo usuário, do porquê necessita de informações externas e de como chegou às suas conclusões. Para tanto, o sistema deve

memorizar as inferências realizadas durante o processo de raciocínio, ser capaz de interpretar esse processo e apresentá-lo de forma compreensível para o usuário do sistema;

- Assim como um EH, o SBC pode cometer erros, uma vez que sua base de conhecimento deriva do EH. Portanto é de se esperar que as soluções apresentadas, para problemas complexos, devam ser no mínimo equivalentes àquelas oferecidas pelo EH, quando este existir.

As características acima definem funcionalidades, contudo, não evidenciam as diferenças fundamentais entre um sistema convencional e um SBC. Tentando evidenciar estas diferenças Rezende (2003), esclarece que, em um SBC:

- Tudo que se sabe sobre o problema deve estar explicitamente representado na base de conhecimento do sistema;
- A base de conhecimento deve ser usada por um agente capaz de interpretá-la (em outras palavras, a representação necessita ser interpretada para possuir significado). Na terminologia de SBC's, esse agente é conhecido como o mecanismo ou máquina de inferência;
- Os problemas resolvidos por SBC's são aqueles sobre os quais não é conhecido um procedimento determinístico que garanta uma resolução efetiva (em termos de limitações de tempo e recursos). Tipicamente, esses sistemas usam conhecimento específico do domínio para contornar a exponencialidade da formulação genérica do problema e/ou a ausência de conhecimento preciso e completo sobre o seu domínio.

Os dois primeiros itens dessa definição procuram tornar clara a distinção entre SBC's e sistemas convencionais, nos quais base de conhecimento e mecanismo de inferência são freqüentemente misturados. Já o último item diferencia SBC's de sistemas nos quais há codificação explícita do conhecimento e a resolução de problemas se faz por meio de procedimentos determinísticos. A Tabela 4.2 resume, as principais diferenças entre sistemas convencionais e SBC, com base na bibliografia pesquisada.

Tabela 4.1 – Diferenças entre os Sistemas Convencionais e os SBC's.  
Fonte: GONZALEZ, 1993 - REZENDE, 2003 - WATERMAN, 1986.

<b>Característica</b>	<b>Programa Convencional</b>	<b>SBC</b>
Organização	Representa dados	Representa conhecimento
Como incorporam o conhecimento	Dados e relações entre dados	Conceitos, relações entre conceitos e regras
Técnica de execução	Tipicamente algoritmos determinísticos	Busca heurística
Forma de controle	Conhecimento embutido no código do programa	Conhecimento representado explicitamente e separado do programa que o manipula e interpreta
Explicação	Explicação do raciocínio é difícil	Podem e devem explicar seu raciocínio
Modificação	Difícil	Fácil
Informações processadas	Precisas	Com incerteza
Saída	Sempre correta	Depende do problema e da base de conhecimento
Expansão	Em saltos	Incremental



#### 4.4 PROCESSO DE DESENVOLVIMENTO DE UM SBC

Segundo Sommerville (2004), um processo de desenvolvimento de software pode ser definido como um conjunto de atividades e resultados associados, que conduzem à produção de um produto de software. São processos complexos e dependem do julgamento humano como em qualquer processo intelectual. Por essa razão, existe uma grande diversidade de processos de desenvolvimento de software, nenhum ideal, e que devem estar adequados às necessidades do desenvolvedor, incluindo a opção por utilizar processos *ad-hoc* em vez de utilizar algum processo padronizado. No entanto, em todo processo de software existem atividades fundamentais comuns como:

- Especificação: definição das funcionalidades e restrições de operação do software;
- Projeto e Implementação: concepção e codificação do software de acordo com as especificações;
- Validação: avaliação de conformidade com os requisitos;
- Evolução: modificação do software para atender as novas exigências;
- Manutenção: correção de erros de sintaxe e/ou semântica (*bug*), ampliações da capacidade e atualizações do software;

Essas atividades definem o que é chamado de ciclo de vida do software e podem ser desenvolvidas de diferentes maneiras pelo engenheiro de software ou EC no caso de um SBC. Segundo Sommerville (2004) e Pressman (2004) existem diversos modelos para desenvolvimento de software. Os mais conhecidos são:

- Modelos seqüenciais: linear ou modelo em cascata ou ainda *waterfall*;
- Modelos evolucionários: incremental e espiral;
- Modelo de desenvolvimento baseado em componentes.

Este trabalho adotará o modelo evolucionário incremental, pois nele é possível que as etapas do ciclo de desenvolvimento do SBC sejam seguidas utilizando apenas pequenas partes de conhecimento em relação à totalidade do domínio do conhecimento, permitindo retornos às etapas anteriores, caso seja constatado algum tipo de erro ou inadequação em alguma tomada de decisão sobre o projeto do SBC, seguindo assim os conceitos de Engenharia Simultânea propostos por Silva (1998). O Apêndice B deste trabalho descreve os demais modelos.

Os modelos evolucionários são modelos interativos cujo objetivo é o refinamento sucessivo do software objetivando versões cada vez mais completas a partir de aplicações sucessivas do modelo seqüencial linear. Ao final de cada interação uma versão do software é produzida e avaliada, e novos requisitos e definições são levantados para iniciar um novo ciclo. O processo é repetido até que o software esteja completo. Isto permite ciclos de realimentação com informações advindas tanto por parte do EH como dos usuários, sendo, conseqüentemente mais flexível permitindo mudanças de paradigma nas etapas do ciclo de desenvolvimento, conforme seja exigido (SOMMERVILLE, 2004 e PRESSMAN, 2004).

Uma das diferenças entre o desenvolvimento de um programa computacional convencional e um programa de SBC está na origem e quantidade de conhecimento a ser pesquisado, que para os SBC's dificilmente é totalmente conhecido mesmo para os EH's, o que dificulta a determinação do esforço total a ser despendido. Estas particularidades dos SBC's devem ser consideradas na escolha do seu modelo de desenvolvimento, sendo o incremental um bom exemplo a ser seguido (GONZALEZ e DANKEL, 1993).

Segundo Gonzalez e Dankel (1993), as etapas do ciclo de vida, no desenvolvimento de programas computacionais, utilizando o modelo incremental, podem ser seguidas conforme a Figura 4.4. O conhecimento é, portanto, dividido em pequenas partes, que em conjunto formam a base de conhecimento. Durante a formação da base de conhecimento, apesar desta não estar ainda concluída, pode-se obter uma funcionalidade parcial com algumas limitações, ao contrário dos programas convencionais que precisam estar totalmente concluídos para poderem ser utilizados e testados.

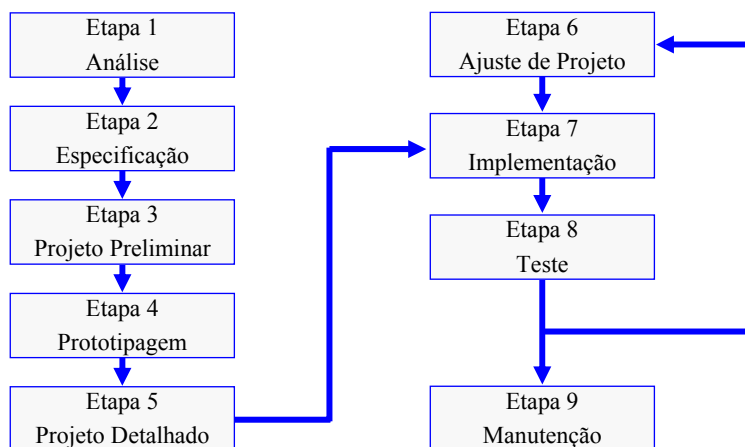


Figura 4.4 – Etapas de desenvolvimento de software utilizando o Modelo Incremental.

Fonte: GONZALES e DANKEL, 1993.

Dentro da seqüência metodológica de desenvolvimento dos SBC's, pelo modelo incremental têm-se as seguintes características de cada uma das etapas de evolução do sistema, com base na Figura 4.4 (GONZALEZ e DANKEL, 1993):

- Análise: nesta etapa são definidos o domínio do problema, que deverá ser plenamente compreendido, e a adequação da técnica de SBC para este domínio, a análise pode ser auxiliada pela Tabela 4.2. No caso específico deste trabalho o domínio da aplicação é a MCC que devido à natureza e especificidade do conhecimento envolvido satisfaz de modo pleno todos os critérios de análise propostos na referida tabela;
- Especificação: define as fronteiras do campo de aplicação e identifica as funcionalidades desejadas no SBC. Quanto às fronteiras este trabalho abrange os fatores críticos da implantação e auditoria da MCC. Quanto à funcionalidade o SBC proposto deve ponderar as características do sistema/empresa e a partir de um processo de inferência *Fuzzy* avaliar os fatores críticos que podem interferir na implantação e auditoria da MCC e propor soluções ou regras de conduta para amenizar ou eliminar estes fatores críticos;

Tabela 4.2 – Critérios para Seleção de SBC's.

Fonte: WATERMAN, 1986.

Possibilidade de Desenvolvimento	Justificativa do Desenvolvimento	Desenvolvimento do SBC é Adequado	
Todos os itens devem ser satisfeitos	Tarefa não requer senso comum	Natureza	Tarefa requer manipulação simbólica
	EH's podem articular seus métodos		Tarefa requer solução heurística
	Existem EH's		
	Há consenso entre EH's	Complexidade	Tarefa não é trivial
	Tarefa requer também habilidades heurísticas		Tarefa tem valor prático
	A tarefa é plenamente explorada e conhecida	Atuação do EH em ambiente hostil	Escopo

- Projeto Preliminar: define a maneira como o conhecimento é inserido na base de conhecimento, escolha das ferramentas computacionais e do EH ou fontes de conhecimento alternativas a serem consultadas. Neste caso a ferramenta de desenvolvimento do SBC proposto é a *shell* FuzzyClips e as fontes de conhecimento especialistas na implantação da MCC, literatura técnica e normas;
- Prototipagem Inicial: é a construção de um SBC, com limitações de robustez e abrangência de atuação, porém com possibilidade de obter conclusões limitadas a base de conhecimento inicial e as decisões tomadas na etapa de projeto preliminar. Nesta fase inicia-se a Aquisição do Conhecimento (AC), incluindo sua identificação, conceituação e formalização para posterior armazenamento na base de conhecimento. Neste ponto uma primeira versão do SBC é concebida para testes e tomadas de decisão;
- Projeto Detalhado: faz a readequação das decisões tomadas na etapa de projeto preliminar, fundamentada nos resultados da prototipagem inicial;
- Implementação: inicia-se nesta etapa o ciclo de desenvolvimento incremental. Nesta fase o conhecimento adquirido deve ser representado formalmente. Concluída a representação parte-se para o desenvolvimento da interface, documentação e geração dos manuais do SBC;
- Teste: objetiva ter o retorno do desempenho do SBC. Pode ser subdividida em: etapa de verificação realizada pelo EC, e etapa de validação conduzida pelo EH e usuários do sistema. Estas atividades são complementares e necessárias para avaliar e assegurar a qualidade do SBC. Após a avaliação das características dinâmicas do SBC o sistema é refinado, corrigindo algum conhecimento incorreto ou ausente no modelo executável;
- Ajustes de Projeto: visa realizar pequenos ajustes a partir do retomo das conclusões da etapa de teste. Após esta etapa, inicia-se um novo ciclo de implementação e teste, que é conduzido para cada parte de conhecimento a ser inserido no SBC;
- Manutenção de Software: atingidas as metas de abrangência da base de conhecimento, o SBC é finalizado, e entra na etapa de manutenção que é realizada para correções de falhas

não identificadas durante a construção do SBC e atualizações ou expansões da base de conhecimento para as novas configurações do domínio do problema.

O desenvolvimento dos SBC's inicia-se realmente após o término das etapas iniciais compreendidas entre a análise e o projeto detalhado que definem e justificam a sua aplicação, especificando os requisitos do programa computacional e projetando o SBC. Conforme as etapas de desenvolvimento incremental são percorridas, a base de conhecimento atinge a maturidade e a capacidade de resolução de problemas cada vez mais complexos e com grande amplitude de atuação. Devido a sua relevância, alguns dos componentes das etapas do ciclo de desenvolvimento do SBC serão abordados com mais detalhes nos tópicos que seguem.

#### 4.5 AQUISIÇÃO E ELICITAÇÃO DO CONHECIMENTO

Forsythie e Buchanan (1989) fazem uma diferenciação entre Aquisição e Elicitação ou Extração do Conhecimento definindo que: a AC está relacionada com a coleta das informações a partir de um ou mais especialistas ou através de outras fontes de conhecimento (livros, documentos, normas, etc...) até a sua codificação de forma computacional, enquanto que a Elicitação ou Extração do Conhecimento diz respeito às várias técnicas utilizadas na etapa de AC (entrevistas, *teachback*<sup>3</sup>, análise de protocolo, etc...), Rezende (2003), também alerta que, estes termos não são sinônimos de AC, mas sim um processo de interação entre um agente humano responsável por construir o SBC, chamado de Engenheiro de Conhecimento (EC) e a fonte humana de conhecimento (o Especialista). Entre as definições do termo Aquisição do Conhecimento (AC), na literatura, têm-se:

- Transferência e transformação da habilidade ou perícia para resolver problemas contidos em alguma fonte de conhecimento para um programa computacional (GENARO, 1986);
- Processo de dispor, codificar e esmerar o conhecimento, o que pode requerer entrevistas com especialistas, consultas a uma biblioteca ou introspecção. A pessoa que empreende a AC deve converter o conhecimento adquirido de maneira que possa ser utilizado por um programa de computador (HARMON, 1988).

A AC é referenciada por vários autores como um dos maiores obstáculos na construção de SBC's (GENARO, 1986; HART, 1992; GIARRATANO e RILEY, 1998; REZENDE, 2003). Vários são os problemas que tornam a AC uma tarefa difícil. Existe a incompatibilidade de níveis entre seres humanos e máquinas, ou seja, as máquinas exigem que o conhecimento seja expresso explicitamente, porém, nem sempre o especialista está consciente da estrutura do seu próprio conhecimento de maneira detalhada para que a máquina possa raciocinar (CLEAL, 1988). Outra questão é a diferença que existe entre as regras que os especialistas declaram e as regras utilizadas na prática quando resolvem um problema (HART, 1992).

---

<sup>3</sup> A entrevista "*teachback*" consiste de uma conversação entre entrevistador e entrevistado até chegarem a um consenso sobre o pensamento do entrevistado (ALIBERAS *et al*, 1996).

Para tornar mais efetivo o processo de AC, várias técnicas têm sido desenvolvidas para a etapa de elicitación. Elas podem ser classificadas como manuais, semi-automáticas e automáticas. Nas técnicas manuais, o EC é responsável por elicitar o conhecimento do especialista ou de outras fontes e depois codificá-lo em uma base de conhecimento. Contudo, os problemas de comunicação entre o grande número de agentes humanos envolvidos na tarefa (especialistas, EC e programadores) acabam por introduzir ruídos semânticos no processo que podem comprometer a qualidade da base de conhecimento. Uma alternativa que objetiva minimizar esses problemas é a elicitación automática ou semi-automática, na qual se usa uma ferramenta computacional para auxiliar o EC, ou o próprio especialista, a construir a base de conhecimento. Com o uso dessas ferramentas, além de reduzir o número de agentes humanos envolvidos e, por conseqüência, os seus problemas de comunicação, torna-se mais rápido o processo de construção da base de conhecimento. Isto, facilita para o EC ou especialista obter respostas a respeito do comportamento do sistema e identificar possíveis inadequações. Basicamente, as ferramentas de elicitación do conhecimento baseiam-se em algum tipo de conhecimento ou técnica preexistente para apoiar o processo de aquisição (REZENDE, 2003).

#### 4.5.1 Técnicas Manuais para Elicitación do Conhecimento

Este item apresenta as técnicas manuais de elicitación do conhecimento utilizadas neste trabalho. O Apêndice B mostra outras técnicas, que também foram estudadas. Segundo Rezende (2003) as técnicas manuais de elicitación do conhecimento podem ser classificadas e caracterizadas como segue:

##### a) Baseadas em Descrições

Esta abordagem exige que o EC estude e analise os textos de referência do domínio e produza a base de conhecimento a partir deles. Existem vários problemas com esta abordagem, tais como: inexistência de referências homologadas em um domínio e a necessidade de formação específica para entender os textos de referência.

##### b) Baseadas em Entrevistas

Envolvem um diálogo direto entre o EC e os especialistas. Esta abordagem não dispensa a investigação bibliográfica, mas a utiliza para criar uma linguagem de senso comum entre especialista e o EC. Existem diferentes tipos de entrevistas que podem ser utilizadas:

##### b1) Entrevistas Não-Estruturadas

Devem ser feitas na fase de identificação, na qual o escopo e o foco da aplicação são determinados. São conduzidas informalmente, economizando tempo e possibilitando ao EC conhecer

mais rapidamente a estrutura do domínio do problema. Por outro lado, segundo Rezende (2003), dificilmente oferecem uma descrição completa e bem organizada do processo cognitivo do especialista. Os produtos esperados das entrevistas não-estruturadas são o escopo, a lista de referências e um glossário inicial.

### b2) Entrevista Estruturada

Identifica os elementos e as relações do domínio. É feita na fase de Prototipagem Inicial, na qual é formulada a descrição do domínio. Esta abordagem se fundamenta em um processo sistemático orientado a um objetivo que leva a uma comunicação organizada entre o EH e o EC. Isso ajuda a evitar distorções decorrentes da subjetividade. As seguintes recomendações gerais podem ser seguidas pelo entrevistador:

- Estudar o material disponível a respeito do assunto para fazer questionamentos que sejam relevantes;
- Revisar as tarefas que o SBC terá de realizar;
- Escalonar formalmente e planejar a entrevista, usando formulários;
- Elaborar algumas amostras de perguntas antes da entrevista;
- Conscientizar o especialista dos objetivos e propósitos das entrevistas e instruí-lo a se preparar com antecedência.

As entrevistas estruturadas têm a desvantagem de poder produzir resultados influenciados pelo entrevistador e, portanto, devem ser planejadas e revistas cuidadosamente. Os produtos esperados das entrevistas estruturadas são: um glossário robusto, um conjunto de casos a serem estudados e uma descrição da tarefa, do domínio, e das limitações.

### b3) Acompanhamento de Casos

Feito o modelo de conhecimento a partir da análise do material das entrevistas e das referências, alguns casos devem ser verificados e falhas na descrição do conhecimento, detectadas. Esse processo de detecção de falhas e incompletudes no modelo, é realizado junto com o especialista em entrevistas focadas em informações para preenchimento do modelo.

### c) Teachback

*Teachback* é uma técnica utilizada para validar o conhecimento. Nesta técnica o EC explica alguns conceitos da área ou faz a simulação de tarefas de uma área particular do conhecimento. A técnica permite ao especialista acompanhar o raciocínio do EC sobre um determinado assunto. Deve ser utilizada logo após as técnicas de entrevistas.

#### d) Técnica *Delphi*

*Delphi* é o nome dado para um conjunto de procedimentos para elicitare e refinar a opinião de um grupo de pessoas, tipicamente um painel de especialistas, e foi desenvolvida por Norman C. Dalkey e colaboradores na Rand Corporation (DALKEY, 1967). De maneira geral, o método para aplicação da técnica *Delphi* consiste em: obter as respostas de cada participante às questões pré-elaboradas, por meio de questionários ou outra forma de comunicação formalizada; fazer iterações (uma ou mais) desses questionários, onde as informações colhidas em cada rodada são controladas e resumidas pelo mediador e realimentada junto ao próximo questionário; e adotar como a resposta do grupo uma estatística representativa das respostas finais (DALKEY, BROWN e COCHRAN, 1969). O Apêndice B mostra mais detalhes da Técnica *Delphi*.

#### 4.5.2 Técnicas Automatizadas para Elicitação de Conhecimento

Diferente das técnicas manuais de elicitação de conhecimento, que são altamente dependentes da interação do EC com o especialista, e portanto, sujeitas a ruídos semânticos, existem também, abordagens semi-automáticas e automáticas que oferecem parte ou toda a tarefa de aquisição já implementada. Algumas abordagens são específicas do domínio e outras são específicas da tarefa. Algumas enfatizam a interação com o EH, baseando-se em processos psicológicos de elicitação do conhecimento. Outras enfatizam o reuso de componentes de conhecimento disponíveis em bibliotecas, tais como ontologias e métodos de resolução de problemas (REZENDE, 2003).

O Apêndice B mostra algumas das técnicas automatizadas de uso corrente para a concepção de SBC's. Os próximos parágrafos mostram a técnica semi-automática baseada no reuso da representação e dos mecanismos de inferência, a qual foi utilizada neste trabalho.

As primeiras ferramentas semi-automáticas de AC surgiram a partir da constatação de que a forma de representação e o mecanismo de inferência, utilizados por um determinado SBC poderiam ser reusados em aplicações similares em outros domínios. Por serem produzidas a partir de abstrações sobre SBC's já existentes, essas ferramentas ficaram conhecidas como *shells* para SBC's. As *shells* evoluíram a ponto de conterem mecanismos de busca e diversas formas de representação do conhecimento prontas para serem configuradas. Com isso, o EC pode focar mais na tarefa de modelagem e desvincular-se significativamente do esforço de implementação do mecanismo de inferência atividade que antes do desenvolvimento das *shells*, consumia um tempo significativo, porém indispensável para a etapa de representação do conhecimento (REZENDE, 2003).

Este trabalho utilizou a *shell* FuzzyClips para construção do SBC proposto. Esta decisão reduziu consideravelmente o tempo de desenvolvimento do SBC permitindo uma passagem direta da aquisição para a representação do conhecimento.

#### 4.5.3 Considerações sobre Aquisição de Conhecimento (AC)

Segundo Rezende (2003) embora as ferramentas de aquisição semi-automáticas e automáticas tenham suavizado o processo de AC, elas não eliminaram a dependência do EC. De fato, ainda não existe uma ferramenta que tenha sido usada em escala comercial diretamente com especialistas. Neste sentido, as abordagens automáticas vêm recebendo grande força, dado seu potencial de investigação de registros existentes em larga escala e da liberação do EC.

As técnicas de elicitação do conhecimento não são mutuamente exclusivas, porém ainda falta definir um mapeamento entre as diversas técnicas desenvolvidas e como elas podem ser integradas para resolver os diferentes problemas de aquisição. Algumas metodologias traduzem automaticamente o modelo de conhecimento para alguma linguagem de representação de conhecimento, por exemplo, o Protege-II gera regras de produção para a *shell* CLIPS e JESS – *Java Expert System Shell* (REZENDE, 2003).

A área de AC também não se encontra plenamente estabilizada. No estágio atual, não foi estabelecido um consenso sobre o ciclo de vida para o processo de AC com a definição de etapas, dos produtos resultantes de cada etapa e dos métodos a serem utilizados em cada uma delas (RUSSELL e NORVIG, 2004).

Neste trabalho a AC, para desenvolvimento do SBC-*Fuzzy*, não ficou restrita a um único tipo ou fonte de conhecimento, foi incluído: conhecimento heurístico de EH's (especialistas na implantação da MCC), conhecimento procedural ou explícito de tabelas, diagramas, fluxogramas, normas e livros. Os Capítulos 5 e 6 mostram mais detalhes do processo de AC utilizado.

#### 4.6 REPRESENTAÇÃO DO CONHECIMENTO (RC)

A Representação do Conhecimento (RC) pode ser entendida como uma forma sistemática de estruturar e codificar o que se sabe sobre uma determinada aplicação. Do ponto de vista da estrutura de representação, o conhecimento pode ser considerado um conjunto de fragmentos que são acessados pelo processo de inferência. A adequação heurística da estrutura de RC pode ser analisada sob dois aspectos: em relação às propriedades dos fragmentos e em relação às propriedades da estrutura (FERNANDES, 2003). Quanto à codificação, ao contrário de uma codificação qualquer ou procedural, uma RC deve apresentar as seguintes características (BITTENCOURT, 2001):

- Ser compreensível ao ser humano, pois caso seja necessário avaliar o estado de conhecimento do sistema, a RC deve permitir a sua interpretação;
- Abstrair-se dos detalhes de como funciona internamente o processador de conhecimento que a interpretará;
- Ser robusta, isto é, permitir sua utilização mesmo que não aborde todas as situações possíveis;



- Ser generalizável, ao contrário do conhecimento em si que é individual. Uma representação necessita de vários pontos de vista do mesmo conhecimento, de modo que possa ser atribuída a diversas situações e interpretações.

Como propriedades dos fragmentos de conhecimento, cita-se (BITTENCOURT, 2001):

- Granularidade ou nível de detalhe do fragmento;
- Disponibilidade, pois os fragmentos do conhecimento podem ser explicitamente representados ou não. Exemplos de conhecimento implícito são as heranças na programação que utilizam modelagem orientada a objetos;
- Credibilidade que está associada ao grau de certeza destes fragmentos.

Como propriedade da estrutura, cita-se (BITTENCOURT, 2001):

- Modularidade que vai mostrar o quão fácil é adicionar ou modificar os fragmentos de conhecimento.

Existem várias técnicas de RC e para avaliar essas técnicas existem alguns critérios, dos quais os principais são (RICH, 1993):

- Adequação Lógica: observa se o formalismo usado é capaz de expressar o conhecimento do domínio que se deseja representar;
- Conveniência Notacional: verifica as convenções da linguagem de representação. Se essas forem muito complicadas, a tarefa de codificação torna-se extremamente complexa;
- Adequação Inferencial: capacidade de manipular as estruturas representacionais de modo a derivar novas estruturas que correspondam a novos conhecimentos, inferidos a partir de conhecimento antigos;
- Eficácia Inferencial: capacidade de incorporar à estrutura de conhecimento informações adicionais que podem ser utilizadas para focalizar a atenção dos mecanismos de inferência nas direções mais promissoras;
- Eficácia Aquisitiva: capacidade de adquirir um novo conhecimento de maneira facilitada. O caso mais simples envolve a inserção direta, por um EH, na base de conhecimento. Idealmente o próprio programa deveria ser capaz de controlar a AC diretamente do EH.

A RC é um dos problemas cruciais de IA, pois não existe uma teoria geral de RC. Entretanto, se nenhum bom mapeamento puder ser definido a partir de um problema, então não importa a competência do programa para solucionar problemas, ele não será capaz de produzir respostas que correspondam as respostas reais para o problema. (RICH, 1993).

Muitas técnicas de RC têm sido estudadas pelos pesquisadores de IA. Nos itens seguintes são apresentadas as técnicas de RC utilizadas neste trabalho. No Apêndice B são mostradas outras técnicas de RC que foram estudadas durante a pesquisa bibliográfica para embasamento teórico deste trabalho.

### a) Regras de Produção

Os primeiros SBC's foram sistemas baseados em regras. Esses sistemas se inspiraram na idéia que o processo de tomada de decisão humano poderia ser modelado por meio de regras do tipo { SE <Condições> ENTÃO <Conclusões> FACA <Ações> }. Portanto, as regras podem expressar relacionamentos lógicos e equivalências de definições para simular o raciocínio humano (REZENDE, 2003).

A parte SE de uma regra é uma lista de condições a serem satisfeitas, a parte ENTÃO é uma lista de conclusões e FACA são as ações a serem executadas. Cada uma das condições da lista é verificada, e se todas forem satisfeitas, as conclusões são consideradas verdadeiras e as ações serão executadas. Assim como outros esquemas de representação, as regras podem ser usadas para justificar a conduta do sistema na busca da solução. Entre várias alternativas de RC, as regras constituem uma forma natural de representar o conhecimento de um EH (REZENDE, 2003).

As grandes vantagens da regra são a naturalidade e a uniformidade. A regra é natural, pois é a forma de representação que as pessoas e especialistas normalmente empregam no dia a dia, o que as tomam fáceis de serem entendidas. Uniformes porque normalmente as regras são escritas segundo um padrão, na forma de pares de expressão consistindo em uma condição e uma ação. Como desvantagem tem-se a dificuldade de compreensão do fluxo de informações em um SBC. Esta dificuldade pode ser contornada em algumas situações onde é possível separar as regras em grupos (RICH, 1993).

### b) Orientação a Objetos

Segundo Rezende (2003), a orientação a objetos reúne características tanto das redes semânticas quanto dos frames. Entretanto, neste trabalho, o estudo de frames e redes semânticas, mostradas no Apêndice B, têm caráter eminentemente histórico e didático, visto que os SBC's contemporâneos vêm utilizando orientação a objetos em vez destas técnicas. Na orientação a objetos a estratégia principal é representar o conhecimento como conjuntos completos de objetos com comportamentos. Os objetos são definidos em classes hierarquicamente estruturadas, de modo que níveis inferiores na estrutura acessam atributos e relacionamentos de níveis superiores (REZENDE, 2003). A potencialidade da representação orientada a objeto está relacionada com propriedades como abstração, encapsulamento, herança e polimorfismo, caracterizadas a seguir (GONZALEZ e DANKEL, 1993):

- Abstração: ignora aspectos de algumas entidades, concentrando-se naqueles aspectos mais relevantes para a resolução do problema corrente;
- Encapsulamento: separação dos aspectos externos de um objeto, acessíveis por outros, dos detalhes internos da implementação que ficam ocultos dos demais. É usado no

desenvolvimento de uma estrutura global de programas, onde cada parte do programa deve conter tarefas específicas, revelando tão pouco quanto possível, os detalhes internos;

- Herança: permite expressar características comuns possuídas por uma coleção de diferentes classes de objetos em uma só vez;
- Polimorfismo: permite que uma mesma mensagem seja respondida por diferentes classes de maneira própria de cada classe. Onde mensagem é uma solicitação ou comando enviado por um objeto emissor para um objeto receptor para realização de um serviço ou processamento;

A flexibilidade na descrição é o ponto mais forte desta técnica de representação. Um conjunto básico de objetos pode ser estabelecido e então ser utilizado na implementação de vários sistemas através de modificações, de acordo com cada situação (REZENDE, 2003).

### c) Orientação a Objetos Associada a Regras de Produção

A orientação a objetos oferece uma representação estrutural concisa de relações estáticas, mas não oferece facilidades diretas para descrever declarativamente como o conhecimento armazenado deve ser utilizado. Essa deficiência da representação orientada a objetos pode ser tratada com sucesso por meio do uso de regras de produção. Por isso, está cada vez mais difundido o uso de regras de produção combinadas com orientação a objetos, de maneira a explorar as vantagens que as duas representações oferecem (REZENDE, 2003).

Segundo Rezende (2003), enquanto a orientação a objetos oferece uma forma rica, simples e natural para expressar os objetos do domínio, suas relações e a forma de comportamento, as regras de produção oferecem um meio simples e natural de expressar o processo de raciocínio do sistema.

#### 4.6.1 Considerações sobre Representação de Conhecimento (RC)

A RC consiste nos caminhos que podem ser trilhados para codificar o conhecimento em um programa computacional. A bibliografia estudada revela que, a técnica de RC mais adequada depende do tipo do problema e da área na qual o SBC está sendo usado, não havendo uma regra geral de representação que atenda a todas as situações.

Entretanto cabe ressaltar que, sistemas baseados em um único formalismo de RC (em particular regras de produção) limitam o tipo de informação que pode ser representado e tendem a ficarem ineficientes à medida que cresce a quantidade e os tipos de informações que precisam ser armazenadas. Assim, SBC's híbridos podem ser encarados como uma solução adequada, pois combinam as vantagens dos formalismos por eles utilizados.

Neste trabalho se utilizou a orientação a objetos associada a regras de produção, com auxílio da *shell* FuzzyClips, os Capítulos 5 e 6 mostram mais detalhes deste processo.

#### 4.7 VERIFICAÇÃO E VALIDAÇÃO DE SBC

Segundo Gonzalez e Dankel (1993), os termos verificação e validação estão relacionados à qualidade de software. Neste sentido Smith e Kandel (1993) afirmam que a maioria das exigências para um software convencional definidas na ISO/IEC 9126 ou na NBR 13596, aplica-se também aos SBC's, principalmente no tocante à interface com o usuário e à máquina de inferência, que podem ser tratados como softwares convencionais. Entretanto, muitos aspectos da qualidade do software, presentes nas referidas normas, não foram especificados para SBC's. Um aspecto único dos SBC's é a capacidade de emular um EH. Assim, uma especificação da qualidade para os SBC's é a habilidade do SBC de equiparar-se ao desempenho de um EH. Uma outra característica original dos SBC's é a separação do conhecimento e do controle, onde: o conhecimento reside na base de conhecimento e o controle na máquina de inferência. A máquina de inferência pode ser considerada um software algorítmico, portanto, as definições da qualidade para o software convencional se aplicam a ela. Já a base de conhecimento não segue o mesmo raciocínio, de fato, a qualidade de um SBC é igualada freqüentemente com a qualidade do conhecimento armazenado na base de conhecimento.

A verificação examina o cumprimento do SBC aos requisitos de projeto, verificando se o que o mesmo executa está de acordo com as especificações do sistema. As atividades de verificação são executadas normalmente pelo EC, e envolvem os seguintes itens (GIARRATANO e RILEY, 1998):

- Verificar se o adequado paradigma de RC foi implementado e se o mesmo está livre de erros de semântica;
- Verificar a funcionalidade da tomada de decisão do SBC, examinando a máquina de inferência e o processo de raciocínio do sistema, avaliando não somente a conformidade dos resultados intermediários e finais, mas também se o SBC está usando o processo correto de encadeamento ao determinar os resultados corretos;
- O projeto e a implementação foram modulares;
- O sistema tem uma interface apropriada com outros sistemas;
- A interface do usuário corresponde às especificações;
- A forma de explicação foi apropriada ao usuário;
- Os requisitos de tempo de execução do sistema foram satisfeitos;
- O sistema tem manutenção conforme o grau especificado;
- O sistema satisfaz as especificações de segurança;
- Foram adotadas medidas de segurança para proteger que a base de conhecimento seja modificada sem autorização;
- Verificar as regras quanto aos erros de sintaxe, e neste caso investigar:
  - Regras Redundantes: duas regras são redundantes se elas possuem premissas idênticas e levam a conclusões idênticas sintaticamente ou em significado;

- Regras Conflitantes: quando a premissa de duas regras é idêntica, porém suas conclusões são conflitantes;
- Regras Incluídas: uma regra é incluída por outra se esta tem mais restrições condicionais para conclusões idênticas;
- Regras Circulares: conjunto de regras que apresentam um encadeamento entre si formando *loops*;
- Condicionais Desnecessárias: quando duas regras com conclusões idênticas têm quase as mesmas premissas;
- Regra sem Saída (*Dead end Rules*): no encadeamento direto, estas são regras cujas ações não afetam qualquer conclusão e não são usadas por outras regras para gerar outras conclusões;
- Regras "Perdidas": são caracterizadas por fatos que não são usados no processo de inferência, conclusões não afetadas por qualquer outra regra ou função, ou falhas em cobrir todos os possíveis valores das entradas;
- Regras Inatingíveis: no sistema de encadeamento direto, este tipo de regra indica que suas premissas jamais serão satisfeitas, ou pela ausência de certas regras ou pela falta de dados de entrada. Isto é equivalente a uma "regra sem-saída" no sistema de encadeamento reverso.

Segundo Smith e Kandel (1993) a verificação é realizada utilizando-se a análise estática e dinâmica. A análise estática não envolve a execução do SBC, e é utilizada, por exemplo, para verificar a base de conhecimento, manualmente ou utilizando alguma ferramenta automática, a fim determinar a exatidão, consistência e a integralidade do conhecimento. A análise dinâmica envolve a execução do SBC, e é utilizada, por exemplo, para determinar se o SBC está produzindo as respostas corretas e se está usando o processo correto de inferência.

A validação determina a eficácia do sistema final com relação às necessidades do usuário final e ao mesmo tempo avalia se o SBC executa a tarefa desejada com um nível suficiente de perícia. A validação analisa as exigências explícitas e implícitas do sistema. As exigências explícitas são aquelas definidas na fase de planejamento e especificação do SBC, e que necessitam ser confirmadas e testadas. Nesta etapa valem os preceitos das normas para softwares convencionais ISO/IEC 9126 ou NBR 13596. As exigências implícitas analisam a habilidade do SBC se equiparar a um EH na resolução de suas tarefas, estas características são únicas dos SBC's e não são válidos os preceitos das normas para softwares convencionais. Nesta etapa, utilizando-se da análise dinâmica, as respostas do SBC são confrontadas com as respostas do EH ou com soluções de casos anteriores, buscando ratificar a acurácia do SBC (SMITH e KANDEL, 1993).

O processo de verificação e validação do SBC-*Fuzzy* desenvolvido neste trabalho está detalhado no Capítulo 8.

## 4.8 TRATAMENTO DE INCERTEZAS

O tratamento de incertezas se justifica nos estudos de SBC's, pois os domínios adequados à sua implementação se caracterizam exatamente por não serem modelados por nenhuma teoria geral, o que implica em descrições incompletas, inexatas ou incertas (FERNANDES, 2003).

As fontes de incerteza possíveis em um SBC podem ser causadas por problemas nos dados, por exemplo: dados ausentes ou não disponíveis, dados disponíveis porém não confiáveis ou ambíguos, a representação dos dados pode ser imprecisa ou inconsistente, os dados podem ser baseados em valores *default* e tais valores podem ter exceções ou os dados podem apenas representar a melhor suposição do EH, baseado em associações plausíveis ou estatísticas que o EH observou, podendo não ser apropriado em todas as situações. Além dos dados de entrada, a incerteza pode estar presente na solução do problema ou em ambos (GONZALEZ e DANKEL, 1993).

Considerando estas várias fontes de erro, a maioria dos SBC's requer a incorporação de alguma forma de representação de incerteza nas entradas e no processo de inferência quando aplicado a domínios com a presença de incerteza. Ao se implementar uma técnica para tratamento de incerteza, devem-se considerar três questões principais (GONZALEZ e DANKEL, 1993):

- Como representar dados incertos;
- Como combinar dois ou mais dados incertos;
- Como gerar inferência usando-se dados incertos.

Existem, basicamente, dois métodos de representação de incertezas: o simbólico e o numérico. O método simbólico trata incertezas através de regras de inferência que representam as exceções no raciocínio do EH e, portanto é viável para trabalhar com uma pequena quantidade de exceções. Os métodos numéricos atribuem aos fatos e regras uma medida numérica que represente de alguma forma a “confiança” do especialista. Uma característica freqüente desses métodos é a existência de um limite mínimo para a medida de incerteza, abaixo do qual o fato ou regra é desconsiderado. Este limite pode, em geral, ser fixado pelo usuário (NASSAR, 2004).

### 4.8.1 Tratamento das Incertezas do Processo de Implantação da MCC

Este trabalho utiliza, para representação da incerteza, métodos numéricos fundamentados na Teoria dos Conjuntos Difusos (*Fuzzy Set*), uma vez que, a incerteza presente na estruturação do conhecimento inerente à implementação e auditoria da MCC é por imprecisão ou de natureza léxica. Outras razões que justificam esta escolha são:

- A comunicação com o usuário deve ser a mais apropriada e natural possível para refletir os termos e incertezas do processo de implantação da MCC. Isto sugere a utilização de variáveis linguísticas, as quais, podem ser formalmente tratadas com a lógica *Fuzzy*,

- A base de conhecimento de um SBC é um repositório de conhecimento humano e, sendo este impreciso por natureza, é comum a presença de incompletudes tanto nas regras quanto nos fatos. Os conjuntos *Fuzzy* representam uma maneira formal e coerente para tratar estas incompletudes do conhecimento humano;
- A incerteza da informação na base de conhecimento requer que a máquina de inferência disponha de ferramentas para tratamento desta incerteza. Este tratamento deve transmitir a incerteza das premissas para as conclusões e associar às conclusões alguma medida de incerteza apropriada e compreensível pelo usuário. A lógica *Fuzzy* e mais especificamente a *shellFuzzyClips*, adotada neste trabalho, permitem este tratamento;
- Ao contrário da lógica clássica, onde uma proposição só pode assumir o valor Verdadeiro (1) ou Falso (0), na lógica *Fuzzy* existem também valores intermediários de verdade dentro de um conjunto finito ou infinito entre 0 e 1. Este conceito está mais próximo do processo decisório humano.

Os próximos itens apresentam os conceitos da lógica *Fuzzy*, os quais subsidiaram o SBC-*Fuzzy* desenvolvido.

#### 4.9 LÓGICA FUZZY

A expressão lógica *Fuzzy* foi mencionada pela primeira vez em 1965 pelo engenheiro eletrônico Lotfi Asker Zadeh, professor de Teoria dos Sistemas na Universidade de Berkeley que desenvolveu, na década de 60, a Teoria dos Conjuntos *Fuzzy* e na década de 70 propôs sua extensão com o conceito de Variável Lingüística (CAMPOS, 2004).

A lógica *Fuzzy* representa a incerteza por imprecisão, isto é trabalha com conjuntos com limites imprecisos. Sendo uma extensão da lógica clássica, a lógica *Fuzzy* é utilizada para representar termos lingüisticamente imprecisos (Ex.: ruim, bom, ótimo). Na lógica clássica, com base na teoria clássica dos conjuntos, um elemento pertence ou não ao conjunto, enquanto, na lógica *Fuzzy* um elemento possui um grau de pertinência ao conjunto, que varia de 0 a 1, este grau é obtido por meio da função de pertinência que representa o conjunto (NASSAR, 2004).

##### 4.9.1 Conjuntos *Fuzzy* – Definições

Na teoria clássica dos conjuntos, se um elemento  $x$  do universo de discurso  $U$ , pertence a um dado conjunto  $A$ , então este elemento satisfaz um predicado associado a este conjunto. Pode-se então definir este conjunto por meio de uma função, chamada de função característica, mapeada por  $\gamma_A(x): U \rightarrow \{0,1\}$  que associa a cada elemento do universo de discurso  $U$  um binário:

$$\gamma_A(x) = \begin{cases} 1 & \text{se } x \in A \\ 0 & \text{se } x \notin A \end{cases} \quad 4.1$$

A propriedade fundamental da lógica *Fuzzy*, proposta por Zadeh, tem uma caracterização mais ampla, generalizando a função característica de modo que ela pode assumir um número infinito de valores no intervalo  $\{0,1\}$ . Um conjunto *Fuzzy* é completamente caracterizado por seu vetor de pertinência, com os graus de pertinência individuais multivalentes dentro do intervalo numérico  $\{0,1\}$ . Esses graus de pertinências podem ser considerados como medidas que expressam a possibilidade de um dado elemento ser membro de um conjunto *Fuzzy*.

Se  $U$  é o universo que contém os elementos denotados genericamente por  $x$ , então o conjunto *Fuzzy*  $A$  em  $U$ , é o conjunto de pares ordenados:

$$A = \{\mu_A(x), x\}, \forall x \in U \quad 4.2$$

Onde:  $\mu_A(x)$  é uma função real, dita função de pertinência, mapeada por  $\mu_A(x): U \rightarrow [0,1]$ , que associa a cada  $x \in U$  um número real  $\mu_A(x)$ , no intervalo  $[0,1]$ . Este número real representa o grau de pertinência de  $x$  em  $A$ .

A seguinte terminologia descreve um conjunto *Fuzzy* (Figura 4.5):

- Núcleo: região do universo de discurso caracterizada por ter uma pertinência total ao conjunto *Fuzzy*,  $\mu(x) = 1, \forall x \in \text{Núcleo}$ .
- Suporte: região do universo de discurso caracterizada por ter uma pertinência ao conjunto *Fuzzy* diferente de zero,  $\mu(x) \neq 0, \forall x \in \text{Suporte}$ .
- Limite: região do universo de discurso caracterizada por ter uma pertinência ao conjunto *Fuzzy* entre 0 e 1,  $0 < \mu(x) < 1, \forall x \in \text{Limite}$ .

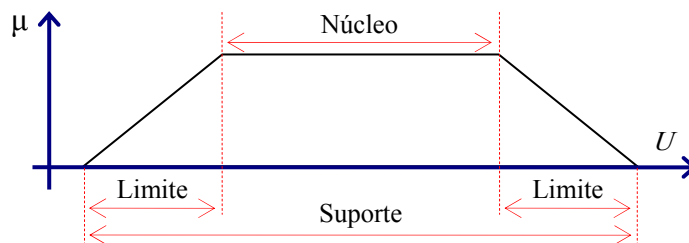


Figura 4.5 – Núcleo, Suporte e Limites de um Conjunto *Fuzzy*.

Sejam  $A$  e  $B$  conjuntos *Fuzzy* em um universo  $U$ , então  $\forall x \in U$ :

- $A$  é um conjunto vazio  $A = \Phi$ , se e somente se  $\mu_A(x) = 0$ ;
- $\bar{A}$  é um conjunto complemento de  $A$ , se e somente se  $\mu_{\bar{A}}(x) = 1 - \mu_A(x), \forall x \in U$ ;
- Os conjuntos  $A$  e  $B$  são iguais ( $A = B$ ), se e somente se  $\mu_A(x) = \mu_B(x)$ ;
- O conjunto  $A$  é um subconjunto de  $B$  ( $A \subset B$ ), se e somente se  $\mu_A(x) < \mu_B(x)$ .

Um subconjunto de um conjunto *Fuzzy*  $A$  de pontos  $x$  de  $U$  tal que  $\mu_A(x) > 0$  é denominado de conjunto suporte,  $S(A)$ , do conjunto *Fuzzy*  $A$ . Um conjunto *Fuzzy* cujo conjunto



suporte é um único ponto  $x$  de  $U$  com  $\mu_A(x) = 1$  é chamado de conjunto Unitário *Fuzzy* ou Singular (*Singleton*).

Dado um conjunto *Fuzzy*  $A$  definido em  $U$  e qualquer número  $\alpha \in [0,1]$ , o  $\alpha$ -cut  $A(\alpha)$  e o  $\alpha$ -cut-forte  $A(\alpha+)$  são os conjuntos clássicos (*crisp*) definidos da seguinte forma:

$$\begin{aligned} A(\alpha) &= \{x \mid A(x) \geq \alpha\} \\ A(\alpha+) &= \{x \mid A(x) > \alpha\} \end{aligned} \quad 4.3$$

#### 4.9.2 Propriedades dos Conjuntos *Fuzzy*

Sendo  $A$ ,  $B$  e  $C$  conjuntos *Fuzzy* do universo de discurso  $U$ , as propriedades, mostradas na Tabela 4.3 são válidas:

Tabela 4.3 – Propriedades dos Conjuntos *Fuzzy*.  
Fonte: REZENDE, 2003.

Propriedade Comutativa	$A \cup B = B \cup A$ e $A \cap B = B \cap A$
Propriedade Associativa	$(A \cup B) \cup C = A \cup (B \cup C)$ e $(A \cap B) \cap C = A \cap (B \cap C)$
Idempotência	$A \cup A = A$ e $A \cap A = A$
Distributividade em relação à União	$A \cup (B \cap C) = (A \cup B) \cap (A \cup C)$
Distributividade em relação à Intersecção	$A \cap (B \cup C) = (A \cap B) \cup (A \cap C)$
Conjunto <i>Fuzzy</i> e seu Complemento	$A \cup \bar{A} = U$ e $A \cap \bar{A} = \varnothing$
Conjunto <i>Fuzzy</i> e o Conjunto Nulo	$A \cup \varnothing = A$ e $A \cap \varnothing = \varnothing$
Conjunto <i>Fuzzy</i> e o Conjunto Universo	$A \cup U = U$ e $A \cap U = A$
Involução	$\overline{\bar{A}} = A$
Teorema de Morgan	$\overline{(A \cup B)} = \bar{A} \cap \bar{B}$ e $\overline{(A \cap B)} = \bar{A} \cup \bar{B}$

#### 4.9.3 Operações *Fuzzy*

Conforme Shaw e Simões (2002), as operações entre conjuntos, pertencentes a universos de discurso diferentes, possibilitam a construção da base de conhecimento de um sistema. Esses mapeamentos ocorrem entre os conjuntos da variável de entrada  $A(x), x \in U$ , e o conjunto da variável de saída  $B(y), y \in V$  através da expressão condicional de inferência:  $A \Rightarrow B$  ou *Se  $A(x)$  Então  $B(y)$* , que é a ligação do antecedente ou condição, definido pelo conjunto  $A$  caracterizado por seu vetor de pertinência,  $\mu_A(x), x \in U$ , com o conseqüente ou resultado da ação, definido pelo conjunto  $B$  caracterizado pelo seu vetor de pertinência,  $\mu_B(y), y \in V$ . Os próximos itens mostram as operações entre conjuntos *Fuzzy* utilizadas neste trabalho.

##### Complemento:

O complemento de um conjunto *Fuzzy*  $A$  normalizado, correspondente ao conectivo NÃO, normalmente é denotado por  $\bar{A}$ . A função de pertinência deste conjunto  $\bar{A}$ ,  $\mu_{\bar{A}}(x)$ , em um universo  $U$  é definida por:  $\mu_{\bar{A}}(x) = 1 - \mu_A(x), \forall x \in U$ .

### Interseção:

A interseção entre dois conjuntos *Fuzzy*  $A$  e  $B$  do universo de discurso  $U$  corresponde ao conectivo  $\underline{E}$ , e pode ser representada por  $C = A \cap B$ , com  $C$  do mesmo universo de discurso  $U$ . A função de pertinência  $\mu_C(x)$  da interseção  $C = A \cap B$ , proposta por Zadeh, é definida por:

$$\mu_C(x) = \mu_{A \cap B}(x) = \min\{\mu_A(x), \mu_B(x)\} \forall x \in U.$$

### União:

A união de dois conjuntos *Fuzzy*  $A$  e  $B$  do universo de discurso  $U$  corresponde ao conectivo  $\underline{OU}$ , e pode ser representada por  $C = A \cup B$ , com  $C$  do mesmo universo de discurso  $U$ . A função de pertinência  $\mu_C(x)$  da união  $C = A \cup B$ , proposta por Zadeh, é definida por:

$$\mu_C(x) = \mu_{A \cup B}(x) = \max\{\mu_A(x), \mu_B(x)\} \forall x \in U.$$

A Figura 4.6 mostra graficamente as operações complemento, interseção e união dos conjuntos *Fuzzy*  $A$  e  $B$  em  $U = [0, 10]$  e as respectivas funções de pertinência.

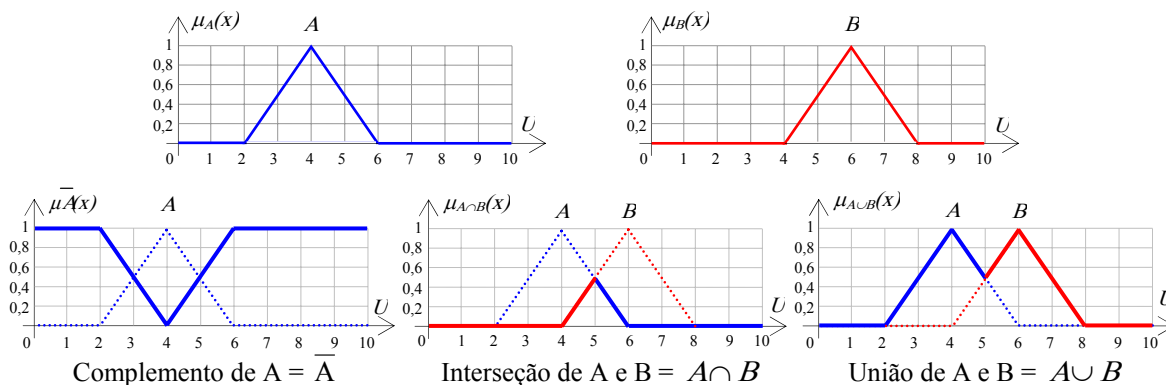


Figura 4.6 – Operações Complemento, Interseção e União de Conjuntos *Fuzzy*.

#### 4.9.4 Variáveis Linguísticas

O conceito da variável linguística foi considerado por Cox (1994) como sendo a essência da técnica de modelagem *Fuzzy*. Uma variável linguística pode ser considerada como sendo o nome dado a um conjunto *Fuzzy*. As variáveis linguísticas representam de modo impreciso, conceitos de variáveis de um dado problema, admitindo como valores somente expressões linguísticas, também chamadas de termos primários. Uma variável linguística pode ter seu termo primário representado por um conjunto *Fuzzy* existente no universo de discurso em que esta variável está definida. Deste modo, a cada conjunto *Fuzzy* deste universo de discurso é associado um conceito linguístico que classifica ou define um valor linguístico para a variável *Fuzzy* em

questão. A estrutura de conhecimento, ou participação *Fuzzy* de uma variável lingüística é definida pelos termos primários desta variável. O quanto um dado elemento  $x_i$ , do universo de discurso  $U$ , satisfaz o conceito representado por um conjunto *Fuzzy*  $A$ , é definido pelo valor da função de pertinência  $\mu_A(x_i), \forall x_i \in U$  (Figura 4.7).

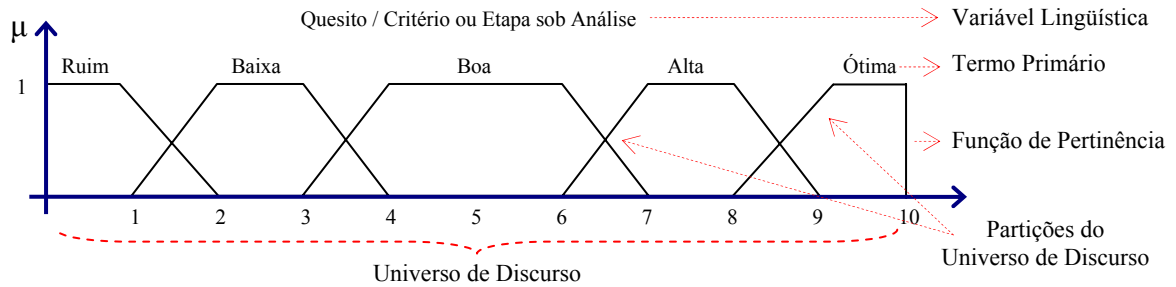


Figura 4.7 – Partição de Conjuntos *Fuzzy*.

São as propriedades sintáticas e semânticas que regem o comportamento do sistema de conhecimento *Fuzzy*. Elas definem a forma de utilização das variáveis lingüísticas. As propriedades sintáticas definem a forma com que as informações lingüísticas *Fuzzy* são armazenadas, proporcionando a criação de uma base de conhecimento com sentenças devidamente estruturadas. Estas propriedades sistematizam os processos de armazenamento, buscando e processando os dados existentes. Por sua vez, as propriedades semânticas são as responsáveis pela especificação do modo como é extraído e processado o conhecimento, contido na estrutura definida pelas propriedades sintáticas, armazenado na forma de declarações condicionais *Fuzzy*, ou regras de produção *Fuzzy*.

#### 4.9.5 Modificadores Lingüísticos *Fuzzy*

Associados aos termos primários das variáveis lingüísticas os modificadores são operações que alteram a forma das funções de pertinência, introduzindo um novo significado ao conjunto original, criando um conjunto *Fuzzy* composto. Os modificadores podem alterar tanto o suporte (por espalhamento ou deslocamento) quanto o núcleo do conjunto *Fuzzy* original (YEN e LANGARI, 1998). Os principais modificadores utilizados neste trabalho e que estão disponíveis na *shellFuzzyClips* são mostrados na Figura 4.8.

Nome do Modificador		Ação
<i>Not</i>	Não	$1 - \mu_A(x_i), \forall x_i \in U$
<i>Somewhat</i>	Um Pouco	$\mu_A^{1/3}(x_i), \forall x_i \in U$
<i>More-or-Less</i>	Mais ou Menos	$\mu_A^{0,5}(x_i), \forall x_i \in U$
<i>Very</i>	Muito	$\mu_A^2(x_i), \forall x_i \in U$
<i>Extremely</i>	Extremamente	$\mu_A^3(x_i), \forall x_i \in U$

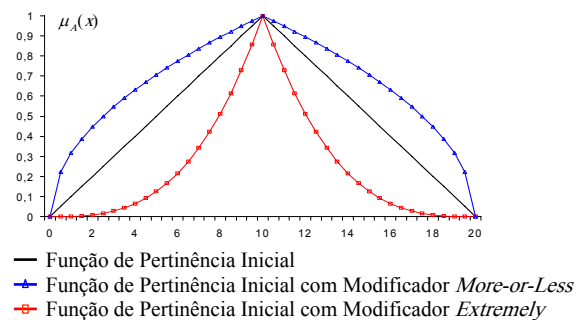


Figura 4.8 – Modificadores Lingüísticos do *FuzzyClips*.

4.9.6 Regras de Produção *Fuzzy*

O modo mais comum de armazenar informações em uma base de conhecimento *Fuzzy*, conforme Rezende (2003) é a representação por meio de regras de produção *Fuzzy*. As regras de produção *Fuzzy* normalmente são compostas de duas partes principais, mostradas abaixo de três formas equivalentes:

$$\text{SE } \{ \textit{situação} \} \text{ ENTÃO } \{ \textit{ação} \} \Leftrightarrow \text{SE } \{ x \textit{ é } A \} \text{ ENTÃO } \{ y \textit{ é } B \}$$

$$\text{SE } \left\{ \begin{array}{l} \text{Variável} \\ \text{Linguística de} \\ \text{Entrada} \end{array} \right. \text{ é } \left\{ \begin{array}{l} \text{Termo} \\ \text{Primário de} \\ \text{Entrada} \end{array} \right. \text{ ENTÃO } \left\{ \begin{array}{l} \text{Variável} \\ \text{Linguística de} \\ \text{Saída} \end{array} \right. \text{ é } \left\{ \begin{array}{l} \text{Termo} \\ \text{Primário de} \\ \text{Saída} \end{array} \right. \quad 4.4$$

A parte SE da regra (antecedente) descreve a situação, para a qual ela é designada e a parte ENTÃO (conseqüente) descreve a ação do sistema *Fuzzy* nesta situação. A situação compõe um conjunto de condições que, quando satisfeitas, mesmo parcialmente, determinam o processamento da ação, através de um mecanismo de inferência *Fuzzy*, ou seja, dispara uma regra. Por sua vez, a ação compõe um conjunto de diagnósticos que são gerados com o disparo da regra. As ações das regras disparadas são processadas em conjunto e geram uma resposta quantitativa para cada variável de saída do sistema.

A modelagem baseada em regras difusas tem como ponto central a definição e a verificação de um sistema de regras. A definição das regras é o procedimento em que o conhecimento e/ou os dados disponíveis são transcritos em regras. Neste processo, quatro situações distintas podem ocorrer (BÁRDOSSY e DUCKSTEIN, 1995):

1. As regras são bem conhecidas pelos especialistas e podem ser descritas diretamente;
2. As regras podem ser definidas por especialistas, mas os dados disponíveis devem ser utilizados para atualizá-las;
3. As regras não são conhecidas explicitamente, mas as variáveis requeridas para a descrição do sistema podem ser especificadas por especialistas;
4. Somente um conjunto de observações está disponível, e um sistema de regras tem de ser definido de forma a descrever as interconexões entre os elementos desse conjunto de dados.

Excetuando-se a primeira situação, em que as regras são definidas unicamente através do conhecimento de especialistas, nas demais, um sistema parametrizado de regras deve ser inicialmente definido. Posteriormente, este sistema deve ser validado com base num conjunto de dados contendo valores para as variáveis de entrada e de saída, buscando representar, da melhor forma possível, segundo algum critério especificado, a relação entrada/saída desejada. O modelo assim obtido deve representar bem a relação contida no conjunto de dados para o qual foi validado. Entretanto, o modelo será realmente válido quando representar bem a relação contida

em qualquer conjunto de dados que lhe seja apresentado. O processo de modelagem baseada em regras *Fuzzy*, portanto, é um processo iterativo que envolve, geralmente, três etapas: identificação do modelo; treinamento ou ajuste das regras; e, validação do modelo.

A identificação de um sistema inicial de regras é um processo subjetivo que requer, tanto quanto possível, conhecimento sobre o sistema a ser modelado. Em geral, o processo de identificação de um sistema de regras envolve as seguintes tarefas interdependentes: seleção de variáveis; partição de domínios; atribuição de funções de pertinência e termos lingüísticos; e, descrição das regras.

O treinamento ou ajuste das regras é a etapa em que os parâmetros das funções de pertinência associadas aos termos lingüísticos são ajustados com base num conjunto de dados, denominado conjunto de treinamento. Por mais criteriosas que tenham sido a seleção das variáveis e a escolha das funções de pertinência, raramente, o sistema de regras inicialmente definido representará bem a relação entre as variáveis de entrada e de saída do sistema. O ajuste dos parâmetros é, em geral, a tarefa que consome mais tempo no processo de modelagem, por envolver um processo de tentativa e erro, em que o conjunto de regras é sistematicamente inferido com base nos valores dados para as variáveis de entrada e os resultados desta inferência são comparados aos valores dados para as variáveis de saída.

A validação é o processo em que o modelo é avaliado quanto ao seu desempenho em termos de eficiência e eficácia computacional. A eficiência computacional depende, fundamentalmente, da simplicidade do modelo. A eficácia está relacionada com a capacidade do modelo em reproduzir as saídas desejadas, quando um conjunto de dados distinto do conjunto para o qual o modelo foi treinado lhe é apresentado. Diz-se que, neste processo, se está avaliando a capacidade de generalização do modelo. O conjunto de dados utilizado é comumente denominado conjunto de validação.

#### 4.9.7 O Processo de Inferência *Fuzzy*

Dada uma base de conhecimento *Fuzzy* representativa de um sistema (neste caso dos fatores críticos para implantação da MCC), e um vetor de entradas *crisp*, pode-se definir Inferência *Fuzzy* como: o processo pelo qual obtemos as conclusões ou saídas de tal sistema, pela avaliação dos níveis de compatibilidade das entradas com as condições impostas pela referida base de conhecimento (regras). O conjunto *Fuzzy* resultante (conclusão) pode ou não, de acordo com a necessidade, ser convertido para um escalar chamado de valor condensado ou *defuzzyficado*. O processamento dos antecedentes, os indicadores de disparos das regras e os operadores utilizados em um sistema de conhecimento *Fuzzy* são definidos, de acordo com a semântica, pelo mecanismo de inferência. Desta forma, então, é executado o processamento de conhecimento.

Mamdani (1975) propôs um método de inferência que foi por muitos anos um padrão para a utilização dos conceitos da lógica *Fuzzy* em processamento de conhecimento. As regras de

produção em um modelo de Mamdani possuem relações *Fuzzy* tanto em seus antecedentes como em seus conseqüentes. O modelo de Mamdani possui módulos de interface que transformam as variáveis de entrada baseadas em grandezas numéricas (*crisp*), em conjuntos *Fuzzy* equivalentes e, posteriormente, as variáveis *Fuzzy* geradas em variáveis numéricas (*crisp*) proporcionais. A Figura 4.9 apresenta um diagrama do modelo de inferência *Fuzzy* de Mamdani, o qual será utilizado neste trabalho. Os dados provenientes da interface com o usuário são *fuzzyficados* no módulo de conversão Escalar  $\rightarrow$  *Fuzzy*, a máquina de inferência recebe estes dados e processa as regras existentes na base de conhecimento gerando, a partir da composição de todas as regras disparadas, um conjunto *Fuzzy* de saída para o módulo de conversão *Fuzzy*  $\rightarrow$  Escalar que *defuzzyfica* os resultados do processo de inferência, para posterior apresentação ao usuário. Uma regra é disparada quando o processamento dos antecedentes para as entradas atuais gera graus de pertinência maiores que zero. O Capítulo 6 explicita melhor este processo.



Figura 4.9 – Diagrama Típico de um Modelo de Inferência de Mamdani.

Fonte: adaptado de REZENDE, 2003.

No modelo de inferência *Fuzzy* de Mamdani, a regra semântica tradicionalmente usada para o processamento de inferência é denominada de *Máx-Min*, a qual, segundo Rezende (2003), utiliza as operações de união e interseção entre conjuntos da mesma forma que Zadeh, por meio de operadores de máximo e mínimo, respectivamente. Os próximos parágrafos ilustram este processo.

Seja a seguinte regra de produção *Fuzzy* genérica:

$$\text{SE } \{(x_1 \text{ é } A_{i,1}) \otimes (x_2 \text{ é } A_{i,2}) \otimes \dots \otimes (x_k \text{ é } A_{i,k})\} \text{ ENTÃO } \{(y_1 \text{ é } B_{i,1}) \otimes \dots \otimes (y_m \text{ é } B_{i,m})\} \quad 4.5$$

Onde:

- $i = 1, \dots, n$  – É o número de termos primários de cada variável lingüística utilizada;
- $x_1 \dots x_k$  – São as variáveis lingüísticas de entradas do sistema;
- $A_{i,1} \dots A_{i,k}$  – São os termos primários definidos nas partições *Fuzzy* de cada variável de entrada, definidos por funções de pertinência  $\mu_{A_{i,k}}$ ;
- $y_1 \dots y_m$  – São as variáveis lingüísticas de saída;
- $B_{i,1} \dots B_{i,m}$  – São os termos primários definidos nas partições *Fuzzy* de cada variável de saída, definidos por funções de pertinência  $\mu_{B_{i,m}}$ ;
- $\otimes$  – Representa os operadores lógicos ("E" ou "OU").

### Avaliação dos Antecedentes

A avaliação dos antecedentes (premissas ou situações) de uma regra se compõe, em geral, de duas etapas. Primeiramente, os valores numéricos dados para cada variável de entrada são avaliados de acordo com as funções de pertinência associadas à variável correspondente, resultando o grau de pertinência de cada valor nos termos lingüísticos correspondentes. Entende-se esse processo, também, como a transformação dos valores numéricos das variáveis de entrada em números *Fuzzy* (fuzzyficação). Na segunda etapa, uma função é aplicada aos graus de pertinência obtidos para cada proposição antecedente, produzindo um valor numérico, entre 0 e 1, que representa o grau com que a expressão condicional da regra é satisfeita (grau de aplicabilidade da regra). As funções utilizadas nesse processo dependem do operador lógico usado na combinação das proposições, sendo as mais comumente adotadas as funções de mínimo para o operador "E" e máximo para o operador "OU", tal qual as operações de interseção e união de conjuntos *Fuzzy*, respectivamente. Formalmente, tem-se:

$$v(A \langle E \rangle B) = A \cap B = \min \{ \mu_A(x), \mu_B(x) \} \forall x \in U_{AB} \quad 4.6$$

$$v(A \langle OU \rangle B) = A \cup B = \max \{ \mu_A(x), \mu_B(x) \} \forall x \in U_{AB} \quad 4.7$$

Onde:

- $v$  é o grau de aplicabilidade ou coeficiente de disparo;
- A e B são termos lingüísticos;
- $\mu_A(x)$  e  $\mu_B(x)$  são os graus de pertinência de  $x$  nos conjuntos *Fuzzy* associados com A e B, respectivamente.

As regras com ( $v > 0$ ) são ditas regras aplicáveis ou que dispararam para as entradas atuais, ou seja, elas vão contribuir para o cálculo da saída correspondente do sistema de inferência. Por sua vez, os graus de aplicabilidade limitarão os valores máximos dos conjuntos *Fuzzy* de saída gerados por estas regras.

### Implicação

É o processo em que os conseqüentes das regras, cujas condições são satisfeitas com algum grau ( $v > 0$ ), referidas como regras aplicáveis, são calculados com base nos respectivos graus de aplicabilidade. Este processo encerra a idéia de que: se o antecedente da regra é verdadeiro com algum grau, então o conseqüente é, também, verdadeiro, com o mesmo grau. Nos casos em que as regras possuem mais de um conseqüente, todos os conseqüentes são igualmente afetados pelo grau de aplicabilidade.

O processo de implicação consiste, basicamente, na modificação dos conjuntos *Fuzzy* associados com os conseqüentes da regra. No modelo de inferência *Fuzzy* de Mamdani, o conjunto é truncado em um nível correspondente ao grau de aplicabilidade da regra.

### Agregação dos Conseqüentes

Quando um sistema de regras é avaliado para um conjunto de valores dados para as variáveis de entrada, encontram-se, em geral, mais de uma regra aplicável. Neste caso, os conseqüentes obtidos pela inferência destas regras devem ser combinados ou agregados para produzir uma resposta única do sistema para cada variável de saída. No modelo de inferência *Fuzzy* de Mamdani, o método de agregação dos conseqüentes é a união dos conjuntos difusos.

### Condensação dos Conseqüentes

O conjunto *Fuzzy* gerado ao final do processo de agregação pode então ser utilizado diretamente em um diagnóstico qualitativo de tomada de decisão. Entretanto, em alguns casos, os conjuntos difusos obtidos pela agregação dos conseqüentes não são suficientes como respostas do sistema, sendo necessária a escolha de valores numéricos (*crisp*) representativos das respostas difusas. No modelo de inferência *Fuzzy* de Mamdani, este valor correspondente ao baricentro geométrico ou centróide da área definida pelo conjunto *Fuzzy* resultante da agregação dos conseqüentes. Este processo é comumente chamado de *defuzzyficação*.

No método do baricentro geométrico, para um dado conjunto *Fuzzy* de saída, proveniente de uma base de conhecimento processada, a abscissa do baricentro geométrico da área correspondente, é utilizada como valor escalar de saída. A equação abaixo sintetiza este processo para uma saída escalar (S) de um conjunto *Fuzzy* resultante (C).

$$\text{Para um Universo (U) Discreto} \rightarrow S = \frac{\sum_{\forall C_i \in U_C} x_{C_i} \cdot (A_{C_i})}{\sum_{\forall C_i \in U_C} (A_{C_i})}$$

4.8

$$\text{Para um Universo (U) Contínuo} \rightarrow S = \frac{\int_{\forall x_c \in U_C} x_c \cdot f(x_c) dx_c}{\int_{\forall x_c \in U_C} f(x_c) dx_c}$$

Onde:

- S é o valor escalar de saída (valor *crisp*);
- $A_{C_i}$  é a área de cada subconjunto *Fuzzy* de C;
- $x_{C_i}$  é o baricentro geométrico de cada elemento  $A_{C_i}$ ;



- $f(x_C)$  é a função de pertinência do conjunto *Fuzzy* resultante C;
- $x_C$  são os pontos do universo de discurso U do conjunto *Fuzzy* resultante C.

Para ilustrar os conceitos abordados neste item, a Figura 4.10 mostra um exemplo de processo de inferência *Fuzzy*, utilizado nesse trabalho. No caso desse exemplo, o usuário pondera 2 Quesitos (Documentação da Manutenção e Documentação do Sistema), os quais irão compor o processo da avaliação do Critério (Disponibilidade da Informação/Recursos) o qual faz parte da avaliação da Etapa 0 do procedimento de referência, que será explicitado no Capítulo 5. O primeiro Quesito foi ponderado com uma Nota 1,8, a qual tem um grau de pertinência  $\mu = 0,2$  ao termo primário Ruim e  $\mu = 0,8$  ao termo primário Baixa. O segundo Quesito foi ponderado com uma Nota 7,5, a qual tem um grau de pertinência  $\mu = 1,0$  ao termo primário Alta. Os termos primário se referem a aderência da empresa/sistema aos Quesitos ponderados.

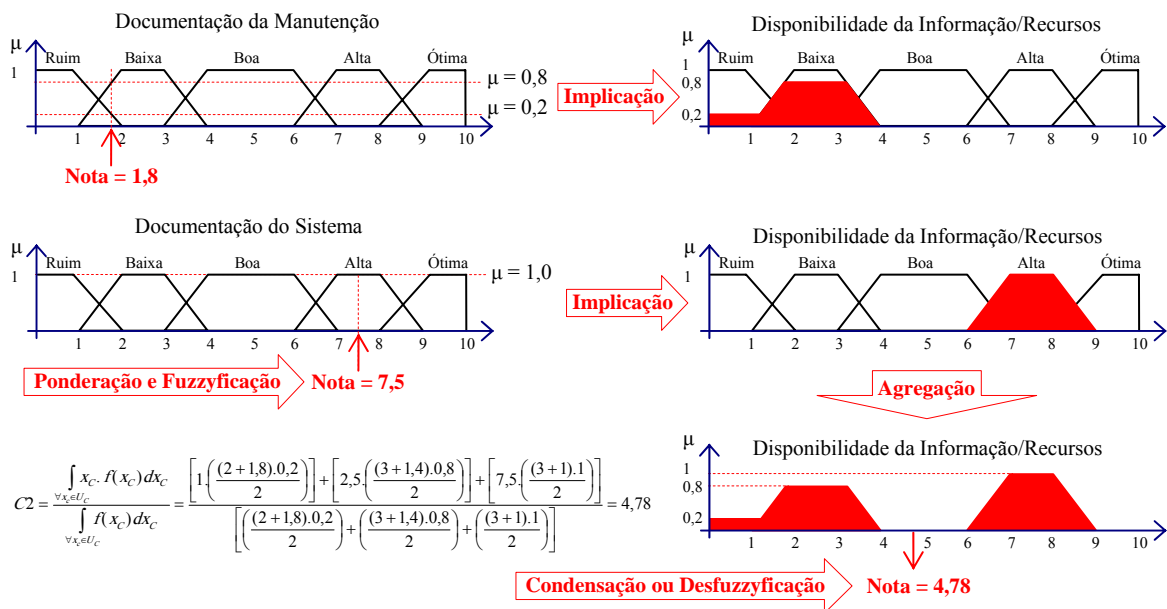


Figura 4.10 – Exemplo de um Processo de Inferência *Fuzzy*.

Após a implicação e a agregação dos consequentes se tem o conjunto *Fuzzy* resultante do processo de inferência cuja *defuzzyificação* resulta na Nota = 4,78 que retrata a aderência da empresa/sistema ao Critério sob análise (Disponibilidade da Informação/Recursos).

#### 4.10 A SHELL FUZZYCLIPS

O FuzzyClips ([http://www.iit.nrc.ca/IR\\_public/fuzzy/fuzzyClips/fuzzyCLIPSIndex.html](http://www.iit.nrc.ca/IR_public/fuzzy/fuzzyClips/fuzzyCLIPSIndex.html)) é uma extensão da *shell* Clips e foi desenvolvido pela *Integrated Reasoning Group* do *Institute for Information Technology* da *National Research Council of Canada*. O FuzzyCLIPS está totalmente integrado com o mecanismo de inferência e de fatos do Clips, permitindo assim representar e manipular fatos e regras *Fuzzy*, além de processar raciocínio exato, *Fuzzy* (não-exato) e

combinações destes, permitindo a mistura de termos *Fuzzy* e *Crisp* em regras e fatos do sistema especialista (FERNANDES, 2001).

Detalhes da estrutura de regras utilizadas no SBC-*Fuzzy* desenvolvido neste trabalho, com a utilização da *shell* FuzzyClips, podem ser vistos no Capítulo 6. O Apêndice B mostra as características da *shell* FuzzyClips incluindo trechos do programa computacional desenvolvido.

#### 4.11 CONSIDERAÇÕES E SÍNTESE DO CAPÍTULO

Neste capítulo foram abordados os principais conceitos relacionados aos SBC's e de especial interesse aos objetivos deste trabalho, explanados no Capítulo 1.

Elucidado seu contexto dentro da IA, foram discutidos: a arquitetura, o processo de desenvolvimento e o tratamento de incertezas utilizando a lógica *Fuzzy*. O Apêndice B deste trabalho apresenta mais detalhes dos tópicos abordados neste capítulo

Deste capítulo ressalta-se as seguintes resoluções:

- O modelo de desenvolvimento adotado neste trabalho é o modelo incremental, pois nele é possível que as etapas do ciclo de desenvolvimento do SBC sejam seguidas utilizando apenas pequenas partes de conhecimento em relação à totalidade do domínio do conhecimento, permitindo retornos às etapas anteriores, caso seja constatado algum tipo de erro ou inadequação em alguma tomada de decisão sobre o projeto do SBC, seguindo assim os conceitos de Engenharia Simultânea propostos por Silva (1998);
- Para elicitação do conhecimento são adotadas as técnicas baseadas em descrições, entrevistas, análise de protocolo e *teachback*;
- Devido à versatilidade dos SBC's híbridos, este trabalho utiliza a representação orientada a objeto associada a regras de produção como forma de RC;
- Este trabalho utiliza os mecanismos de inferência da *shell* FuzzyClips e uma interface com o usuário desenvolvida em *Visual Basic*. Detalhes deste desenvolvimento são abordados no Capítulo 6.

As técnicas de Engenharia do Conhecimento, abordadas neste capítulo, estão alinhadas com as necessidades da GC abordada no Capítulo 3, ao mesmo tempo em que auxiliam a tomada de decisão durante o processo de implementação e auditoria da MCC.

## METODOLOGIA DESENVOLVIDA PARA IMPLEMENTAÇÃO DA MCC

### 5.1 INTRODUÇÃO

Este capítulo aborda a metodologia proposta para auxiliar a implantação da Manutenção Centrada na Confiabilidade (MCC), com os requisitos e características apresentadas no Capítulo 1 e o embasamento teórico elucidado nos demais capítulos precedentes.

Conforme revelou a pesquisa bibliográfica, apresentada no Capítulo 2, os procedimentos para implantação de um programa de MCC (NOWLAN e HEAP, 1978; SMITH, 1993; SMITH e HINCHCLIFFE, 2004; MOUBRAY, 2001; NASA, 2000; IEC 60300-3-11, 1999; SAE JA 1011, 1999; SAE JA 1012, 2002; ABS, 2004) são divergentes em alguns aspectos, quando comparados entre si. Portanto, para viabilizar o processo de elicitação dos fatores críticos para o sucesso de um programa de MCC faz-se necessário a elaboração de um procedimento de referência que incorpore todos os aspectos sugeridos na bibliografia pesquisada. Deste modo, será possível garantir a conformidade com todas as normas e autores pesquisados e propor etapas não contempladas por tais normas e/ou autores, mas que podem de alguma maneira afetar positivamente o sucesso de um programa de MCC.

### 5.2 PROCEDIMENTO DE REFERÊNCIA PARA IMPLANTAÇÃO DA MCC

Este item apresenta o procedimento sugerido neste trabalho como referência para implantação da MCC. Com base neste procedimento será possível elaborar uma metodologia para auxiliar a implantação da MCC que analise e pondere as características e objetivos da empresa, as necessidades do sistema ao qual a MCC será implantada e os fatores críticos para o sucesso de um programa de MCC. Ao final dessa análise será possível propor ferramentas e normas de conduta que minimizem os aspectos que podem afetar negativamente o programa de MCC.

O procedimento de referência segue as etapas mostradas na Figura 5.1. Cada etapa pressupõe requisitos específicos de entrada e fornecem saídas que serão utilizadas nas etapas seguintes ou que irão compor o manual de MCC da empresa. Além disso, cada etapa demanda determinadas tarefas, mecanismos e controles para sua execução. O detalhamento de cada uma destas características será explicitado no item referente aos aspectos de cada etapa. O procedimento de referência foi desenvolvido para contemplar todas as etapas do ciclo de vida da MCC, desde a verificação de sua adequação para o sistema pretendido até a realimentação das decisões tomadas ao longo do processo de implantação, em função de critérios de desempenho do programa de MCC.

Cinco macro-etapas compõem o procedimento de referência proposto, as quais são: Pré-Implantação; Análise; Tomada de Decisão; Implementação; e Execução.

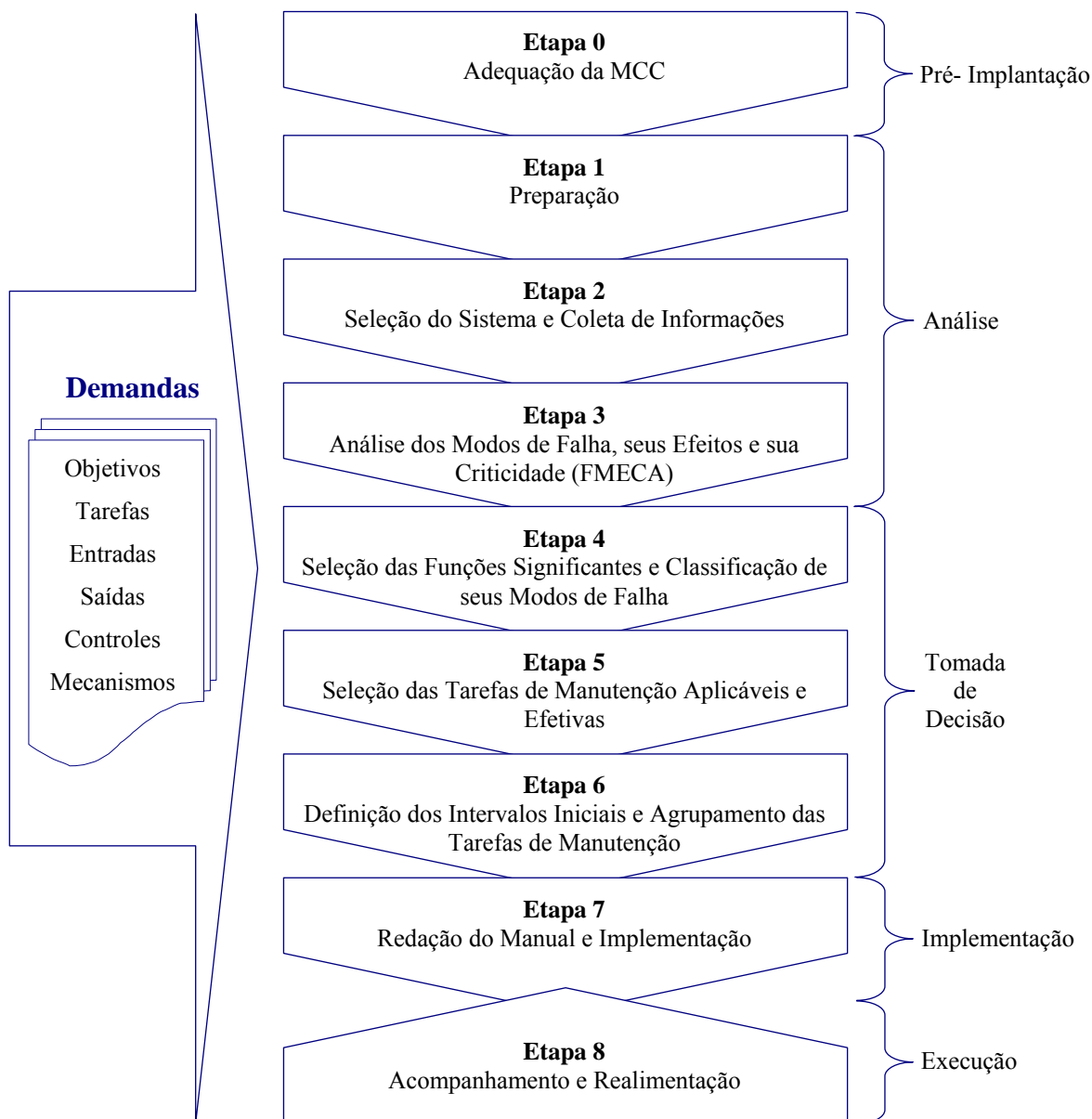


Figura 5.1 – Procedimento de Referência para Implantação da MCC.

### 5.3 ASPECTOS DE CADA ETAPA DO PROCEDIMENTO DE REFERÊNCIA

Para explicitar os aspectos envolvidos em cada etapa do procedimento de referência será utilizado um modelo adaptado das recomendações da metodologia IDEF (*Integration DEFINition – Definição Integrada*) baseada na Técnica de Análise e Projetos Estruturados (*Structured Analysis and Design Technique – SADT*), uma abordagem gráfica para a descrição de sistemas introduzida por Douglas T. Ross na década de 70 (MICHEL, 2002). Existem 16 métodos IDEF (do IDEF0 ao IDEF14 – incluindo IDEF1X) sendo que cada um foi projetado para capturar um tipo de informação particular através da modelagem do processo. Em dezembro de 1993, o Instituto Nacional de Padronizações e Tecnologias (*National Institute of Standards and Technology – NIST*) liberou o IDEF0 como um padrão para a Modelagem de Funções. O IDEF0, primeiro conjunto de padrões do

IDEF, processa uma coleção de atividades e outras ações utilizando-se de ICOM's (*Input, Control, Output, Mechanism* – Entrada, Controle, Saída e Mecanismo), Setas e Caixas. Cada atividade ou função é conceitualmente representada por uma caixa retangular, sendo que esta atividade pode ser decomposta em vários níveis, os quais seguem as mesmas convenções. Portanto, um modelo completo de IDEF0 é uma representação hierárquica do processo decomposta por atividades ou funções em quantos níveis forem necessários.

Este trabalho utilizará uma abordagem adaptada da IDEF0 explicitando, além dos ICOM's, os Objetivos e as Tarefas de cada etapa, para complementar o método IDEF0 e adequá-lo às necessidades da metodologia MCC, (Figura 5.2), explanados a seguir:

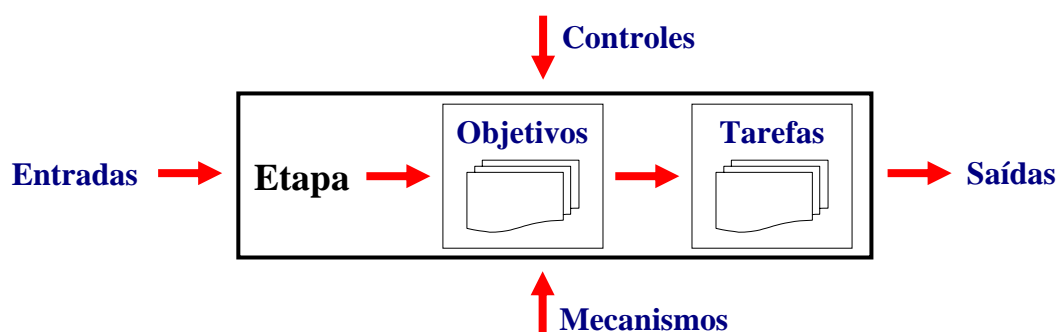


Figura 5.2 – Aspectos do Procedimento de Referência para cada Etapa da MCC.

- **Objetivos** – São as razões de existência de cada etapa e estão relacionados com as funções que cada etapa desempenha dentro do programa de MCC, por exemplo: verificar aderência a determinado critério; definir um sistema para implementação da MCC; levantar os modos de falha seus efeitos e sua criticidade para o sistema sob análise;
- **Tarefas** – São atividades a serem desenvolvidas em cada etapa para atendimento de seus objetivos e das necessidades do programa de MCC, por exemplo: preencher a planilha de FMECA (*Failure Modes, Effects and Criticality Analysis* – Análise dos Modos de Falha seus Efeitos e sua Criticidade); conceber índices de desempenho; documentar a atividade desenvolvida na etapa;
- **Entradas** – São os requisitos exigidos pela etapa para obtenção das saídas, por exemplo: especialistas, documentação, dados, informações ou conhecimento sobre o sistema no qual será implantada a MCC; resultados de etapas anteriores;
- **Saídas** – São os resultados do processamento de cada etapa, para uma próxima etapa ou para o manual de MCC, por exemplo: decisões documentadas; planilha de FMECA preenchida; manual das ações de manutenção;
- **Controles** – São informações, critérios ou estratégias para monitoramento e/ou garantia da correta execução da tarefa, por exemplo: normas aplicáveis; conhecimento do especialista; necessidades da empresa; índices de desempenho;
- **Mecanismos** – São os recursos/ferramentas necessários ou que auxiliam a execução da etapa, por exemplo: planilha de FMECA; diagramas de decisão; equações para formulação de índices de desempenho.

Nos próximos parágrafos, cada uma das etapas do procedimento de referência será discriminada fundamentando-se na metodologia IDEF0, adaptada conforme descrito anteriormente.

### 5.3.1 Etapa 0 – Adequação da MCC

Objetivos: verificar se a gestão da manutenção fundamentada na MCC, com seus requisitos e características metodológicas e filosóficas, é a mais adequada para a empresa/sistema, considerando suas disponibilidades e limitações.

Tarefas: comparar e verificar o grau de aderência das características da empresa/sistema com as necessidades e exigências de um programa de MCC; documentar de forma auditável as premissas e conclusões desta etapa.

Entradas: especialistas em MCC; especialistas nos sistemas candidatos a implantação da MCC (pertencentes à equipe de manutenção, operação e outros envolvidos direta ou indiretamente com os sistemas candidatos); pessoal pertencente aos níveis gerenciais da empresa, com autonomia para tomada de decisão, mobilização de recursos humanos e financeiros e conhecedores da estratégia gerencial da empresa com relação aos sistemas candidatos a implantação da MCC e sua manutenção; informações gerenciais da empresa; informações técnicas e gerenciais da manutenção; planejamento estratégico da empresa com relação a manutenção e ao sistema ao qual a MCC será aplicada<sup>1</sup>.

Saídas: relatório de avaliação da empresa/sistema contendo os critérios adotados, as ponderações feitas e a conclusão se a MCC é ou não aderente a empresa/sistema sob análise, com as respectivas justificativas. Nos casos em que a adoção da MCC não seja recomendada esta etapa pode apresentar como saída um planejamento estratégico de implementação da MCC, atrelado às características atuais da empresa/sistema; documentação referente às decisões tomadas nesta etapa.

Controles: expertise em MCC, no sistema-alvo e na gerência da empresa; normas e materiais bibliográficos que explicitem as necessidades de um programa de MCC.

Mecanismos: local e estrutura para condução das reuniões; disponibilidade dos envolvidos no processo de implantação da MCC; questionário estruturado para elicitación das características da empresa/sistema, relacionadas com a MCC; critérios para comparação das características da empresa/sistema com as necessidades da MCC; métodos de ponderação dos critérios analisados.

### 5.3.2 Etapa 1 – Preparação

Objetivos: formação da equipe e planejamento estratégico para implantação da MCC.

---

<sup>1</sup> A partir deste ponto estes componentes serão referenciados como “expertise em MCC, no sistema-alvo e na gerência da empresa”

Tarefas: estabelecer os objetivos do programa de MCC; definir a abrangência ou nível de aplicação do programa de MCC; preparar, organizar e estruturar a equipe de implantação da MCC para atender os requisitos das etapas seguintes; inferir sobre as necessidades relacionadas a treinamento, organização e estruturação, requeridas ao longo dos procedimentos de implementação do programa de MCC; elaborar a metodologia e a estratégia para execução e condução das reuniões da equipe de implantação da MCC; documentar de forma auditável as premissas e conclusões desta etapa.

Entradas: saídas da etapa anterior<sup>2</sup>; expertise em MCC, no sistema-alvo e na gerência da empresa.

Saídas: documentação referente às decisões tomadas nesta etapa; plano para implantação da MCC contendo no mínimo os seguintes itens: objetivos e metas a serem atingidas durante a implantação; composição da equipe responsável pela implantação da MCC; calendário de reuniões; programa de treinamento para a equipe de implantação, membros dos níveis gerenciais e demais interessados estratégicos para o programa de MCC; cronograma para execução das tarefas; designação de um patrocinador interno com suas respectivas atribuições e responsabilidades; alocação de recursos humanos e financeiros; previsão orçamentária.

Controles: expertise em MCC, no sistema-alvo e na gerência da empresa; normas e materiais bibliográficos sobre MCC; disponibilidades e limitações para formação e treinamento da equipe de implantação da MCC; critérios e necessidades internas da empresa; dados que permitam um comparativo com empresas/sistemas de referência (benchmarking).

Mecanismos: ferramentas computacionais (para esta etapa bastam planilhas eletrônicas e processadores de texto); local e estrutura para condução das reuniões; disponibilidade dos responsáveis pela condução do processo de implantação da MCC.

### 5.3.3 Etapa 2 – Seleção do Sistema e Coleta de Informações

Objetivos: identificar e documentar o sistema que será submetido à análise e implantação da MCC.

Tarefas: definir e aplicar critérios quantitativos e qualitativos para seleção do sistema ao qual a MCC será aplicada; documentar o sistema selecionado e suas fronteiras.

Entradas: saídas das etapas anteriores; expertise em MCC, no sistema-alvo e na gerência da empresa; sistemas candidatos a implantação da MCC, com as seguintes informações: contexto operacional, documentação de engenharia, históricos de manutenção, custo atualizado de manutenção, relação com a disponibilidade global do processo produtivo e implicações na segurança e meio ambiente.

---

<sup>2</sup> Como saídas das etapas anteriores entenda-se, a partir deste ponto, as saídas “materiais” (relatórios, documentos, resultados de análises, etc...) de todas as etapas anteriores a etapa sob análise. Isso não exclui a necessidade de expertise em MCC, no sistema-alvo e na gerência da empresa para as análises exigidas na etapa corrente.

Saídas: sistema selecionado com as seguintes informações, quando aplicáveis: identificação dos subsistemas e componentes, descrição textual, diagramas esquemáticos, diagramas de blocos, diagrama organizacional, diagrama funcional, diagrama lógico funcional e descrição das fronteiras; documentação referente às decisões tomadas nesta etapa.

Controles: expertise em MCC, no sistema-alvo e na gerência da empresa; documentação de engenharia dos sistemas candidatos a implantação da MCC; normas aplicáveis aos sistemas candidatos a implantação da MCC; necessidades estratégicas da empresa.

Mecanismos: ferramentas computacionais (planilhas eletrônicas e processadores de texto) ou software específico para implantação da MCC; local e estrutura para condução das reuniões; e disponibilidade dos responsáveis pela condução do processo de implantação da MCC.

### 5.3.4 Etapa 3 – Análise dos Modos de Falha, seus Efeitos e sua Criticidade (FMECA)

Objetivos: identificar e documentar todas as funções do sistema selecionado na etapa 2, seus modos de falha, os efeitos adversos destes modos de falha, as causas do modo de falha e uma avaliação de sua criticidade.

Tarefas: conduzir e documentar o processo de FMECA; criar índices de consenso, entre a equipe de implantação e a empresa, para avaliar a criticidade do modo de falha, a qual envolve: a severidade dos efeitos, a frequência de ocorrência das causas do modo de falha e a probabilidade de detecção das causas do modo de falha.

Entradas: saídas das etapas anteriores; expertise em MCC, no sistema-alvo e na gerência da empresa; documentação técnica do sistema ao qual a MCC será aplicada; desenhos técnicos, fotos e texto explicativo referente aos modos de falha seus efeito e suas causas.

Saídas: funções desempenhadas pelo sistema; falhas funcionais associadas a cada função; modos de falha associados à perda da função; efeitos provocados no sistema devido a um modo de falha; índice de criticidade ponderando a severidade dos efeitos e a ocorrência e a detecção das causas do modo de falha; documentação referente às decisões tomadas nesta etapa (planilha de FMECA e índices de severidade, ocorrência e detecção adotados).

Controles: expertise em MCC, no sistema-alvo e na gerência da empresa; documentação técnica do sistema ao qual a MCC será aplicada; saídas da etapa 2; normas aplicáveis ao sistema sob análise; normas e/ou procedimentos para condução da FMECA.

Mecanismos: ferramentas computacionais (planilhas eletrônicas, processadores de texto ou software específico para implantação da MCC); planilha de FMECA ou FMEA (*Failure Modes and Effects Analysis* – Análise dos Modos de Falha e seus Efeitos); local e estrutura para condução das reuniões; FTA (*Fault Tree Analysis* – Análise da Árvore de Falhas) dos modos de falha, para auxiliar a identificação de suas causas raízes; ETA (*Event Tree Analysis* – Análise da Árvore de



Eventos) dos efeitos do modo de falha, para auxiliar a identificação e atribuição do seu grau de severidade; disponibilidade dos responsáveis pela condução do processo de implantação da MCC.

Observação: Este trabalho considera, para efeitos de composição do procedimento de referência, a metodologia de FMECA/FMEA proposta pela norma J1739 da SAE (*Society of Automotive Engineers*) que divide sua abordagem em 2 tópicos: FMEA de Projeto (*Potential Failure Mode and Effects Analysis in Design*) e FMEA de Processo (*Potential Failure Mode and Effects Analysis in Manufacturing and Assembly Processes*). A mesma norma apresenta também uma metodologia para aplicar a FMEA em máquinas (*Potential Failure Mode and Effects Analysis for Machinery*). Para compatibilizar a proposta da SAE J1739 com as exigências da SAE JA1011 (*Criteria for Reliability Centered Maintenance Processes*) e SAE JA 1012 (*A Guide to the Reliability Centered Maintenance Standard*) foi incluído na planilha de FMECA uma coluna para registro da Falha Funcional. A planilha de FMECA proposta por esta norma pode ser vista na Figura 5.3 e seu preenchimento segue as recomendações detalhadas no Apêndice A.

Item	Função	Falha Funcional	Modo de Falha	Efeito do Modo de Falha	Severidade (S)	Causas do Modo de Falha	Ocorrência (O)	Controles Atuais	Detecção (D)	NPR (S.O.D)	Ações Recomendadas	Responsável e Data de Término Programada	Resultados das Ações					
													Ações Adotadas	Severidade (S)	Ocorrência (O)	Detecção (D)	NPR (S.O.D)	

Figura 5.3 – Planilha de FMECA adotada no Procedimento de Referência.

Fonte: adaptado de SAE J1739.

#### 5.3.5 Etapa 4 – Seleção das Funções Significantes e Classificação de seus Modos de Falha

**Objetivos:** analisar cada função identificada na etapa anterior e determinar se a falha funcional tem efeito significativo, e caso afirmativo, classificar seus modos de falha levando em conta os impactos nos aspectos pilares da MCC: segurança, meio ambiente, operação e economia do processo.

**Tarefas:** elaborar os critérios para definição da significância ou não das funções identificadas na etapa 3; elaborar os critérios para definição se um modo de falha e/ou seus efeitos são ou não evidentes e se o impacto é ambiental, de segurança, econômico ou operacional; aplicar a lógica de seleção das funções significantes identificando cada função como: significativa ou não significativa; para as funções significantes classificar, segundo os critérios da MCC, cada modo de falha e/ou seus efeitos: ESA – Evidente com efeito na Segurança ou Ambiente; EEO – Evidente com efeito Econômico ou Operacional; OSA – Oculto com efeito na Segurança ou Ambiente; OEO – Oculto com efeito Econômico ou Operacional; documentar as funções significantes com a respectiva classificação de seus modos de falha, os quais devem seguir na análise do processo de implantação da MCC; documentar as funções não significantes, as quais a análise termina nesta etapa.

**Entradas:** saídas das etapas anteriores; expertise em MCC, no sistema-alvo e na gerência da empresa; documentação técnica do sistema ao qual a MCC será aplicada; lista de funções já protegidas por tarefas existentes de manutenção.

**Saídas:** lista das funções significantes com seus respectivos modos de falha classificados (ESA, EEO, OSA e OEO), os quais serão submetidos às etapas subsequentes; lista de funções não significantes, cuja análise termina nesta etapa; documentação referente às decisões tomadas nesta etapa.

**Controles:** expertise em MCC, no sistema-alvo e na gerência da empresa; documentação técnica do sistema ao qual a MCC será aplicada; saídas da etapa 3; normas aplicáveis ao sistema sob análise; critérios para identificação das funções significantes e classificação de seus modos de falha.

**Mecanismos:** ferramentas computacionais (planilhas eletrônicas, processadores de texto ou software específico para implantação da MCC); diagramas de decisão para seleção de funções significantes; diagramas de decisão para classificação dos modos de falha das funções definidas como significantes; local e estrutura para condução das reuniões; disponibilidade dos responsáveis pela condução do processo de implantação da MCC.

Observação: Por julgar mais adequada, este trabalho utiliza, para composição do procedimento de referência, a lógica de seleção das funções significantes e classificação de seus modos de falha, proposta pela IEC 60300-3-11 (*Dependability Management - Part 3-11: Application Guide - Reliability Centred Maintenance*) a qual pode ser vista nas Figuras 5.4 (a) e (b), respectivamente.

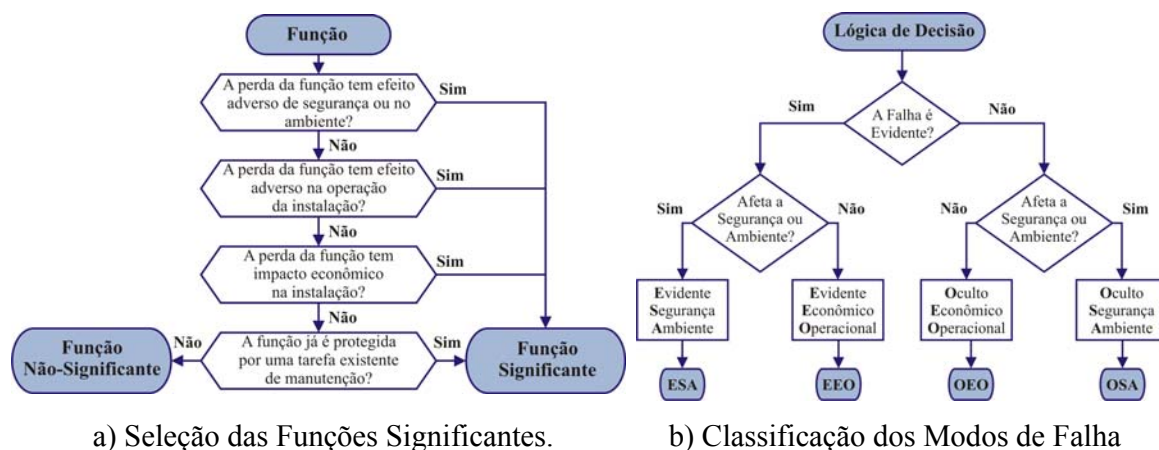


Figura 5.4 – Seleção das Funções Significantes e Classificação dos seus Modos de Falha.

Fonte: adaptado de IEC 60300-3-11.

### 5.3.6 Etapa 5 – Seleção das Tarefas de Manutenção Aplicáveis e Efetivas

Observação: Por julgar mais adequada este trabalho utiliza, para composição do procedimento de referência, a lógica de seleção de atividades de manutenção aplicáveis e efetivas proposta pela IEC

60300-3-11 (*Dependability Management - Part 3-11: Application Guide - Reliability Centred Maintenance*) a qual pode ser vista na Figura 5.5.

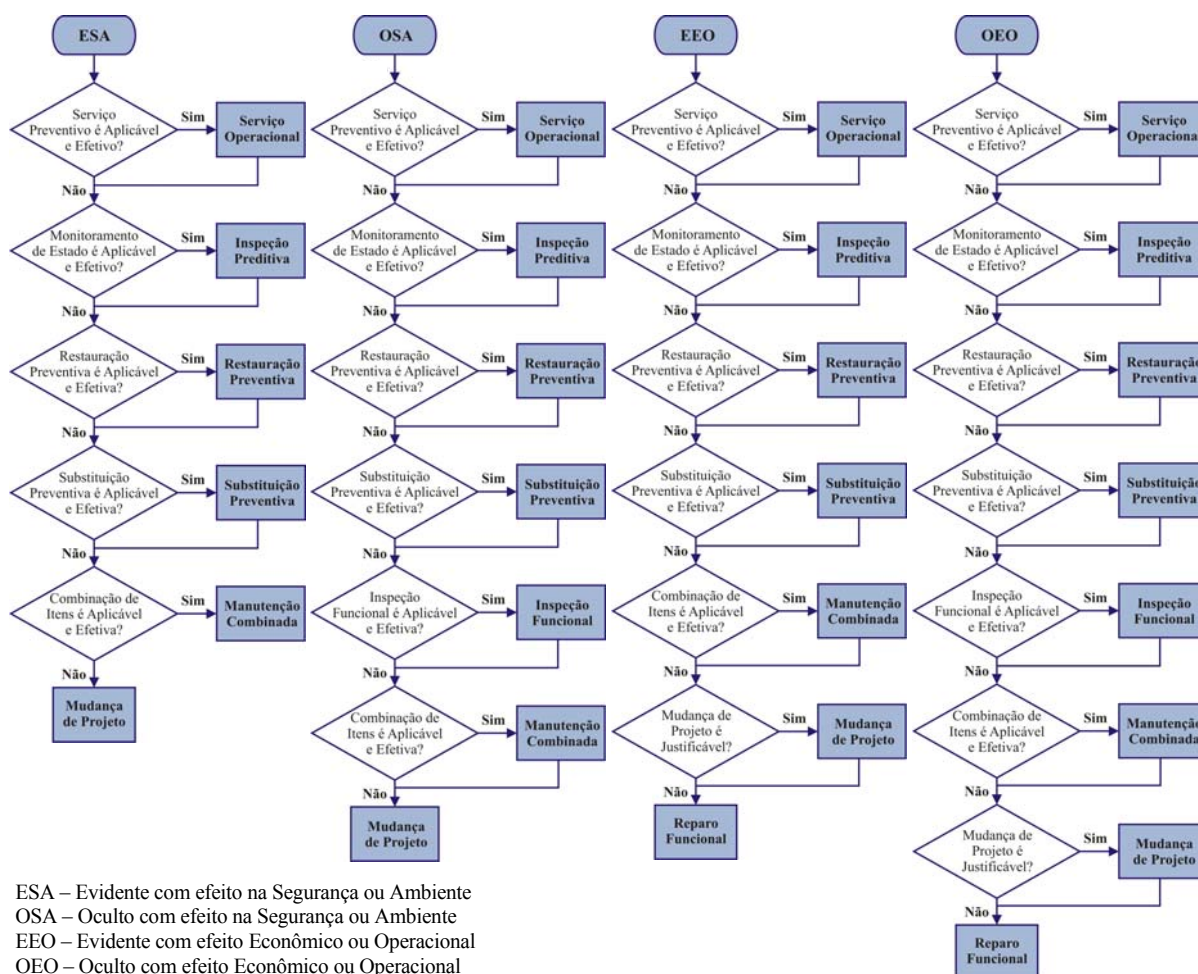


Figura 5.5 – Seleção das Tarefas de Manutenção.

Fonte: adaptado de IEC 60300-3-11.

**Objetivos:** determinar quais as tarefas de manutenção aplicáveis e efetivas para cada uma das funções significantes identificadas e caracterizadas na etapa 4.

**Tarefas:** definir os critérios de aplicabilidade e efetividade das tarefas de manutenção; aplicar o diagrama de decisão para selecionar as tarefas de manutenção aplicáveis e efetivas; documentar o processo de seleção das tarefas de manutenção aplicáveis e efetivas.

**Entradas:** saídas das etapas anteriores; expertise em MCC, no sistema-alvo e na gerência da empresa; documentação técnica do sistema ao qual a MCC será aplicada; lista das tarefas atuais de manutenção, de cada um dos itens, cuja alguma função tenha sido identificada como significante; dados estatísticos referentes às funções significantes, especialmente: tempo para falhar, tempo entre falhas, tempo de reparo, rotina/ciclo operacional do item/sistema.

**Saídas:** tarefas de manutenção aplicáveis e efetivas para cada modo de falha das funções significantes identificadas na etapa 4, dentre as tarefas de manutenção possíveis estão: Serviço

Operacional, Inspeção Preditiva, Restauração Preventiva, Substituição Preventiva, Inspeção Funcional, Manutenção Combinada, Mudança de Projeto e Reparo Funcional; documentação referente às decisões tomadas nesta etapa.

Controles: expertise em MCC, no sistema-alvo e na gerência da empresa; documentação técnica do sistema ao qual a MCC será aplicada; saídas da etapa 4; normas aplicáveis ao sistema sob análise; critérios para definição de quais tarefas de manutenção são aplicáveis e efetivas para o sistema em seu contexto operacional.

Mecanismos: ferramentas computacionais (planilhas eletrônicas, processadores de texto ou software específico para implantação da MCC); diagramas de decisão para seleção de atividades de manutenção aplicáveis e efetivas; local e estrutura para condução das reuniões; disponibilidade dos responsáveis pela condução do processo de implantação da MCC.

### 5.3.7 Etapa 6 – Definição dos Intervalos Iniciais e Agrupamento das Tarefas de Manutenção

Objetivos: definir a periodicidade inicial das atividades de manutenção selecionadas na etapa 5 e agrupar estas atividades de forma estratégica para otimizar as ações da equipe de manutenção.

Tarefas: para todas as tarefas de manutenção selecionadas na etapa 5: estabelecer os métodos e critérios para definição da periodicidade ou frequência de execução; fixar a periodicidade ou frequência de execução das atividades; definir os métodos e critérios para agrupamento otimizado das tarefas; agrupar de forma otimizada as tarefas, de acordo com o tamanho da equipe de manutenção e oportunidades de concomitância com outras tarefas.

Entradas: saídas das etapas anteriores; expertise em MCC, no sistema-alvo e na gerência da empresa; documentação técnica do sistema ao qual a MCC será aplicada; dados confiabilísticos, de manutenibilidade e de produtividade do sistema ao qual a MCC será aplicada, as seguintes fontes para estes dados poderão ser utilizadas: estatísticas do sistema; experiência/conhecimento *a priori* da equipe de manutenção; dados de sistemas técnica e operacionalmente similares; dados do fabricante.

Saídas: uma lista contendo as atividades de manutenção selecionadas na etapa 5 agrupadas de forma otimizada e com um período e/ou frequência de execução; documentação referente às decisões tomadas nesta etapa.

Controles: expertise em MCC, no sistema-alvo e na gerência da empresa; documentação técnica do sistema ao qual a MCC será aplicada; normas aplicáveis ao sistema analisado; saídas da etapa 5; dados confiabilísticos, de manutenibilidade e de produtividade do sistema ao qual a MCC será aplicada.

Mecanismos: ferramentas computacionais (planilhas eletrônicas, processadores de texto ou software específico para implantação da MCC); local e estrutura para condução das reuniões; disponibilidade dos responsáveis pela condução do processo de implantação da MCC.

### 5.3.8 Etapa 7 – Redação do Manual e Implementação

Objetivos: redigir o manual inicial de manutenção e implementar as ações propostas pela MCC com base nas conclusões das etapas anteriores.

Tarefas: redigir o manual de manutenção do sistema ao qual a MCC será aplicada incluindo: descrição detalhada do sistema e suas partes componentes, considerações e conclusões das etapas anteriores, política de manutenção para os itens cujas funções foram definidas como não significantes na etapa 4; planejar, estruturar e implementar as ações propostas pelo programa de MCC, levando em conta: as necessidades e limitações da empresa/sistema e o cronograma e a estratégia de implementação e divulgação do novo programa de manutenção.

Entradas: saídas das etapas anteriores; expertise em MCC, no sistema-alvo e na gerência da empresa; documentação técnica do sistema ao qual a MCC será aplicada; planejamento estratégico da empresa com relação ao sistema ao qual a MCC será aplicada.

Saídas: manual do programa de MCC para o sistema selecionado; planejamento estratégico para implementação do programa de MCC; execução do planejamento para implementação; documentação referente às decisões tomadas nesta etapa.

Controles: expertise em MCC, no sistema-alvo e na gerência da empresa; documentação técnica do sistema ao qual a MCC será aplicada; normas aplicáveis ao sistema analisado; saídas das etapas anteriores.

Mecanismos: ferramentas computacionais (planilhas eletrônicas, processadores de texto ou software específico para implantação da MCC); local e estrutura para condução das reuniões; disponibilidade dos responsáveis pela condução do processo de implantação da MCC.

### 5.3.9 Etapa 8 – Acompanhamento e Realimentação

Objetivos: definir as estratégias inerentes e executar o acompanhamento e a realimentação do programa de MCC, ao longo de todo o seu ciclo de vida.

Tarefas: definir os critérios para composição dos indicadores de desempenho, do programa de MCC e do sistema ao qual a MCC foi implantada; formular os indicadores de desempenho do programa de MCC e do sistema; definir os índices de desempenho, a serem alcançados pela MCC, e/ou que sejam aceitáveis, do ponto de vista estratégico da empresa; definir os critérios para realimentação do programa de MCC (realimentações periódicas até a consolidação do programa, realimentações dependentes dos indicadores de desempenho ou uma estratégia mista); acompanhar o programa de MCC e o sistema no qual a MCC foi implantada, realimentando o programa inicial/anterior quando

necessário, em função dos critérios estabelecidos; estruturar e sistematizar as rotinas e estratégias para coleta das informações que irão subsidiar os indicadores de desempenho.

Entradas: manual do programa de MCC; expertise em MCC, no sistema-alvo e na gerência da empresa; planejamento estratégico da empresa com relação ao sistema ao qual a MCC será aplicada; dados estatísticos do sistema ao qual a MCC será aplicada (confiabilísticos, de manutenibilidade e de produtividade); dados estatísticos do fabricante ou de sistemas técnica e operacionalmente similares.

Saídas: listagem dos principais índices de desempenho a serem atingidos pelo programa de MCC; critérios para realimentação do programa de MCC; rotinas e estratégias para coleta das informações e acompanhamento do programa de MCC e do sistema no qual a MCC foi implantada; indicadores de desempenho do programa de MCC e do sistema no qual a MCC foi implantada; documentação referente às decisões tomadas nesta etapa.

Controles: expertise em MCC, no sistema-alvo e na gerência da empresa; planejamento estratégico da empresa com relação ao sistema ao qual a MCC foi aplicada; normas aplicáveis ao sistema analisado; manual do programa de MCC; ações técnicas e administrativas que subsidiem as decisões referentes às ações de manutenção, conforme estabelecidas no programa de MCC.

Mecanismos: ferramentas computacionais (planilhas eletrônicas, processadores de texto ou software específico para implantação da MCC); local e estrutura para condução das reuniões; disponibilidade dos responsáveis pelo acompanhamento e realimentação do programa de MCC.

#### 5.4 METODOLOGIA PARA DIAGNÓSTICO DA MCC

A metodologia proposta para diagnóstico da MCC, com base no procedimento de referência para sua implantação, é composta por duas partes, a saber:

- A primeira parte trata da avaliação dos pré-requisitos necessários para implementação de cada uma das etapas;
- A segunda parte trata da auditoria de cada etapa implementada conforme o procedimento de referência.

A fim de minimizar os fatores críticos para o sucesso do programa de MCC, ao final da avaliação dos pré-requisitos e da auditoria, melhorias são sugeridas com base no diagnóstico da empresa/sistema ao qual a MCC será implantada. Entre a avaliação dos pré-requisitos e a auditoria (Figura 5.6), está a implementação de cada uma das etapas da MCC, conforme o procedimento de referência.

Para maximizar os resultados positivos e evitar os transtornos decorrentes de uma etapa mal conduzida, durante os procedimentos de implantação da MCC, a metodologia pressupõe a seguinte seqüência de aplicação:

1. Antes de iniciar cada uma das etapas do procedimento de referência, seus pré-requisitos são avaliados e seus pontos fracos corrigidos;
2. Cada etapa é, então, implementada conforme as exigências do procedimento de referência, respeitando suas necessidades e contemplando seus resultados/saídas;
3. Cada etapa implementada é, então, auditada para certificação de sua conformidade com o procedimento de referência, antes de iniciar a implementação da próxima etapa.

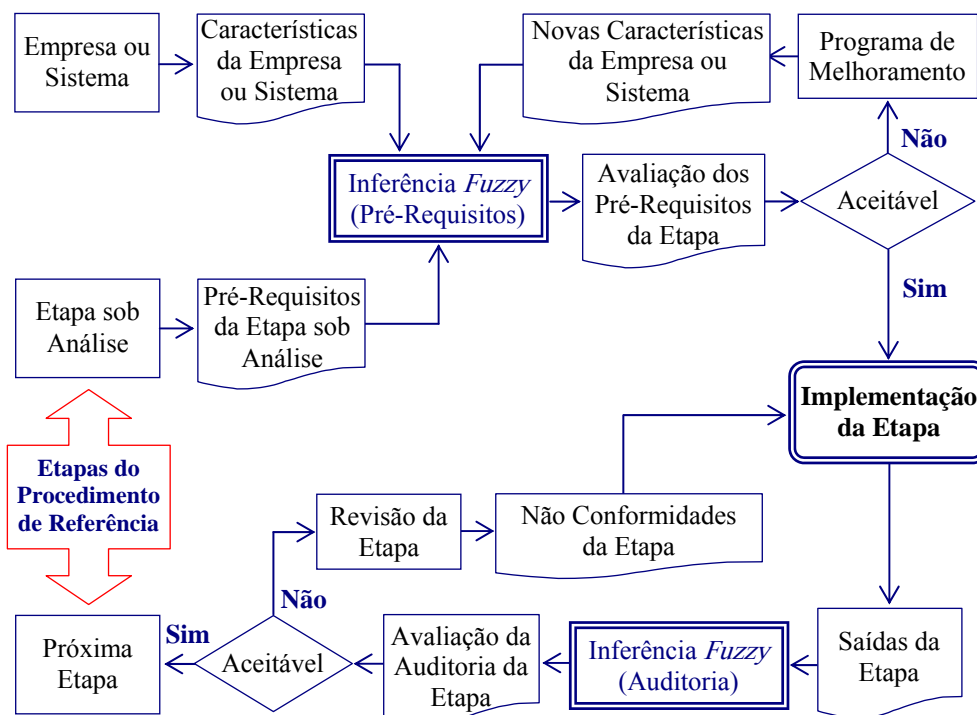


Figura 5.6 – Avaliação dos Pré-Requisitos e Auditoria *Fuzzy* das Etapas da MCC.

Os procedimentos de avaliação dos pré-requisitos de cada etapa e de auditoria pós-implementação da etapa são executados por intermédio de um processo de inferência *Fuzzy*. Neste processo, o analista pondera os quesitos que irão compor os critérios de avaliação pré e pós-implementação da etapa sob análise. Sendo assim, cada etapa é composta por diferentes critérios para avaliação dos pré-requisitos e auditoria e cada um desses critérios conta com diferentes quesitos, cujo grau de aderência da empresa/sistema resultará na avaliação da etapa. A Figura 5.7 ilustra este cenário.

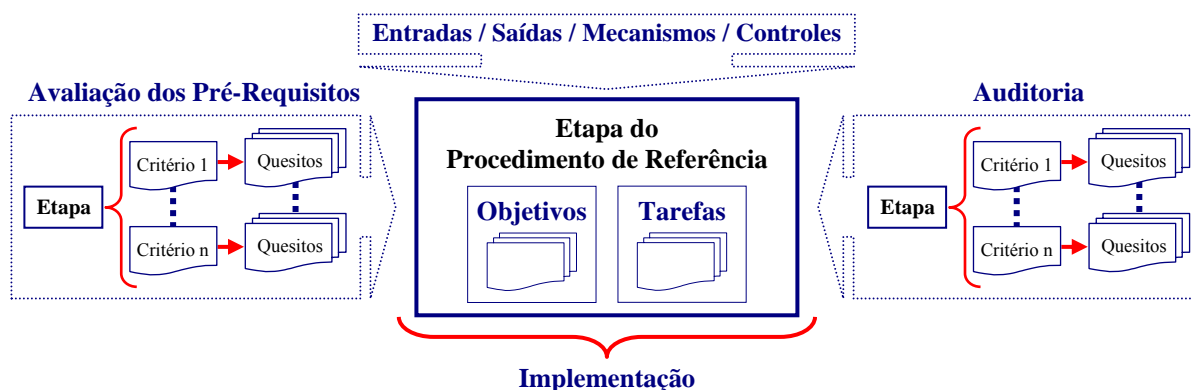


Figura 5.7 – Processo de Avaliação dos Pré-Requisitos e Auditoria *Fuzzy* da MCC.

O processo de inferência *Fuzzy*, que avalia o grau de aderência da empresa/sistema aos pré-requisitos de cada etapa, segue a sistemática mostrada na Figura 5.8.

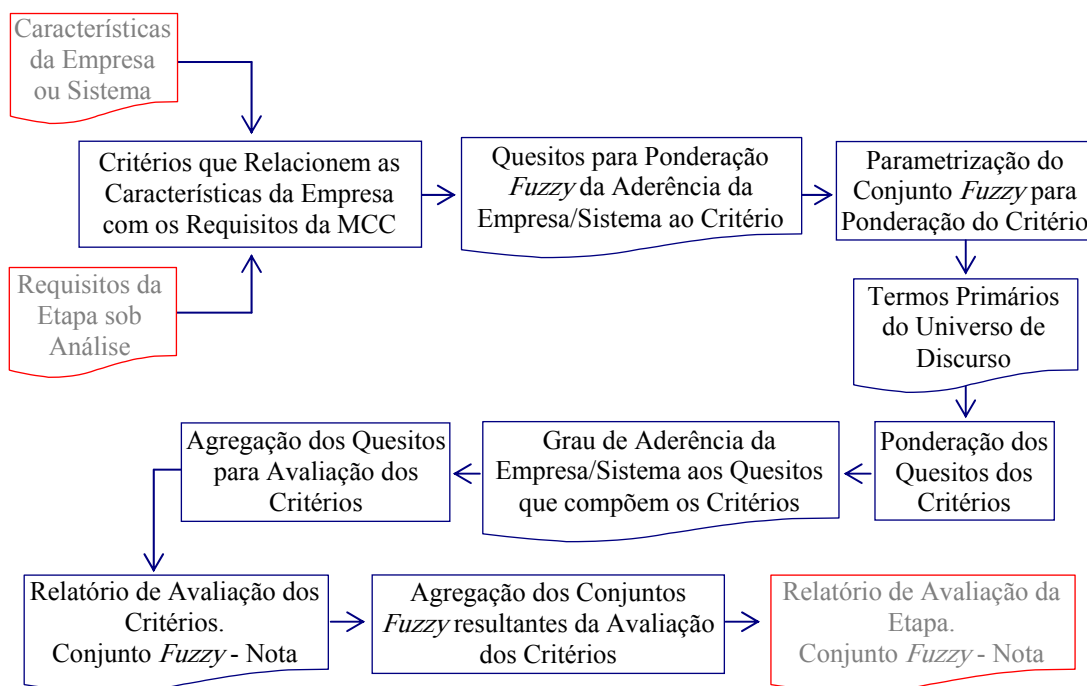


Figura 5.8 – Processo de Avaliação *Fuzzy* dos Pré-Requisitos das Etapas da MCC.

Este processo tem início com a comparação das características da empresa/sistema com os pré-requisitos exigidos pela MCC, para um desenvolvimento adequado da etapa sob análise. Esta comparação é feita a partir da análise, do ponto de vista da empresa/sistema, de critérios pré-estabelecidos e específicos para cada etapa.

Para a avaliação de cada critério, a metodologia proposta apresenta diversos quesitos que devem ser ponderados. Para tanto é necessário, primeiro, a parametrização dos termos primários que irão compor o conjunto *Fuzzy*, o qual servirá de referência para a análise. Assim, o usuário poderá ponderar cada quesito com uma Nota, dentro do universo de discurso de 0 a 10, ou um conceito *Fuzzy* conforme parametrizado inicialmente. Neste caso, a metodologia propõe os seguintes conceitos ou termos primários (lingüísticos) para a avaliação dos quesitos: Ruim, Baixa, Boa, Alta e Ótima. Esses conceitos ou a nota referem-se ao Grau de Aderência da empresa/sistema aos requisitos da MCC, examinada implicitamente pelo respectivo quesito. A Figura 5.9 exemplifica uma parametrização do conjunto *Fuzzy* de referência. Vale ressaltar que o processo de parametrização deve ser conduzido por um especialista em MCC e no domínio da aplicação. O conhecimento/experiência deste especialista servirá de base para a definição das funções de pertinência, as quais definirão os termos primários que compõem o conjunto *Fuzzy* de referência.

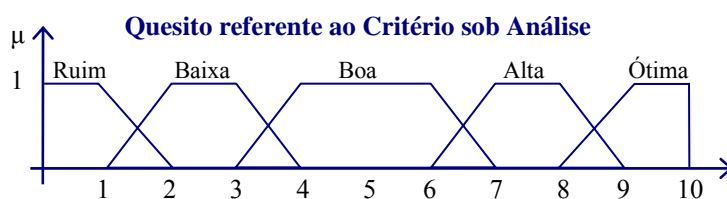


Figura 5.9 – Termos Primários para Avaliação de Pré-Requisitos e Auditoria.



Ponderados os quesitos dos critérios de avaliação, o que se tem é o grau de aderência da empresa/sistema àquela necessidade específica da MCC analisada no respectivo quesito. Cabe agora proceder à agregação dos termos primários afetados pela ponderação dos quesitos para composição do grau de aderência da empresa/sistema ao critério. Deste procedimento resultarão tantos conjuntos *Fuzzy* quantos forem os critérios a serem avaliados. Neste ponto já se tem uma avaliação parcial dos critérios que, de alguma forma, impactarão na implementação do programa de MCC.

Agregando os conjuntos *Fuzzy* resultantes da avaliação dos critérios tem-se o conjunto *Fuzzy* que representa a aderência da empresa/sistema aos pré-requisitos da etapa sob análise. Este conjunto significa implicitamente o quão apta a empresa/sistema está para implantar aquela etapa. A desfuzzificação dos conjuntos *Fuzzy*, resultantes da avaliação dos critérios e da etapa, resulta em uma Nota (valor *crisp*) que representa a aderência da empresa/sistema àquele critério e/ou etapa. Com a avaliação da etapa e seus respectivos critérios característicos, conclui-se o processo de inferência conduzido pelo SBC (Sistema Baseado em Conhecimento) *Fuzzy*.

Em função dos resultados apresentados pelo processo de inferência *Fuzzy*, a equipe estará apta ou não para proceder à implementação daquela etapa da MCC. A implementação de cada etapa deve ser conduzida respeitando-se o procedimento de referência com relação aos objetivos, tarefas, entradas, saídas, controles e mecanismos.

Os mesmos preceitos da fase de pré-implementação da etapa podem ser adaptados para a fase de auditoria da etapa, a diferença é que, no caso da auditoria, a entrada do processo de inferência *Fuzzy* são as saídas do procedimento de referência, cuja conformidade deve ser avaliada. Sendo assim, o encadeamento da metodologia, após estabelecimento dos quesitos para avaliação e parametrização dos conjuntos *Fuzzy*, segue a seguinte seqüência (Figura 5.10): ponderação *Fuzzy* dos quesitos relacionadas agora à conformidade de execução da etapa; agregação *Fuzzy* destes quesitos para avaliação dos critérios de conformidade da etapa; agregação dos conjuntos *Fuzzy* resultantes da avaliação dos critérios a qual, neste caso, origina o conjunto *Fuzzy* representativo do grau de conformidade das saídas da etapa com as exigências do procedimento de referência.

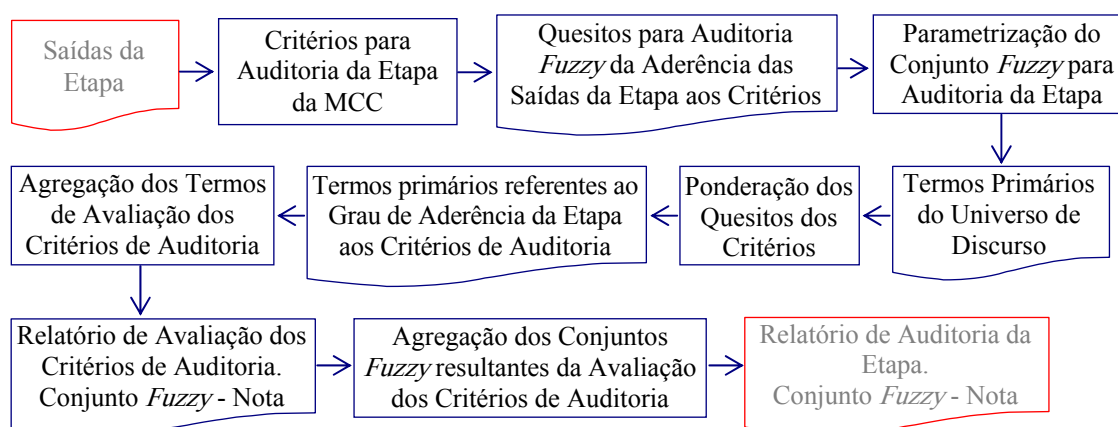


Figura 5.10 – Processo de Auditoria *Fuzzy* das Etapas da MCC.

Cabe ressaltar que, sempre que viável e efetivo, o SBC-*Fuzzy* pode apontar soluções para as não conformidades apresentadas pela empresa/sistema, tanto na fase anterior à implementação da etapa, detectadas na avaliação dos pré-requisitos, quanto na fase posterior à implementação, detectadas na auditoria da etapa.

## 5.5 SUCESSOS E FRACASSOS NA CONDUÇÃO DE UM PROGRAMA DE MCC

Para entender as subjacências do processo de inferência *Fuzzy*, inerente a metodologia proposta, há de se discorrer sobre o que caracteriza o sucesso ou o fracasso de um programa de MCC. Programas de MCC que fracassaram em alcançar os objetivos inicialmente estabelecidos são raramente abordados nas literaturas pesquisadas, o que se vê são casos de aplicação da MCC em diferentes setores ou mudanças na metodologia normatizada da MCC para adequá-la às restrições impostas pela aplicação. Algumas considerações teóricas sobre os pontos críticos de um programa de MCC podem ser encontrados em: Backlund (2003), Moubray (2001), Siqueira (2005), Smith e Hinchcliffe (2004) e Worledge (1993). Exemplos de adaptações na metodologia normatizada da MCC podem ser encontrados em: Johnston (2002), Rajotte e Jolicoeur (2001) e Siqueira (2007). Exemplos de aplicação da MCC podem ser encontrados em: Alkaim (2003), Backlund (2003), Lucatelli (2002), Ribeiro (2005) e Vizzoni *et al*(1999).

Da mesma bibliografia citada no parágrafo precedente, além de outros artigos pesquisados, é possível abstrair alguns critérios, a partir dos quais se pode julgar o êxito ou fracasso de um programa de MCC, entre esses destacam-se (Figura 5.11):



Figura 5.11 – Critérios para Julgamento do Êxito de um Programa de MCC.

Recursos: a MCC requer um significativo investimento de recursos financeiros, tempo e dedicação da equipe de implementação. De acordo com Smith e Hinchcliffe (2004), esses recursos são empregados prioritariamente para treinamento de pessoal e aquisição de novos equipamentos/instrumentos, principalmente aqueles demandados pela manutenção preditiva. A falta desses recursos pode limitar as ações do programa de MCC, culminando, na pior das hipóteses, com seu abandono.

Retorno do Investimento: o retorno do investimento no programa de MCC pode ser de longo prazo<sup>3</sup>. Subestimar os investimentos financeiros ao longo do ciclo de vida da MCC, assim como seu tempo de retorno, pode resultar na perda de apoio da alta gerência, descrédito e abandono do programa de MCC (WORLEDGE, 1993).

Tempo: os objetivos da MCC são de longo prazo e o tempo necessário para sua implementação pode ser longo, dependendo da complexidade do sistema, porém, as expectativas que antecedem o programa de MCC são em geral imediatistas. Acomodar essas expectativas ao longo do ciclo de vida do programa de MCC pode minimizar possíveis frustrações (BACKLUND, 2003).

Comprometimento: a MCC impõe mudanças internas que exigem o comprometimento da equipe de manutenção e operação. A falta desse comprometimento pode inviabilizar as ações de manutenção e desacreditar o programa de MCC (MOUBRAY, 2001).

Condições para Aprimoramento Contínuo: a MCC necessita de aprimoramento contínuo o que pressupõe: realimentação; coleta de dados de falha; atualização dos mecanismos de detecção da falha; e revisões periódicas do manual de MCC, entre outras ações que visam manter atualizado o programa de MCC ao longo de todo o seu ciclo de vida (SMITH e HINCHCLIFFE, 2004).

Resultados e Benefícios: os resultados e benefícios de um programa de MCC devem ser analisados sob diferentes perspectivas, dentre as quais destacam-se: dos interessados na empresa/sistema “*stakeholders*” e suas expectativas; da quantificação dos resultados para avaliação e refinamento das ações; dos benefícios para a empresa/sistema proporcionados pelo sucesso da implementação da MCC; da melhoria na qualidade do produto e/ou serviço (BACKLUND, 2003).

A proposta deste trabalho vem preencher a lacuna existente entre a teoria, muitas vezes simplista, e as situações práticas que podem inviabilizar um programa de MCC e que não encontram respaldo nas normas de conduta. Não se trata, conforme explanado no Capítulo 1, de uma metodologia para implantação da MCC, mas sim de uma metodologia para certificar a aderência da empresa/sistema aos requisitos da MCC e a conformidade na implementação das etapas com as normas e bibliografias pesquisadas.

Com isso pretende-se minimizar os riscos de insucesso dos programas de MCC, garantindo sua aderência às necessidades da empresa/sistema e consonância com as boas práticas de implementação e gestão. Nesse sentido, os seguintes mecanismos se complementam buscando alcançar estes objetivos: o conhecimento heurístico de especialistas em implantação e gestão de programas de MCC, incorporado no SBC-*Fuzzy* desenvolvido; ferramentas, baseadas em lógica *Fuzzy*, para diagnóstico e apoio a decisão tanto na fase anterior quanto posterior a implantação da MCC; e relatórios de avaliação ponderando as características da empresa/sistema e as necessidades da MCC, indicando ações de melhoramento sempre que possível.

---

<sup>3</sup> A Taxa de Retorno do Investimento (ROI – *Return on Investment*) pode ser calculada pela seguinte equação:  $ROI = (\text{Investimento} \div \text{Lucro Líquido})$ , assim, obtém-se o tempo necessário para se reaver o capital investido.

Para substanciar a metodologia proposta, os fatores críticos para o sucesso de um programa de MCC devem ser investigados adotando-se de uma visão holística de sua relação com a empresa/sistema. Assim será possível conceber critérios para confrontar as características da empresa/sistema com os pré-requisitos necessários para um programa de MCC e também avaliar a conformidade das tarefas executadas ao longo dos procedimentos de implementação.

Uma revisão criteriosa da literatura pesquisada revela que, apesar de algumas questões técnicas corroborarem para o fracasso dos programas de MCC, o grande obstáculo para o sucesso está nas questões gerenciais relacionadas com o entendimento da metodologia e o planejamento para sua implantação (BACKLUND, 2003; MOUBRAY, 2001; SIQUEIRA, 2005; SMITH e HINCHCLIFFE, 2004; WORLEDGE, 1993). Sendo assim, além dos aspectos específicos inerentes às práticas normatizadas de implementação da MCC, a metodologia proposta analisa os fatores críticos para o sucesso da MCC, sob os seguintes pontos de vista:

- Fatores gerenciais e técnicos da manutenção, incluindo a MCC como uma metodologia que utiliza diferentes técnicas e ferramenta para análise de falhas e definição das ações de manutenção;
- Fatores relacionados com a gestão de projetos, onde, por projeto entende-se a implantação e a gestão do programa de MCC, incluindo os aspectos relacionados às mudanças internas.

Do ponto de vista gerencial e técnico da manutenção, os critérios a serem ponderados pelo usuário contemplam os seguintes aspectos gerais:

- Estratégia de gerenciamento da manutenção ou dos ativos: tamanho da equipe, critérios para planejamento, presença ou não de sistemas computacionais de suporte a manutenção;
- Desempenho da manutenção: ordens de serviço, tarefas acumuladas, técnicas de análise de resultados e desempenho da equipe;
- Cultura da manutenção: nível de cooperação profissional, conservadorismo;
- Competência da equipe de implantação da MCC: habilidades, experiência, conhecimento da metodologia, capacidade para implementação da MCC (disponibilidade de documentação, sistema computacional de apoio, atendimento aos pré-requisitos de cada etapa e conformidade da execução da etapa, atendimento a imposições normativas);
- Abordagem para análise do desempenho da MCC: preparação e coleta de dados, escopo, nível de detalhamento adequado para a análise, padrões de desempenho desejados.

Do ponto de vista da gestão de projetos, os critérios a serem ponderados pelo usuário contemplam os seguintes aspectos gerais:

- Planejamento inicial: limitações, foco, escopo, objetivos, considerações econômicas e de adequação (conveniência);
- Abordagem e estratégia para implementação: abordagem e estratégias para curto e médio prazo, estratégias para customizações, abordagem e estratégias para consolidação das etapas;

- Controle, monitoramento e avaliação do programa de MCC: planejamento e estruturação para avaliação dos resultados e benefícios;
- Gestão de recursos: planejamento monitoramento e controle dos recursos financeiros, humanos e de tempo para implementação do programa de MCC;
- Planejamento e preparação para gestão das mudanças internas: abordagem e estratégia para conscientização, comprometimento, envolvimento, suporte, gestão das expectativas, treinamento, resistências internas, sobrecarga de trabalho inicial, disponibilidade de informação e transparência do processo.

Com foco nos aspectos técnicos e gerenciais, abordados neste item, e em exigências normatizadas, será possível conceber os critérios que irão nortear a avaliação dos pré-requisitos e a auditoria de cada uma das etapas da MCC.

## 5.6 ESTRATÉGIA PARA AVALIAÇÃO DOS PRÉ-REQUISITOS DAS ETAPAS DA MCC

Com o procedimento de referência para implantação da MCC, e a metodologia proposta para seu diagnóstico, foi possível conceber uma estratégia para avaliar o grau de aderência da empresa/sistema às necessidades da MCC, levando em conta os fatores críticos de sucesso citados no item precedente, processo inverso ao proposto por Fuentes (2006). A estratégia proposta consiste na ponderação de quesitos, os quais refletem: as competências e habilidades dos operadores, mantenedores e da equipe de implementação da MCC; o comprometimento dos níveis gerenciais da empresa com o programa de MCC; as características do sistema ao qual a MCC será implantada; e o atendimento aos pré-requisitos de cada uma das etapas da MCC. A ponderação dos quesitos deve ser conduzida de forma que todos os envolvidos na implementação das etapas da MCC, pertencentes ou não à equipe de implementação, possam participar do processo.

Ao final do processo de ponderação dos quesitos, o que se tem são as informações sobre os pontos fortes e fracos da empresa/sistema. Estas informações, em conjunto com o processo de inferência do SBC-*Fuzzy*, irão balizar a avaliação dos seguintes aspectos: pontos que necessitam ou não de melhoramentos para adoção da MCC; planejamento para implementação das etapas; deficiências e/ou carências da equipe de implementação; otimizações possíveis no processo de implementação das etapas; necessidades de apoio ou envolvimento institucional; e necessidades operacionais, logísticas e estruturais;

A ponderação dos quesitos compõe a avaliação do critério correspondente que, em conjunto com os demais critérios, da etapa sob análise, irão compor sua avaliação final. Esse processo de avaliação e composição dos conjuntos *Fuzzy* correspondentes forma o relatório final de avaliação dos pré-requisitos da etapa.

Os próximos itens explicitam os critérios e seus respectivos quesitos. A ponderação destes quesitos subsidia o processo de inferência *Fuzzy* que resulta na avaliação dos critérios. Os resultados individuais dessa avaliação disparam um novo processo de inferência para a avaliação de

cada uma das etapas do processo de implantação da MCC. Este processo de ponderação dos quesitos e inferência *Fuzzy* para avaliação dos critérios e da etapa sob análise é válido para todas as etapas, tanto para a análise dos pré-requisitos quanto para auditoria.

Especificamente na análise dos pré-requisitos, dois quesitos são comuns a todas as etapas, os quais são (Apêndice F): a verificação de atendimento ao procedimento de referência para implantação da MCC; e o desempenho atingido na auditoria da etapa anterior. O primeiro quesito garante que a equipe de implementação da MCC dispõe das entradas, controles e mecanismos exigidos pelo procedimento de referência. Assim, pode iniciar o processo de implementação da etapa sob análise, estando preparada para cumprir com os objetivos da etapa e executar suas tarefas inerentes. O segundo quesito garante que a etapa anterior foi implementada a contento e suas saídas atingiram um grau mínimo de aderência ao procedimento de referência. Isto sugere que a equipe que conduz o processo de implantação está apta a iniciar a implementação de uma nova etapa, utilizando os resultados da etapa anterior.

#### 5.6.1 Avaliação dos Pré-Requisitos da Etapa 0

A Etapa 0 foi assim nomeada por não constar em nenhuma bibliografia ou norma referente à implantação da MCC. Entretanto, a pesquisa bibliográfica e a elicitación de conhecimento dos especialistas, que antecederam a concepção da metodologia proposta, revelou que:

- Nem todas as empresas/sistemas estão preparadas para adotar a MCC como estratégia de gestão da sua manutenção, e o fazem, muitas vezes, por questões mercadológicas ou decisões intuitivas dos tomadores de decisão. As questões mercadológicas estão relacionadas principalmente com a aquisição de softwares proprietários de gestão da manutenção (CMMS – *Computer Maintenance Management Systems*) os quais nem sempre atendem às necessidades específicas de uma determinada empresa ou sistema. Decisões intuitivas são, invariavelmente, parciais e não avaliam todo o contexto da aplicação e/ou empresa;
- Esta falta de aderência aos requisitos mínimos exigidos pela MCC resulta em falta de comprometimento, descrédito e abandono do programa de MCC;
- Além da aderência da empresa/sistema aos requisitos exigidos pela MCC, deve haver comprometimento da alta gerência, dos operadores, da equipe de implementação e recursos financeiros e humanos para execução das etapas e implementação do programa de MCC.

Portanto, o objetivo da Etapa 0, conforme já explicitado no procedimento de referência, é verificar se a MCC é adequada para a empresa/sistema em seu estágio atual de desenvolvimento e estruturação. Os seguintes critérios compõem a avaliação dos pré-requisitos da Etapa 0: Disponibilidade da Informação/Recursos; Condição e Desempenho Atual da Manutenção; Sistema Computacional de Suporte; Cultura da Manutenção/Empresa; e Gerenciamento Estratégico da

Manutenção. Os próximos itens justificam os quesitos que constituem cada um dos critérios, resumidos na Figura 5.12 e detalhados no Apêndice F.

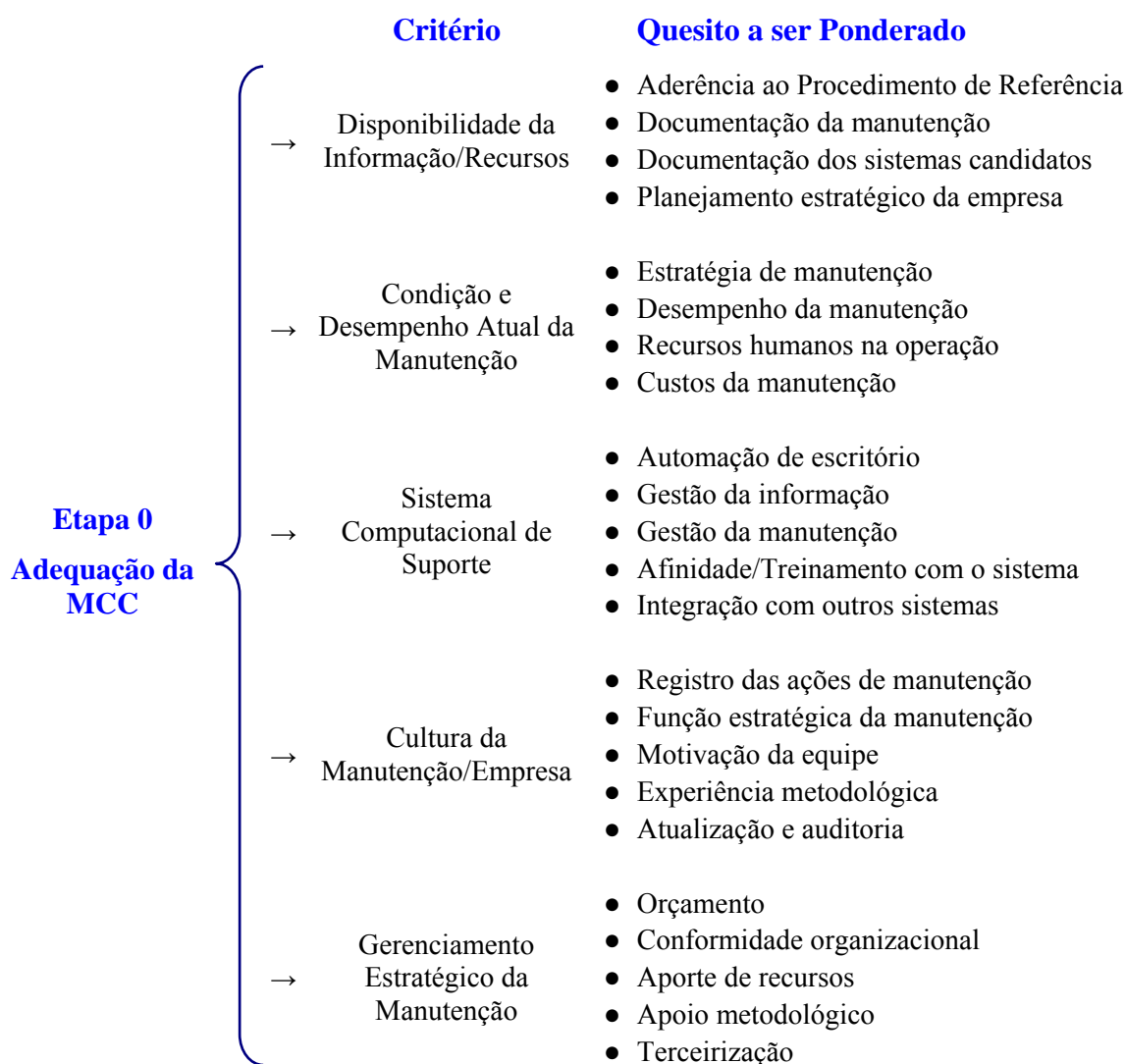


Figura 5.12 – Avaliação dos Pré-Requisitos da Etapa 0.

### Critério 1 (C1) – Disponibilidade da Informação/Recursos

Além do atendimento ao procedimento de referência, este critério analisa: a existência de documentação adequada e consistente tanto das ações de manutenção quanto dos sistemas candidatos a implantação da MCC; e a consistência do planejamento estratégico da empresa com relação à manutenção.

A documentação das ações de manutenção torna as decisões da MCC mais próximas das características da empresa, garantindo a inclusão dos modos de falha que já ocorreram no passado e a reanálise das ações que se revelaram eficientes ou não. Neste caso, a inexistência de documentação referente às ações de manutenção pode comprometer a efetividade da aplicação dos diagramas de decisão da MCC.

A documentação do sistema é importante para a condução dos processos decisórios da MCC, pois caso o mesmo seja complexo do ponto de vista tecnológico e/ou excessivamente hierarquizado, podem ocorrer problemas na etapa de definição dos sistemas e identificação das fronteiras e interfaces.

O apoio e o comprometimento institucional são importantes para o sucesso do programa de MCC. Portanto, a inclusão da manutenção em seu planejamento estratégico espelha a visão da empresa, e é um indício da pré-disposição de engajamento às novas propostas da MCC.

### Critério 2 (C2) – Condição e Desempenho Atual da Manutenção

O objetivo deste critério é avaliar o estágio atual da equipe/setor de manutenção da empresa.

Como estratégia de manutenção, a MCC privilegia ações preditivas. Portanto, é importante que a Empresa/Sistema no qual a MCC será implantada, tenha um histórico/experiência nesta estratégia de manutenção para facilitar o processo de treinamento da equipe de manutenção.

Um desempenho homogêneo e satisfatório das ações de manutenção, além de uma equipe preparada reflete, em geral, um conhecimento do sistema a ser mantido, o que é adequado às necessidades da MCC. A falta de homogeneidade no desempenho da manutenção pode representar um problema para a implantação da MCC em todo o Sistema/Empresa. Convém, neste caso, escolher subsistemas onde este quesito seja o mais aderente possível e preparar adequadamente os mantenedores.

Um número reduzido de pessoas envolvidas na operação do sistema, quando comparado a sistemas fabris similares, pode indicar um elevado grau de automação. Neste caso, a MCC é preferível frente a outras metodologias de gestão da manutenção (Ex.: TPM – Manutenção Produtiva Total), uma vez que: o baixo número de operadores pode inviabilizar seu engajamento como aliados da manutenção; e a automatização do sistema (Ex.: softwares de supervisão e controle) pode auxiliar no registro histórico das falhas e geração de dados confiabilísticos e de manutenibilidade, os quais são essenciais para a realimentação do programa de MCC.

Se os custos diretos e indiretos devidos à manutenção são altos, com o sistema atual de gestão da manutenção, quando comparados a outros sistemas fabris similares, a implantação da MCC pode ser vantajosa. Apesar do custo inicial da MCC ser alto, quando adotada em sistemas com pouca manutenção preditiva, os custos totais tendem a diminuir ao longo do tempo (MOUBRAY, 2001). Entretanto, um estudo econômico/financeiro mais elaborado deve ser conduzido antes da adoção da MCC, caso o fator econômico seja relevante, dado o tamanho e a complexidade do sistema e a pouca ocorrência de ações preditivas.



### Critério 3 (C3) – Sistema Computacional de Suporte

Este critério avalia as funcionalidades e a abrangência do sistema computacional da empresa como ferramenta de suporte à gestão da manutenção bem como a afinidade dos mantenedores com sua utilização.

Quanto à automação de escritório, segundo Siqueira (2005), a implantação da MCC não exige muitos recursos, visto que bastam os programas tradicionais de processamento de textos, planilhas eletrônicas e banco de dados. Para padronizar a análise, a empresa pode adotar softwares específicos para implantação da MCC.

Algumas etapas do processo de implantação e gestão da MCC são muito dependentes de um sistema de gestão da informação para apoio a tomada de decisão e as atividades de manutenção. Neste caso, deve-se verificar se as ferramentas computacionais disponíveis atendem às necessidades da MCC e se estão integradas com o restante da empresa.

A MCC baseia suas decisões em dados estatísticos de falhas, assim, pode haver benefícios para o programa de MCC caso sistemas computacionais de gestão da manutenção já tenham sido introduzidos e/ou são utilizados na empresa. Neste caso, deve-se verificar se tais sistemas suprem as necessidades da MCC e se os dados disponíveis são confiáveis.

Os sistemas computacionais de apoio a MCC, tanto na fase de implantação como na fase de gestão, só serão efetivos se a equipe de manutenção tem afinidade com os mesmos e o seu uso está incorporado em suas práticas diárias, o que pressupõe que tal sistema deva ser de uso amigável. Caso contrário, um programa de treinamento e conscientização dos mantenedores deve preceder a implantação da MCC.

Para facilitar e garantir as boas práticas na condução do programa de MCC, o software utilizado na gestão da manutenção deve ter as funcionalidades mínimas exigidas pela metodologia MCC. Caso contrário o mesmo deve permitir a integração com softwares específicos para gestão da MCC garantindo, assim, a padronização, realimentação e customização do programa de MCC, dentro dos padrões vigentes.

### Critério 4 (C4) – Cultura da Manutenção/Empresa

Este critério avalia a cultura e as práticas dos mantenedores na condução de suas atividades e o envolvimento da empresa na gestão da manutenção.

Como a MCC baseia suas decisões em dados estatísticos de falhas, o registro das ações de manutenção, de forma suficientemente detalhada para suportar uma análise estatística de tais ações, tornará as decisões da equipe de implementação mais acertadas. Porém, cabe verificar a consistência

dos registros das ações de manutenção para garantir a confiabilidade das decisões da equipe de implementação.

A implantação da MCC pressupõe mudanças de paradigmas dentro da empresa e do próprio setor de manutenção, o que está fortemente atrelado ao apoio dos níveis gerenciais. Para tanto, a manutenção deve ter uma função estratégica dentro da empresa e ocupar um lugar de destaque na estrutura organizacional. O comprometimento de toda a empresa com o sucesso do programa de MCC deve ser garantido ao longo de todo o seu ciclo de vida.

As mudanças de paradigmas impostas ao setor de manutenção, pelo programa de MCC, exigem uma equipe e/ou setor de manutenção motivado e consciente de seu papel estratégico dentro de empresa, para que tais mudanças sejam efetivas. Esta motivação e conscientização dos mantenedores devem ser mantidas ao longo de todo o ciclo de vida do programa de MCC.

A experiência da equipe de manutenção com outras metodologias de gestão e sua evolução para a MCC é benéfica para o sucesso do programa de MCC, facilitando o treinamento e a assimilação dos conceitos pelos envolvidos no processo de implantação.

A sustentabilidade de um programa de MCC está fortemente atrelada à sua atualização e à realimentação dos dados que nortearam suas decisões, com o objetivo de corrigir os desvios de conduta e/ou o planejamento inicial. Além disto, há que se considerar o monitoramento e a auditoria contínua do programa, por pessoal interno ou externo a empresa, para garantir a correta implementação das etapas, na fase de implantação, e a correta condução do programa na sua fase de execução.

#### Critério 5 (C5) – Gerenciamento Estratégico da Manutenção

Este critério avalia a política de gerenciamento da manutenção adotada pela empresa. Assim é possível vislumbrar os obstáculos, facilidades e oportunidades que a equipe de implementação encontrará.

Os custos iniciais para implantação da MCC dependem da estrutura já existente na empresa e da complexidade do sistema ao qual será implementada. Deve-se considerar, entretanto, a necessidade de uma previsão orçamentária para treinamento de pessoal dentro da filosofia da MCC, viabilizar recursos humanos e implantar ações preditivas e sistemas computacionais de suporte a MCC. Uma previsão orçamentária, anterior a implantação da MCC, é recomendada para avaliar o aporte financeiro adequado.

As decisões da MCC podem estabelecer modificações na política de gestão dos ativos da empresa, que vão desde serviços operacionais ou aumento de ações preditivas até mudanças de projeto. Estas decisões devem estar em conformidade e ter suporte de outros setores da empresa.

Cabe a equipe de implementação uma avaliação cuidadosa para verificar as limitações impostas às suas decisões e garantir o envolvimento de todos os setores da empresa afetados pelas decisões da MCC, para anuência e comprometimento com tais decisões.

A MCC demanda investimentos contínuos em aprimoramento de ações preditivas e de acompanhamento estatístico das ações de manutenção e das falhas funcionais. Os níveis gerenciais da empresa devem considerar a manutenção como um investimento para viabilizar as necessidades da MCC. Neste caso, cabe a equipe de implementação e aos executores do programa de MCC, a proposição de um cronograma de investimentos que considere as limitações de investimentos na MCC para adequar seus custos e maximizar os benefícios ao longo do seu ciclo de vida.

A MCC é parte de um processo geral/global de gerenciamento da manutenção, com métodos e técnicas. Assim, além do comprometimento dos mantenedores, com o programa de MCC, deve haver harmonia entre os diversos métodos e técnicas adotadas pelo setor de manutenção. Os controles e mecanismos externos de suporte devem estar adaptados a estas diversidades, garantindo sua sinergia e maximizando seus resultados.

A MCC pode não ser a melhor política de gestão da manutenção para toda a empresa/sistema, neste caso outras metodologias de gestão da manutenção podem ser utilizadas em paralelo ou integradas à MCC. Neste caso, um estudo prévio deve ser desenvolvido, para avaliar qual a melhor política da gestão da manutenção que deve ser incorporada ou utilizada em paralelo com a MCC, dadas as características da empresa/sistema.

A MCC é muito dependente de dados históricos e da experiência da equipe de manutenção. Se grande parte da manutenção é terceirizada, antes da implantação da MCC, cabe uma avaliação criteriosa dos aspectos relacionados à gestão do conhecimento. Caso a equipe terceirizada não esteja adaptada às novas exigências do programa de MCC, presume-se uma revisão prévia dos contratos de terceirização para garantir que estes requisitos sejam contemplados.

### 5.6.2 Avaliação dos Pré-Requisitos da Etapa 1

A Etapa 1 trata do planejamento para implantação da MCC e dos critérios e necessidades que se interpõem na formação da equipe de implementação. Os seguintes critérios compõem a avaliação dos pré-requisitos da Etapa 1: Disponibilidade da Informação/Recursos; Formação da Equipe; Planejamento; Estratégia de Implementação.

Os próximos itens justificam os quesitos que constituem cada um dos critérios, os quais estão resumidos na Figura 5.13 e detalhados no Apêndice F.

	<b>Critério</b>	<b>Quesito a ser Ponderado</b>
<b>Etapa 1 Preparação</b>	→ Disponibilidade da Informação/Recursos	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Aderência ao Procedimento de Referência</li> <li>● Auditoria da Etapa 0</li> <li>● Apoio computacional</li> <li>● Identificação dos sistemas candidatos</li> </ul>
	→ Formação da Equipe	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Patrocinador interno</li> <li>● Facilitador</li> <li>● Disponibilidade e disposição da equipe</li> <li>● Envolvimento e comprometimento das gerencias</li> <li>● Substituições</li> </ul>
	→ Planejamento	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Gestão de projetos</li> <li>● Status do projeto de implantação</li> <li>● Acúmulo de trabalho</li> </ul>
	→ Estratégia de Implementação	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Contexto da empresa/sistema</li> <li>● Projeto piloto</li> <li>● Programas similares</li> </ul>

Figura 5.13 – Avaliação dos Pré-Requisitos da Etapa 1.

#### Critério 1 (C1) – Disponibilidade da Informação/Recursos

Este critério avalia se a empresa/sistema possui um grau mínimo de requisitos para iniciar o procedimento de implantação da MCC.

Um software comercial específico para implantação e gestão de programas de MCC pode acelerar e padronizar o processo de implantação (SIQUEIRA, 2005). Neste ponto do processo de implantação a equipe já tem noção do tamanho e complexidade dos sistemas candidatos à implementação da MCC. Portanto, já tem condições de avaliar o custo benefício do uso de softwares comerciais específicos para MCC ou de automação de escritório aliados ao software existente de gestão da manutenção. Há que se considerar, neste caso, que softwares de apoio ao programa de MCC não são utilizados somente na fase de implantação, mas também na sua fase de execução.

Algumas etapas da MCC exigem uma identificação única e inequívoca dos seus itens/componentes para a organização da documentação e definição das fronteiras dos sistemas. Assim, é importante, na etapa de preparação, certificar-se de que este pré-requisito esteja atendido, caso contrário, é recomendável providenciá-lo para agilizar o processo de implantação. Siqueira (2005) recomenda a utilização de um dos seguintes sistemas: Codificação Operacional; Codificação Patrimonial; ou Codificação Hierárquica.

## Critério 2 (C2) – Formação da Equipe

Além do conhecimento da metodologia, a implantação de um programa de MCC exige uma equipe conhecedora do sistema no qual a MCC será implantada e em consonância com os objetivos e cultura da empresa (MOUBRAY, 200; SIQUEIRA, 2005; SMITH E HINCHCLIFFE, 2004). A equipe de implementação possui as seguintes responsabilidades: desenvolver e executar o programa MCC para sistemas e instalações escolhidas; e estabelecer e gerir os recursos necessários à sustentação do programa. Dependendo da instalação, a equipe de implementação será composta por representantes das seguintes categorias profissionais: mantenedores da instalação; operadores da instalação; inspetores de segurança; inspetores de qualidade; especialistas nos equipamentos; fornecedores e fabricantes dos equipamentos; e laboratórios de ensaios. A complexidade e dimensão do sistema serão determinantes na necessidade da participação destes representantes.

Este critério avalia as habilidades e competências da equipe de implementação e seus substitutos, assim como o envolvimento e comprometimento da empresa.

A celeridade da implantação e a estruturação necessária para a equipe de implementação estão fortemente atreladas à designação, por parte da empresa, de um patrocinador interno. É ele que, legitimado pelos níveis gerenciais e com as atribuições requeridas, mobilizará os recursos humanos e financeiros exigidos ao longo do processo de implantação.

A bibliografia pesquisada revela que muitos programas de MCC são desacreditados e abandonados por erros conceituais e táticos cometidos ao longo do processo de implantação, por exemplo: falta de clareza entre causa e modo de falha, falta de critérios para estabelecer a abrangência da análise e falta de um projeto piloto (BACKLUND, 2003; BLANCO, 2007). Portanto, é necessário que o facilitador do processo conheça profundamente a metodologia e, com uma abordagem holística, conduza o processo respeitando os aspectos teóricos, normativos e práticos da MCC. Ao facilitador cabe: aplicar a lógica MCC; conduzir a análise; conduzir as reuniões; administrar o tempo; e administrar a logística. O sucesso do processo de análise dependerá da competência do facilitador, o qual terá de atingir os seguintes objetivos: assegurar a aplicação correta da MCC; buscar o consenso entre os participantes; garantir a avaliação dos itens significantes; agilizar as reuniões de revisão; documentar adequadamente as etapas cumpridas; e providenciar aprovação dos resultados. Ao facilitador compete também garantir a aderência dos métodos de análise às necessidades do planejamento para implementação, limitando-se estritamente ao escopo definido.

O envolvimento e comprometimento de toda a empresa no processo de implantação da MCC são importantes para garantir seu sucesso na sua fase de execução. Para os níveis hierárquicos inferiores é salutar manter um canal de comunicação que viabilize, entre outros: a coleta de sugestões e informação sobre o sistema no qual a MCC será implantada; a divulgação das ações da equipe de implementação; e a divulgação de mudanças nas regras de conduta e ações de manutenção após a implementação do programa. O engajamento dos níveis hierárquicos superiores

garante, ainda: credibilidade; apoio logístico durante a fase de implantação; recursos financeiros tanto na fase de implantação quanto na fase de execução do programa; e alinhamento com o planejamento estratégico da empresa.

O processo de implantação da MCC é relativamente longo e, em algumas etapas, demanda um conhecimento especializado e peculiar do sistema. Nestes e em outros casos, alguns membros da equipe de implementação precisam eventualmente ser substituídos, seja por motivos alheios aos interesses da equipe ou pela limitação de habilidades e competências em aspectos específicos, de determinada etapa, do processo de implantação. Neste último caso pode ocorrer também a inclusão de novos membros à equipe de implementação. Porém, em todos os casos há que se prever, no início do processo, o treinamento adequado na metodologia MCC, para garantia sinergia dos novos membros com o restante da equipe de implementação.

### Critério 3 (C3) – Planejamento

A implantação da MCC exige uma decisão empresarial, não só pela importância das mudanças, mas também pelo volume de recursos financeiros e humanos exigidos (SIQUEIRA, 2005). Portanto, segundo Blanco (2007), um planejamento estratégico detalhado e com uma visão holística pode significar a diferença entre o sucesso e o fracasso do programa de MCC. Blanco (2007) adverte também que, o planejamento deve ser executado tanto para o projeto piloto, quanto para as expansões do programa de MCC.

Para organizar, garantir o comprometimento dos envolvidos e controlar o processo de implantação é recomendável a utilização de uma metodologia de gestão de projetos para implementação do programa de MCC. Esta metodologia deve estruturar a implementação levando em conta o planejamento estratégico, tático e operacional da empresa, com relação ao sistema no qual a MCC será implantada.

Além da contribuição na missão, objetivos e negócios da empresa, a implantação e uso da MCC deverão constar como uma de suas diretrizes estratégicas. Em especial, a análise do ambiente interno, deverá identificar se esta área constitui um dos pontos fortes da empresa ou se será necessário buscar esta competência no mercado externo. Uma vez tomada a decisão, os objetivos e metas deverão ser estabelecidos e acompanhados por indicadores e padrões de desempenho específicos da manutenção. Os marcos de implantação em cada período de planejamento deverão ser claramente estabelecidos e difundidos na empresa, sendo avaliados com as demais metas estratégicas. Sem estas definições, a iniciativa não terá o respaldo necessário quando da implementação nos níveis táticos e operacionais da empresa.

A implantação da MCC requer uma dedicação intensa dos membros da equipe de implementação exigindo redução da carga normal de trabalho, proporcional a celeridade esperada para implementação. Dentre as principais atividades, que demandam tempo e dedicação da equipe, estão: definição do planejamento; busca de fonte de dados para embasar a tomada de decisão;

treinamentos; e reuniões para definição diversas em todas as etapas do procedimento de referência para implementação da MCC. A liberação da equipe de implementação deve estar acordada com a alta gerência. Isto ratifica o comprometimento da empresa e a importância do programa de MCC podendo, também, facilitar o engajamento dos diversos setores no processo de implantação e execução do programa.

#### Critério 4 (C4) – Estratégia de Implementação

A MCC pode utilizar várias estratégias de implementação. Entre as mais comuns, citam-se: método de força-tarefa treinada, o qual consiste na seleção de um grupo de pessoas com a missão de conduzir a análise em toda a empresa; método seletivo de instalações críticas, no qual se escolhe apenas as instalações consideradas críticas para aplicação da metodologia; método abrangente de instalações simultâneas, que consiste na implementação paralela com várias equipes de implementação; e método do projeto piloto, que consiste na escolha de uma pequena instalação onde será aplicada a metodologia, a título de teste e treinamento, antes de estender a implantação às demais instalações. O projeto piloto é sempre recomendado no primeiro contato da empresa com um programa de MCC. A escolha das demais estratégias depende do nível de maturidade e desenvolvimento da engenharia de manutenção da empresa.

Algumas variações metodológicas de implementação são possíveis, entre as variantes mais comuns estão (SIQUEIRA, 2005): validação da manutenção existente, onde são analisadas apenas as tarefas atuais, dispensando-se a análise formal de todos os modos de falha da instalação e de outras atividades preventivas possíveis; exclusão de modos de falha não críticos, onde são eliminados, *a priori*, vários modos de falha considerados de difícil ocorrência; análise expedita por analogia, onde são copiados os resultados da análise de instalações similares; e análise expedita por categorias, que consiste na avaliação simultânea de uma classe de itens, considerados similares. Seja qual for a variante metodológica, será necessário garantir o treinamento adequado dos responsáveis, especialmente nas análises expeditas, para evitar desconhecimento do processo pelos responsáveis pela execução da manutenção.

Para garantir o engajamento e comprometimento de toda a empresa com o programa de MCC, a equipe de implementação deve tomar suas decisões com uma visão holística da empresa/sistema. Assim, deverão ser levados em conta, entre outros: o contexto operacional do sistema; a cultura da empresa em engenharia de manutenção e nos relacionamentos interdepartamentais; o histórico de gestão do setor de manutenção e da empresa; e a política da empresa com relação ao sistema no qual a MCC será implantada.

Conforme mencionado, a primeira implantação de MCC em qualquer empresa deve ser em um projeto piloto de pequenas proporções. Isto produzirá resultados imediatos garantindo segurança no processo e avaliação da metodologia, permitindo contornar as adversidades encontradas quando da expansão para outros sistemas.

Programas de MCC similares auxiliam o processo de implantação, sobretudo nas análises expeditas, reduzindo o tempo para implementação das etapas e auxiliando no dimensionamento dos recursos humanos, financeiros, estruturais e logísticos. Entretanto, a equipe de implementação deve estar preparada para a utilização de sistemas similares como benchmarking, a fim de evitar desvios de conduta na implementação das etapas e insucessos na fase de execução do programa.

### 5.6.3 Avaliação dos Pré-Requisitos da Etapa 2

Ao iniciar o processo de implantação é possível que a equipe de implementação se depare com a existência de diversos sistemas ou subsistemas onde a MCC poderia ser profícua. Entretanto, em alguns casos, uma implantação de largo escopo, sem um amadurecimento em MCC por parte da empresa, pode se mostrar ineficiente e propensa ao fracasso. Os seguintes motivos ratificam este conceito: dificuldade de previsão orçamentária, resultando em falta de recursos humanos e financeiros; força da cultura tradicional da empresa, que gera resistência para mudanças abruptas de paradigmas; desistência devido ao volume intenso de trabalho; tempo longo para os primeiros resultados, o que pode ensejar a desmotivação da equipe de implementação e dos mantenedores.

Portanto, não havendo um sistema pré-definido nesta etapa, deve-se estabelecer um método multicritério para hierarquizar os sistemas candidatos, de modo a identificar qual o sistema onde a implantação da MCC seja mais vantajosa. Identificado este sistema e suas fronteiras, procede-se a sua documentação. Os seguintes critérios compõem a avaliação dos pré-requisitos da Etapa 2: Disponibilidade da Informação/Recursos; e Estratégia de Seleção. Os próximos itens justificam os quesitos que constituem os critérios, resumidos na Figura 5.14 e detalhados no Apêndice F. Havendo de antemão um sistema de consenso, a aderência aos pré-requisitos desta etapa também deve ser observada.

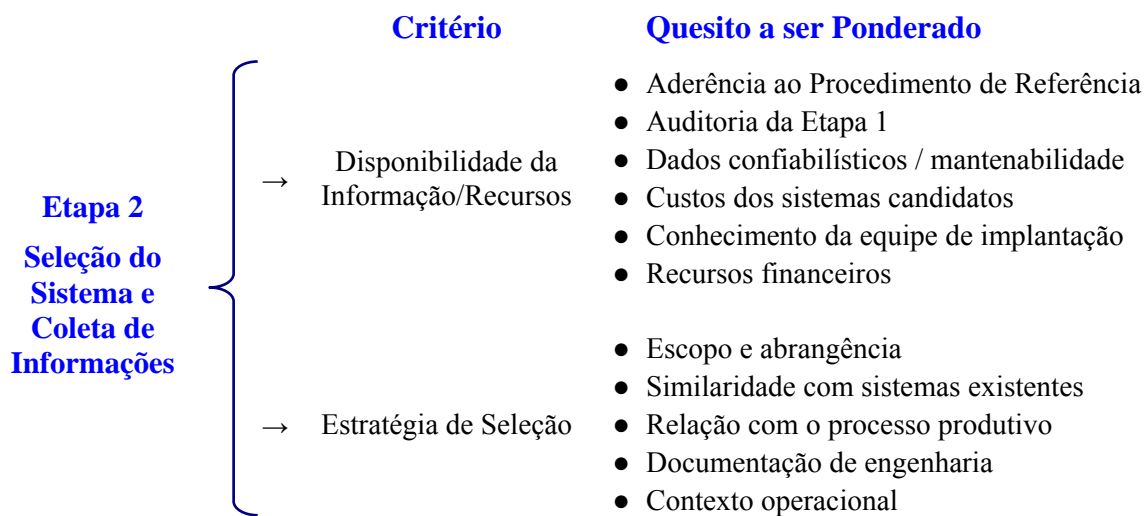


Figura 5.14 – Avaliação dos Pré-Requisitos da Etapa 2.



### Critério 1 (C1) – Disponibilidade da Informação/Recursos

Este critério avalia a disponibilidade das informações básicas e relevantes para a tomada de decisão que fundamentará a estratégia para escolha do sistema ao qual a MCC será implantada.

Para selecionar, entre os sistemas candidatos, aquele no qual a MCC será implantada, a norma IEC 60300-3-11 sugere que se leve em conta sua significância para a segurança, disponibilidade e economia do processo. Métodos qualitativos e quantitativos podem ser utilizados, baseados nas funções desenvolvidas pelos sistemas e em indicadores de criticidade e de desempenho pertinentes ao processo. É indispensável, ainda, segundo esta norma, que sejam documentados os métodos de seleção, os critérios utilizados e os resultados obtidos, iniciando-se pela identificação dos sistemas.

Para que a tomada de decisão frente aos sistemas candidatos seja fundamentada quantitativamente, é importante que os dados estatísticos de confiabilidade e manutenibilidade estejam disponíveis e suportem uma análise estatística. Do mesmo modo, para maximizar os benefícios advindos da implantação da MCC, é recomendável uma análise quantitativa dos custos atuais dos sistemas candidatos para avaliar qual deles se beneficiaria mais com a implantação da MCC.

A fim de que as decisões da equipe de implementação sejam as mais acertadas possíveis, tanto na escolha do sistema quanto na aplicação dos diagramas de decisão, é importante que a mesma tenha um conhecimento profundo das questões técnicas, de segurança e ambientais relacionadas aos sistemas candidatos. Em pontos específicos de aplicação da metodologia MCC, caso este conhecimento se demonstre insuficiente, é recomendável agregar temporariamente à equipe, pessoal com competência e habilidade para auxiliar a análise.

Nesta etapa é importante uma visão holística da implantação da MCC, para compatibilizar a escolha do sistema com o planejamento estratégico da empresa com relação ao programa de MCC. Deve-se prever, para todo o ciclo de vida do programa de MCC, os custos diretos e indiretos da escolha de um ou outro sistema.

### Critério 2 (C2) – Estratégia de Seleção

Neste critério, os quesitos a serem ponderados ratificam ou não os sistemas como candidatos realmente consistentes a implantação da MCC. Os questionamentos servem para alertar a equipe de implementação das características relevantes que o sistema deveria ter, para minimizar o risco de insucesso da implantação da MCC. O que pode ocorrer em sistemas pouco representativos ou com pouca documentação e informação.

O alinhamento ao planejamento estratégico da empresa não se resume apenas aos recursos financeiros e humanos, conforme avaliado no quesito Q6 do critério 1 desta etapa (ver Apêndice F). São importantes, também, para balizar a estratégia da seleção do sistema: os objetivos que se pretende alcançar com a implantação da MCC; a abrangência das análises da MCC para o sistema; e o conhecimento técnico e gerencial, sobre sistema, disponível na empresa.

A implantação da MCC pode ser abreviada se entre os sistemas candidatos houver algum similar a outros, onde a MCC já foi implantada e os dados estão disponíveis para auxiliar a análise, neste caso se poderá fazer a apropriação destes dados. Entretanto, Plucknette (2008) adverte que, a apropriação de dados de sistema similares só poderá ser realizado quando as seguintes circunstâncias ocorrerem concomitantemente: o item ou componente sob análise deve ser do mesmo fabricante, modelo, material e estar sujeito ao mesmo ciclo operacional; as condições ambientais de ambos os sistemas devem ser as mesmas; e os modos de falha específicos do local da instalação devem ser considerados individualmente.

Os benefícios do programa de MCC são evidenciados quando: é forte a relação do sistema com a disponibilidade do sistema global e economia do processo produtivo; e o sistema tem implicações de segurança e/ou meio ambiente. É de se esperar, neste caso, que: haja também uma maior documentação de engenharia do sistema, o que facilitará a definição de suas fronteiras, subsistemas, itens e componentes para as análises requeridas pela MCC; e que se conheça mais profundamente o contexto operacional do sistema facilitando, assim, a definição e a caracterização das funções significantes e a programação das tarefas de manutenção.

#### 5.6.4 Avaliação dos Pré-Requisitos da Etapa 3

A Etapa 3 do procedimento de referência trata da elaboração da FMECA para o sistema escolhido na etapa anterior. Embora a FMECA seja uma metodologia consagrada para análise das causas e dos efeitos dos modos de falha, algumas limitações de natureza administrativa e técnica são observadas na sua aplicação prática. As questões administrativas segundo Antonietti (2002) envolvem: dificuldades no relacionamento interpessoal; e falhas no planejamento e na condução das reuniões. As questões técnicas, segundo Garcia (2006) envolvem: desconhecimento dos aspectos teóricos e práticos da aplicação da metodologia de FMECA; falta de conhecimento técnico dos participantes da equipe de condução da FMECA; e limitações diversas relacionadas à atribuição dos fatores que compõem o índice de criticidade. Com o objetivo de minimizar os inconvenientes citados anteriormente, os seguintes critérios integram a avaliação dos pré-requisitos da Etapa 3: Disponibilidade da Informação/Recursos; e Competências e Habilidades da Equipe. Os próximos itens justificam os quesitos que constituem cada um dos critérios, resumidos na Figura 5.15 e detalhados no Apêndice F.

##### Critério 1 (C1) – Disponibilidade da Informação/Recursos

Este critério avalia os recursos disponíveis para agilizar as reuniões de FMECA e auxiliar a equipe de implementação no levantamento das informações que compõem a planilha de FMECA.

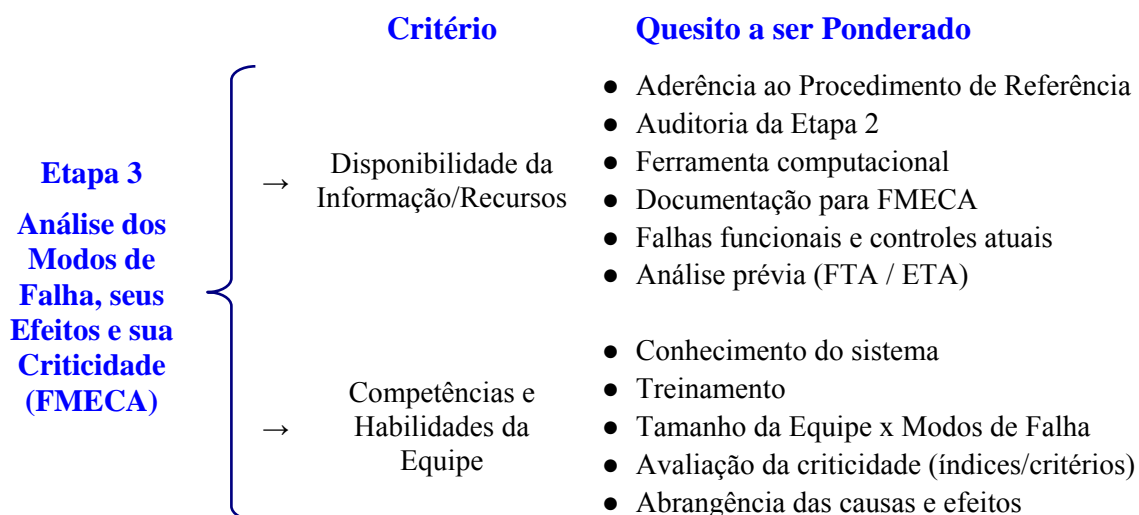


Figura 5.15 – Avaliação dos Pré-Requisitos da Etapa 3.

O levantamento dos dados e preenchimento da planilha de FMECA é a atividade que consome a maior parte do tempo na implantação da MCC. Durante a concepção da FMECA, para se atingir um consenso sobre o assunto e elicitare o conhecimento/informação que irá compor as planilhas, as abordagens tradicionais utilizam-se de reuniões e discussão em grupo. Estas reuniões são, em geral, demoradas e tediosas e podem, eventualmente, prejudicar a análise. A utilização de um software específico para MCC ou FMECA pode acelerar e padronizar a análise. Se este software contar também com um ambiente virtual, onde não haja a necessidade de reuniões presenciais, os especialistas envolvidos poderão programar melhor o seu tempo e sentirem-se mais à vontade para proceder às análises, aumentando assim sua confiabilidade.

A análise da equipe de implantação deve incluir as proteções, instrumentação, monitoramento e controle atrelados ao sistema. Muitas vezes, grande parte destas funcionalidades está no software SCADA (*Supervisory Control And Data Acquisition* – Supervisão Controle e Aquisição de Dados). Portanto, é importante que o sistema que será analisado pela equipe, conte com uma documentação de engenharia consistente, para facilitar a análise e o preenchimento das planilhas de FMECA. Pelo mesmo motivo, antes do início desta etapa, é importante dispor do histórico de falhas funcionais e dos controles atuais para detectar e/ou prevenir as causas dos modos de falha. A equipe de implementação pode se beneficiar também de análises prévias, como árvore de falhas ou eventos (FTA e ETA respectivamente), que podem acelerar a execução da FMECA e resultar em maior consistência nas decisões da equipe.

#### Critério 2 (C2) – Competências e Habilidades da Equipe

Este critério avalia o preparo da equipe de implementação para conduzir a FMECA.

O esquecimento de um modo de falha pode culminar com falhas imprevistas. As principais causas deste problema são: uma equipe de FMECA mal estruturada ou que não tenha total domínio do objeto de estudo do FMECA em questão e a desconsideração de causas relacionadas a pessoas, métodos, equipamentos, materiais e ambiente. Durante a concepção da FMECA, a equipe de implementação deve se certificar de que sua representatividade está adequada às análises demandadas, com membros de todos os setores influenciados ou com influência nas decisões da MCC (MOUBRAY, 2001; PALADY, 2004; SIQUEIRA, 2005; SMITH E HINCHCLIFFE, 2004; STAMATIS, 1995).

Para garantir uniformidade de conhecimento da metodologia da FMECA, compreensão de seus conceitos e a forma correta de preenchimento das planilhas, é importante que todos os membros que participarão da sua execução tenham recebido treinamento adequado e específico em FMECA, antes do início desta etapa.

A celeridade do processo de execução da FMECA, além da capacitação e conhecimento de seus membros, está atrelada também ao número de pessoas envolvidas na sua execução. Siqueira (2005) cita como exemplo que, em uma instalação típica<sup>4</sup>, a análise completa de cada modo de falha leva em média 30 minutos. Cabe lembrar, também, que a demora do processo de implantação da MCC pode postergar seus resultados, desmotivando as pessoas envolvidas e minando o comprometimento dos níveis superiores da empresa ao programa de MCC. Os especialistas envolvidos devem investir um número de horas relativamente elevado no desenvolvimento da FMECA para detalhar adequadamente o sistema. Ambos os extremos envolvidos nesta questão são preocupantes, os quais são (WIREMAN, 2005):

- Análises muito profundas (que tratam subsistemas inferiores ao menor item manutenível) podem causar problemas gerenciais como: desmotivação da equipe, com reuniões tediosas e custo dos especialistas envolvidos;
- Análises superficiais (que não tratam o menor item manutenível) podem esquecer modos de falha ou efeitos importantes e comprometer a eficácia das ações recomendadas, frustrando as expectativas de retorno do FMECA.

Portanto, antes da execução desta etapa, cabe a equipe de implementação certificar-se de que sua composição está adequada ao tamanho do sistema e seu número de modos de falha.

A escala de valores, dos fatores que compõem a avaliação da criticidade (Severidade, Ocorrência e Detecção), reflete de modo indireto a aceitabilidade da empresa aos efeitos do modo de falha. Por esta razão, esta escala deve estar customizada para a empresa/sistema e aprovada pelos níveis gerenciais. Além disto, as variáveis lingüísticas utilizadas devem ser consensuais entre os especialistas do grupo de FMECA e demais envolvidos. Caso contrário, as análises da equipe de

---

<sup>4</sup> Como instalação típica cita-se as subestações de energia e o tempo para a análise, neste caso, pressupõe a utilização de recursos computacionais.

execução da FMECA podem resultar em avaliações equivocadas dos modos de falha, prioridades incorretas e ações mal sucedidas que não impactarão da forma esperada no sistema sob análise. Ações adicionais, além das previstas na FMECA, são invariavelmente necessárias nestes casos.

Alguns FMECA's podem não atingir os objetivos esperados pela não compreensão de que os modos de falha têm causas e efeitos tanto internos quanto externos à empresa, por exemplo: atraso de fornecedores, problemas logísticos, danos ao meio ambiente, comprometimento do processo produtivo do cliente, etc... (PALADY, 2004). Portanto, a equipe de execução da FMECA deve estar preparada para, com uma visão holística, avaliar essas causas e efeitos internos e externos, com influência no sistema a ser analisado.

#### 5.6.5 Avaliação dos Pré-Requisitos da Etapa 4

A Etapa 4 exige da equipe de implementação, além de um conhecimento profundo do sistema, uma definição clara e objetiva dos critérios para: identificar qual função é significativa para o sistema; e destas, como classificar seus modos de falha, em termos de evidência de sua ocorrência, e os impactos na segurança, meio ambiente, economia e operação do processo produtivo.

Para facilitar a utilização dos diagramas de decisão que compõem a Etapa 4, sugere-se uma avaliação da disponibilidade da informação e dos recursos que deveriam anteceder sua implementação. Os próximos itens justificam os quesitos que constituem este critério, os quais estão resumidos na Figura 5.16 e detalhados no Apêndice F.

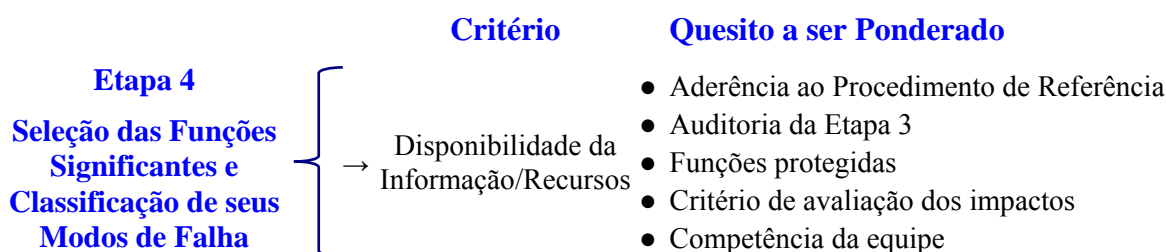


Figura 5.16 – Avaliação dos Pré-Requisitos da Etapa 4.

#### Critério 1 (C1) – Disponibilidade da Informação/Recursos

Nesta etapa são selecionadas, com base no FMECA, as funções do sistema que seguirão na análise da MCC e que, a partir desta etapa, serão denominadas de funções significantes. A perda de tais funções caracteriza uma falha funcional, a qual provoca um efeito adverso para o sistema principal, com conseqüências para: segurança, meio ambiente, operação e economia do processo produtivo. A distinção destas conseqüências servirá para classificar as funções significantes.

Portanto, para implementação desta etapa a equipe deve ter um conhecimento profundo da relação entre a função de cada subsistema, item ou componente com a falha funcional do sistema principal.

A reavaliação das funções atualmente protegidas por tarefas de manutenção garantem a revisão do programa atual de manutenção e sua adequação a MCC. Assim, novos modos de falha poderão ser descobertos e atividades desnecessárias de manutenção, do ponto de vista da MCC, poderão ser eliminadas.

Os impactos de segurança, ambientais, econômicos e operacionais, admitidos pela equipe de implementação, refletem a tolerância da empresa frente às conseqüências que um modo de falha pode ter. Por exemplo, uma conseqüência mínima ao meio ambiente pode não ser suficiente para classificar um modo de falha como: ESA (Evidente de Segurança e/ou Ambiental) ou OSA (Oculto de Segurança e/ou Ambiental). Assim, a equipe pode preferir, em função da sua conseqüência, classificá-lo como sendo: EEO (Evidente Econômico e/ou Operacional) ou OEO (Oculto Econômico e/ou Operacional). Portanto, por ter alguma relação com a imagem e valores da empresa, os critérios para definição dos impactos dos modos de falha devem passar pela apreciação e aprovação dos níveis hierárquicos superiores e demais envolvidos com o sistema.

Para a MCC, a definição da significância das funções e a evidência ou não de um modo de falha, seus efeitos ou a falha funcional a ele associada, está a cargo do operador/usuário do sistema, o qual deve, portanto, fazer parte da equipe de implementação. A expressão evidente, referente ao modo de falha, significa que não será necessário qualquer teste ou inspeção especial, diferente da rotina operacional, para identificar o modo de falha ou suas conseqüências. A sinalização automática pelo sistema de supervisão também caracteriza o modo de falha como evidente.

#### 5.6.6 Avaliação dos Pré-Requisitos da Etapa 5

O objetivo da Etapa 5 é definir qual a tarefa de manutenção mais adequada para cada uma das funções significantes classificadas na Etapa 4. Para a MCC, a escolha de uma tarefa de manutenção depende de sua aplicabilidade e efetividade. Será aplicável se: prevenir os modos de falha; reduzir a taxa de deterioração; detectar a evolução da falha; descobrir falhas ocultas; suprir necessidades de consumíveis do processo; e reparar o item após a falha. Para ser efetiva deverá: ser aplicável tecnicamente; ser viável com os recursos disponíveis; produzir os resultados esperados; e ser executável a um intervalo razoável, em função do mecanismo da falha e com mínima interferência na operação. Portanto, para que a equipe de implementação possa aplicar corretamente os diagramas de decisão na escolha de tarefas aplicáveis e efetivas, para os modos de falha das funções significantes, propõe-se os seguintes critérios para avaliação dos pré-requisitos desta etapa: Disponibilidade da Informação/Recursos e Conhecimento da Falha. Os próximos itens justificam os quesitos, resumidos na Figura 5.17 e detalhados no Apêndice F, os quais constituem a avaliação destes critérios.

### Critério 1 (C1) – Disponibilidade da Informação/Recursos

A escolha das tarefas de manutenção não deve estar baseada somente na sofisticação técnica, mas também, entre outros indicadores: na redução da taxa de falhas; eficiência operacional; e retorno financeiro. Este critério avalia a disponibilidade da informação e dos recursos para a definição da aplicabilidade e efetividade das tarefas de manutenção.

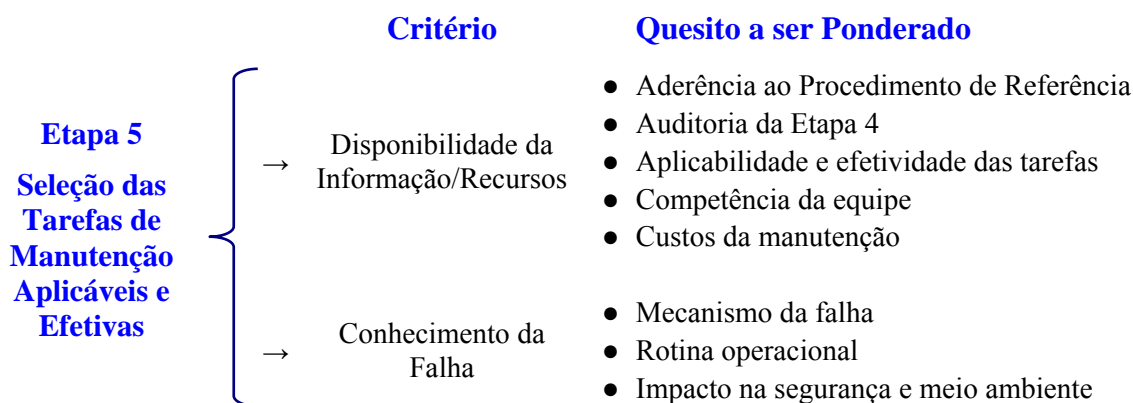


Figura 5.17 – Avaliação dos Pré-Requisitos da Etapa 5.

Os critérios de aplicabilidade e efetividade das tarefas de manutenção dependem de recursos humanos, financeiros e dos retornos esperados em relação a outras alternativas. Portanto, devem estar alinhados com o planejamento estratégico da empresa com relação à manutenção. Daí a necessidade de tais critérios passarem pela apreciação e aprovação dos níveis hierárquicos superiores e demais envolvidos com o sistema.

A aplicabilidade e efetividade das tarefas de manutenção deverão ser atestadas pela equipe de manutenção da empresa. Entretanto, algumas das tarefas de manutenção, podem ser classificadas como sendo de serviço operacional e, neste caso, a ratificação de sua aplicabilidade e efetividade deve contemplar a opinião de representantes da operação, uma vez que serão os operadores do sistema, os responsáveis pela sua execução.

A análise da vantagem financeira de uma tarefa de manutenção em relação à outra, tem relação direta com a aplicabilidade e efetividade da tarefa. Esta análise deve levar em consideração: o orçamento do setor de manutenção; o planejamento para novas aquisições; o treinamento da mão de obra; e os recursos logísticos.

### Critério 2 (C2) – Conhecimento da Falha

Para ser aplicável e efetiva a tarefa de manutenção selecionada pela equipe de implementação deve: respeitar os mecanismos da falha, ou seja: como a probabilidade de falha evolui com a idade do item/sistema; o ciclo operacional do sistema; e os impactos produzidos pela falha.

Conhecer o mecanismo da falha é essencial para a definição da aplicabilidade das tarefas de manutenção, pois a tomada de decisão nestes casos dependerá, entre outros: da existência de algum parâmetro mensurável relacionado com a evolução da falha; do aumento da probabilidade de falha e/ou degradação ser função do tempo de operação e/ou idade; do intervalo entre a evolução da falha potencial para funcional ser: consistente, monitorável de maneira prática e suficiente para uma ação de manutenção o que garante, neste caso, também a efetividade da tarefa.

A rotina operacional do item/sistema está relacionada com a efetividade das tarefas de manutenção, uma vez que, a eficiência operacional e os retornos financeiros associados são indicadores que irão ratificá-la. Além disto, há também relação com a aplicabilidade das ações de manutenção, pois os tempos entre falhas ou para reparo estão relacionados com a rotina operacional.

O impacto na segurança e meio ambiente, além de afetar a imagem da empresa, tem papel fundamental na efetividade das tarefas de manutenção (SIQUEIRA, 2005). Uma falha terá impacto na segurança e meio ambiente se: ameaçar a vida pessoal do operador; ameaçar a vida coletiva; e, infringir uma lei ou padrão ambiental. Neste caso, além de ser aplicável, o único resultado aceitável para a tarefa de manutenção é que ela garanta a redução da probabilidade de falha e aderência às normas vigentes.

#### 5.6.7 Avaliação dos Pré-Requisitos da Etapa 6

Nesta etapa, a equipe de implementação deve definir os intervalos iniciais e agrupar adequadamente as tarefas de manutenção aplicáveis e efetivas, definidas na Etapa 5, com o objetivo de otimizar o programa de MCC. Neste sentido, tanto a Norma SAE JA1011 quanto a IEC 60300-3-11 reconhecem a importância dos métodos estatísticos para definição dos intervalos iniciais. Entretanto, não havendo esta disponibilidade, cabe definir a frequência das tarefas de manutenção com base: nos dados históricos disponíveis, consenso, conhecimento heurístico dos mantenedores e da equipe de implementação, e dados e recomendações do fabricante. Portanto, a Disponibilidade da Informação/Recursos será utilizada como critério para avaliação dos pré-requisitos desta etapa. Os próximos itens justificam os quesitos que o constituem, os quais estão resumidos na Figura 5.18 e detalhados no Apêndice F.

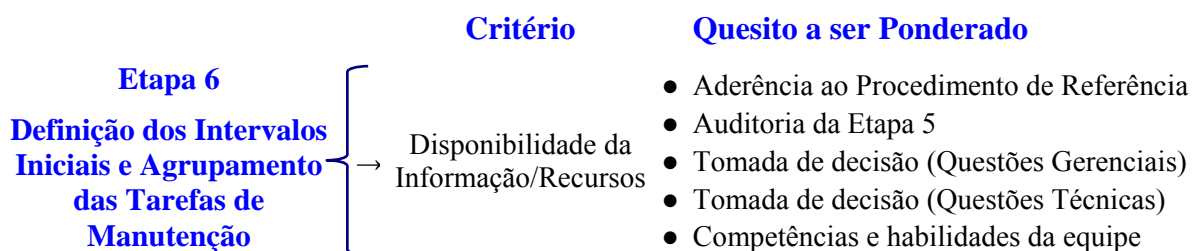


Figura 5.18 – Avaliação dos Pré-Requisitos da Etapa 6.



### Critério 1 (C1) – Disponibilidade da Informação/Recursos

Independente da utilização de métodos qualitativos ou quantitativos, não há possibilidade de definição dos intervalos iniciais e agrupamento de tarefas de manutenção de forma otimizada sem que haja dados históricos, tanto gerenciais quanto técnicos e/ou conhecimento heurístico do sistema e dos aspectos relacionados.

Os intervalos iniciais e as otimizações demandadas vão além dos requisitos técnicos inerentes ao sistema. As questões gerenciais devem ser incluídas na análise, respeitando a visão holística requerida da equipe de implementação (BLOOM, 2006). Dentro deste contexto, algumas das questões relevantes são: tipo de processo (contínuo ou batelada); normas a serem atendidas (Controle de Qualidade, Ambientais, Sanitárias, Segurança e Corporativas); ciclo de demanda do mercado; e ciclo de suprimento de material de consumo. O comprometimento com tais questões irão garantir que: os intervalos iniciais não violem nenhuma norma ou critério prático; e as oportunidades de execução das tarefas de manutenção sejam aproveitadas para minimizar custos e interferências no processo produtivo.

As informações técnicas inerentes ao sistema irão aumentar as chances de que as tarefas de manutenção sejam executadas no momento mais adequado, técnica e economicamente. Neste caso, agrupamentos de tarefas podem ser concebidos para otimizar os custos envolvidos. Este agrupamento de tarefas e suas frequências irão compor o manual de manutenção do sistema com base na MCC.

Para otimizar os intervalos iniciais e agrupamento de tarefas de manutenção, além das informações técnicas e gerenciais do sistema, a equipe de implementação deve ter claros os objetivos do programa de MCC e os aspectos a serem otimizados. Para isso, os integrantes da equipe de implementação devem: conhecer e estar alinhados com o planejamento estratégico da empresa, com relação à manutenção; e administrar os conflitos técnicos e gerenciais da otimização, imbuídos da visão holística requerida.

#### 5.6.8 Avaliação dos Pré-Requisitos da Etapa 7

Nesta etapa, a equipe de implementação deve garantir como pré-requisito, os recursos humanos, financeiros e estruturais para: documentar e disponibilizar as informações geradas ao longo do processo de implementação das etapas; treinar os mantenedores e operadores, dentro da nova metodologia de gestão da manutenção proposta pela MCC; integrar as ações propostas pela MCC no programa de gestão da manutenção da empresa/sistema; e estruturar o setor de manutenção para execução do programa de MCC, incluindo suas realimentações e correções. Os seguintes critérios compõem a avaliação dos pré-requisitos da Etapa 7: Disponibilidade da Informação/Recursos; e Planejamento para Implementação. Os próximos itens justificam os quesitos que constituem cada um dos critérios, os quais estão resumidos na Figura 5.19 e detalhados no Apêndice F.

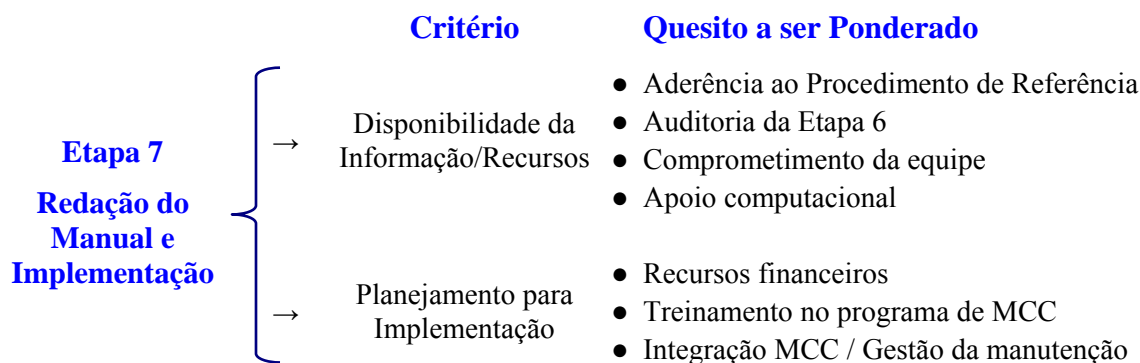


Figura 5.19 – Avaliação dos Pré-Requisitos da Etapa 7.

### Critério 1 (C1) – Disponibilidade da Informação/Recursos

Além dos recursos humanos, logísticos e estruturais, a implementação desta etapa, impõe que as etapas anteriores tenham sido auditadas garantindo, assim, sua aderência ao procedimento de referência e a disponibilidade das informações necessárias para compilação do manual da MCC.

Na fase de Redação do Manual e Implementação da MCC (Etapa 7) é possível que a equipe de implementação já tenha se dispersado, dificultando a efetivação desta etapa. Um planejamento e gestão adequados do processo de implantação é a solução para este problema. Este planejamento deve garantir o engajamento de toda a equipe de implementação até a efetiva implantação do programa de MCC no sistema de gestão da manutenção da empresa/sistema.

Nesta etapa, é importante dispor de uma estrutura computacional de apoio para geração do manual da MCC, o qual deve contemplar todas as decisões e documentações geradas ao longo da implementação das etapas (saídas do procedimento de referência). Caso softwares especializados em MCC tenham sido utilizados é possível que estes, automaticamente, publiquem o manual, depois de concluída cada etapa, e integrem as decisões tomadas ao sistema de gestão da manutenção. Caso contrário deve-se garantir que estas tarefas sejam executadas pela equipe com os recursos computacionais disponíveis.

### Critério 2 (C2) – Planejamento para Implementação

Segundo Siqueira (2005), todos os erros da fase de implementação do programa de MCC, podem ser atribuídos a falhas de planejamento e condução das etapas. Para que o programa de MCC cumpra seus objetivos, é necessário garantir, antes da sua efetiva implantação: os recursos para implementação das ações propostas pela MCC; e o treinamento do pessoal dentro da nova proposta de gestão da manutenção.

Durante o processo de implantação da MCC, a equipe de implementação optou por determinadas tarefas de manutenção em prazos otimizados. Cabe a esta etapa, a ratificação e a realização dos recursos financeiros, humanos e de equipamentos que supram, da maneira inicialmente

concebida, as necessidades do programa de MCC. Além dos recursos humanos e materiais, há que se implementar nesta etapa os mecanismos de controle e monitoramento do programa de MCC para assegurar sua realimentação e correção de decisões mal sucedidas ou incorretas.

A fim de que o programa de MCC cumpra com seus objetivos, o planejamento deverá pressupor o treinamento dos mantenedores e operadores dentro da nova metodologia proposta pela MCC. A carga horária e o conteúdo deste treinamento dependem do grau de amadurecimento da empresa. Para os mantenedores, os seguintes itens devem ser contemplados: as diferenças entre o programa de manutenção anterior e o atual; as novas documentações exigidas e seus padrões de preenchimento; a importância da documentação para o sucesso do programa; e a maneira prevista para reportar as inconsistências e erros do programa de MCC. O treinamento dos operadores deve contemplar as tarefas, classificadas no programa de MCC, como sendo de serviço operacional, ou seja, tarefas cuja responsabilidade é do operador, o qual deverá receber no mínimo: instruções detalhadas, considerando não ser a especialidade do operador a execução da manutenção; treinamento adequado para entender os objetivos das atividades e como executá-las; motivação e compensação para garantir a mudança cultural necessária à atividade; meios de comunicação para relatar em tempo as anormalidades além de sua capacidade de solução e inclusão no sistema de gerenciamento da manutenção; padrões de documentação para registro dos resultados, segundo os modelos operacionais adotados na instalação; padrões de desempenho definidos com clareza para facilitar o julgamento do operador; e recomendações para exceções, quando o item não atender ao padrão de desempenho.

O processo de implementação da MCC pressupõe a integração das atividades recomendadas com o sistema de gestão da manutenção da empresa, e à rotina das equipes executivas de manutenção e operação. A integração ocorre através do plano de manutenção gerado pela MCC. Softwares específicos para implantação da MCC automatizam este procedimento. Entretanto, caso o mesmo não esteja disponível, a equipe de implementação deve providenciar recursos humanos e operacionais para execução deste pré-requisito.

#### 5.6.9 Avaliação dos Pré-Requisitos da Etapa 8

Conforme o procedimento de referência, esta etapa pertence à fase de execução do programa de MCC. Portanto, a equipe de implementação ou os encarregados pela execução desta etapa, que não participaram, necessariamente, da implementação da MCC, devem garantir os recursos humanos, financeiros e estruturais para acompanhar e realimentar o programa de MCC, ao longo de todo o seu ciclo de vida. Como critérios de aderência aos pré-requisitos desta etapa, cabe verificar se: a gestão da manutenção está aderente às propostas do programa de MCC; e se as informações e recursos estão disponíveis para planejar e executar a estratégia de coleta das informações necessárias para o acompanhamento e a realimentação do programa de MCC. Os

próximos itens justificam os quesitos que constituem cada um destes critérios, os quais estão resumidos na Figura 5.20 e detalhados no Apêndice F.

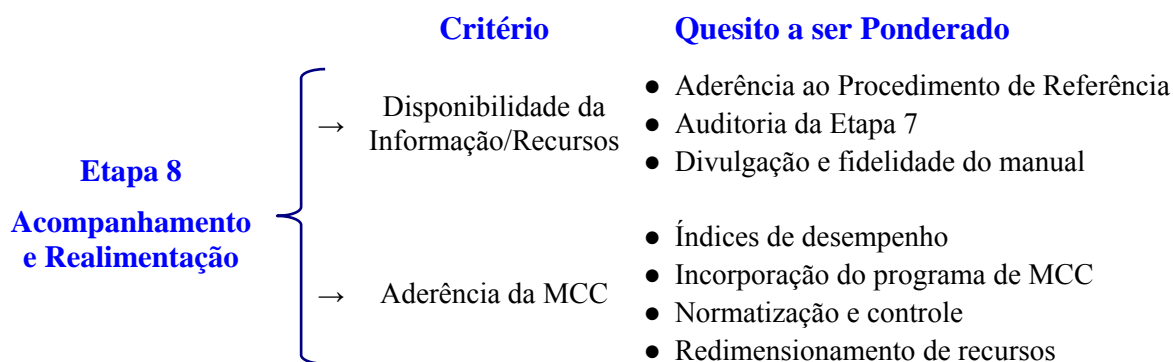


Figura 5.20 – Avaliação dos Pré-Requisitos da Etapa 8.

### Critério 1 (C1) – Disponibilidade da Informação/Recursos

Além da aderência ao procedimento de referência e o grau de conformidade da etapa anterior, quesitos comuns às demais etapas, este critério avalia também: a abrangência da divulgação do manual de MCC; e a conformidade do programa de manutenção da empresa, para o sistema no qual a MCC foi implantada, com as recomendações do manual.

A divulgação e a fidelidade do manual de MCC garante que o pessoal envolvido ou com influência nas atividades da manutenção, os quais não participaram da equipe de implementação, tenham acesso às decisões. Assim, será possível atingir o engajamento da empresa no programa de gestão da manutenção e a incorporação do mesmo nas práticas diárias dos operadores e mantenedores.

### Critério 2 (C2) – Aderência da MCC

Este critério verifica a aderência da MCC na empresa/sistema, pré-requisito básico para que os responsáveis pela fase de execução possam definir uma estratégia fundamentada em indicadores de desempenho para efetivar o acompanhamento e a realimentação do programa de MCC.

O desempenho do programa de MCC está relacionado à sua completude e à exatidão e eficácias das ações por ele propostas. Para que este desempenho seja revertido em uma vantagem competitiva para a empresa, motivando o apoio institucional, há de se garantir a aderência do programa de MCC e progressos mensuráveis nas ações da manutenção. O acompanhamento deste desempenho pode ser efetivado através da utilização de indicadores, os quais devem estar alinhados com os objetivos e interesses do programa de MCC e com a visão holística da empresa, condição esta que garantirá a confiabilidade e abrangência dos dados mensurados.

Para que os benefícios do programa de MCC sejam evidenciados é necessário garantir sua inclusão irrestrita à rotina dos mantenedores e operadores, o que passa também pela sua

incorporação ao sistema de gestão da manutenção da empresa/sistema. Contemplado este pré-requisito, é possível monitorar e realimentar o programa de MCC a partir de seus indicadores de desempenho e corrigir suas inconsistências e equívocos.

Para garantir o cumprimento do programa de MCC, o mesmo deve fazer parte da normatização da empresa, com previsão de ações disciplinadoras ou corretivas, caso haja quebra de procedimentos. O objetivo é suplantiar os vícios das culturas tradicionais de manutenção e dos procedimentos anteriores a implantação da MCC e que não se enquadram na nova proposta de gestão da manutenção.

Tanto o sistema de gestão da manutenção, quanto os recursos logísticos da empresa, podem não estar condizentes com as ações propostas pela MCC. A frequência e o monitoramento requerido das tarefas, assim como a logística de apoio à manutenção devem ser avaliadas e, caso necessário, deve-se proceder ao redimensionamento do sistema de gestão da manutenção e do apoio logístico para atender as novas necessidades determinadas pelo programa de MCC.

## 5.7 ESTRATÉGIA PARA AUDITORIA DAS ETAPAS DA MCC

Assim como na avaliação dos pré-requisitos, a auditoria também será processada a partir da ponderação de quesitos, os quais irão compor a avaliação dos critérios correspondentes que, em conjunto com os demais critérios da etapa sob análise, irão compor sua avaliação final. Este processo de avaliação e composição dos conjuntos *Fuzzy* correspondentes fará parte do relatório final de auditoria da etapa.

A necessidade da auditoria, nos moldes propostos neste trabalho, nasceu durante a fase de aquisição do conhecimento, ao se constatar que muitos dos fatores de insucesso, de alguns programas de MCC, ocorreram devido a: falhas e/ou inconsistências na implementação das etapas; e falta do rigor normativo que a metodologia pressupõe. Assim, uma auditoria para certificar a conformidade da execução da etapa, com o procedimento de referência, surgiu como pré-requisito para evitar os fatores de insucesso relatados na bibliografia e durante a elicitação do conhecimento junto aos especialistas.

Por se tratar de uma auditoria interna e posterior a implementação de cada etapa, pressupõe-se que a condução do processo de auditoria, com auxílio do SBC-*Fuzzy* proposto, fique a cargo da equipe de implementação e demais envolvidos e/ou afetados pelo programa de MCC.

Na estratégia proposta para auditoria, os quesitos submetidos à ponderação do usuário pelo SBC-*Fuzzy* refletem: a conduta esperada da equipe de implementação, antes e durante a execução das tarefas da etapa; e os atributos desejáveis ao final da implementação da etapa analisada, para que a mesma cumpra as exigências do procedimento de referência. A partir da ponderação dos quesitos, com base nas práticas adotadas e nos resultados obtidos pela equipe de implementação, obtém-se uma imagem da conformidade e atributos da etapa, com indicadores de pontos de excelência e deficiência, os quais servirão para: reformular o planejamento das atividades de implementação da

MCC; rever a execução da etapa; avaliar e comparar, os atributos da etapa implementada, com as melhores práticas; alertar a equipe de implementação sobre a necessidade de melhorias; apontar oportunidades para melhorias no processo de implantação da MCC; e acompanhar e aferir o progresso do planejamento inicial.

Os critérios e seus respectivos quesitos, submetidos à ponderação do usuário, foram concebidos com base nos seguintes princípios, a saber: heurísticas explicitadas durante o processo de elicitação do conhecimento; relatos e conceitos manifestados na literatura, artigos pesquisados e congressos; e normas IEC 60300-3-11, SAE JA1011 e SAE JA1012, condição necessária para o respaldo normativo exigido de um processo de auditoria.

O critério de Confiabilidade da Análise (C1) e seus 3 primeiros quesitos são comuns a todas as etapas, os quais são (Apêndice F): a comprovação do grau de atendimento aos pré-requisitos da etapa; a conformidade com as saídas do procedimento de referência para implantação da MCC; e a credibilidade da tomada de decisão. O primeiro quesito (Q1) certifica-se de que, os pré-requisitos da etapa foram respeitados, caso não tenham sido, uma política de melhoramento dos fatores negativos foi planejada e implementada, ambas as situações aumentam as chances de sucesso durante a implementação da etapa. O segundo quesito (Q2) garante que a equipe atentou para a documentação das decisões tomadas durante a implementação da etapa, a qual cumpre com as exigências de saída do procedimento de referência, contemplando todos os subsídios necessários para as próximas etapas. O terceiro quesito (Q3) trata da abrangência da tomada de decisão, a qual não deve ficar restrita à equipe de implementação, mas sim contemplar o maior número possível de pessoas e/ou setores envolvidos e/ou afetados pela implantação da MCC. Os próximos itens elucidam os critérios e seus respectivos quesitos, que compõem a auditoria de cada etapa.

### 5.7.1 Auditoria da Etapa 0

Conforme mencionado na avaliação dos pré-requisitos, esta etapa não consta em nenhuma bibliografia ou norma referente à implantação da MCC, entretanto, sua correta execução é essencial para ratificar a conformidade dos objetivos e características institucionais com as exigências de um programa de MCC. O critério que fundamentará a auditoria da Etapa 0 é a confiabilidade da análise desenvolvida durante a execução da etapa. O próximo item justifica os quesitos que constituem o critério de análise, resumido na Figura 5.21 e detalhado no Apêndice F.

#### Critério 1 (C1) – Confiabilidade da Análise

Além dos quesitos 1 a 3, já explicitados, os quesitos 4 e 5 verificam o grau de conhecimento da equipe de implementação, dos benefícios e desafios de programas consolidados de MCC, seja a partir de pesquisa bibliográfica e consulta a especialistas ou contato com programas na fase de execução em instalações similares.

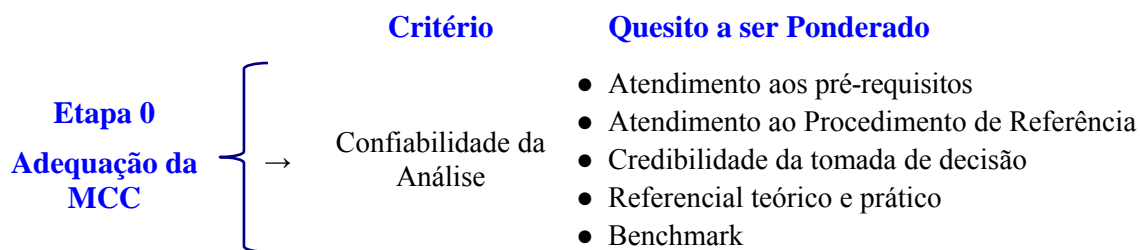


Figura 5.21 – Auditoria da Etapa 0.

### 5.7.2 Auditoria da Etapa 1

Os próximos itens justificam os quesitos que constituem cada um dos critérios que compõem a auditoria da Etapa 1, os quais estão resumidos na Figura 5.22 e detalhados no Apêndice F.

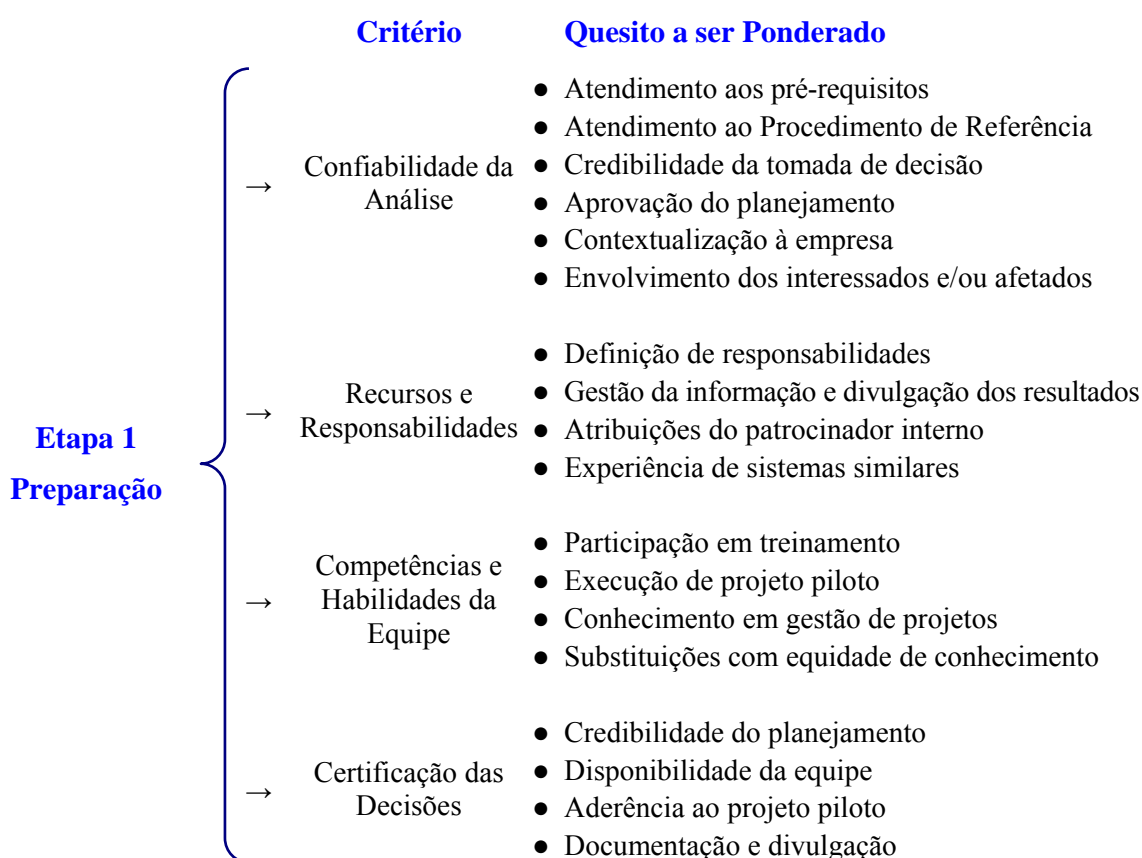


Figura 5.22 – Auditoria da Etapa 1.

#### Critério 1 (C1) – Confiabilidade da Análise

Este critério avalia se a etapa de preparação levou em consideração: o comprometimento dos envolvidos direta ou indiretamente com os procedimentos de implantação e sua concordância com a possibilidade de execução do plano de implantação, da maneira como concebido; e a visão holística do contexto organizacional e seu envolvimento na concepção do plano de implantação. Estes fatores são importantes para: garantir o engajamento dos setores da empresa afetados pelo programa de

MCC; evitar frustrações da equipe durante a implementação; e acomodar as expectativas de longo prazo do programa de MCC.

### Critério 2 (C2) – Recursos e Responsabilidades

Os quesitos deste critério avaliam se durante a etapa de preparação, os seguintes itens foram contemplados: a composição da equipe, quanto ao seu tamanho (quantidade de pessoas), suas funções e suas atribuições; e os recursos disponíveis para gestão e divulgação dos resultados dos procedimentos de implementação das etapas. Estes elementos têm relação com o comprometimento e envolvimento da equipe com os procedimentos de implementação das etapas, além de afetar a celeridade e a organização do processo de implantação.

### Critério 3 (C3) – Competências e Habilidades da Equipe

Este critério avalia se a equipe, formada ao longo da etapa de preparação, tem o conhecimento e a experiência desejável para execução dos procedimentos de implementação da MCC e se houve a preocupação com a garantia da equidade de conhecimento, em caso de troca de algum membro da equipe. A aderência a estes quesitos contribuirá para: aumentar a confiabilidade das decisões, tomadas ao longo dos procedimentos para implementação das etapas; e organização do processo de implantação da MCC, com base em técnicas consagradas de gestão de projetos.

### Critério 4 (C4) – Certificação das Decisões

O objetivo deste critério é avaliar a confiabilidade do planejamento e das decisões tomadas durante a Etapa 1. Um bom desempenho nos itens avaliados neste critério indica que a equipe de implementação, quando do planejamento para implantação da MCC: aplicou adequadamente os preceitos da gestão de projetos; priorizou o projeto de implantação da MCC, o que eleva seu status dentro da empresa; utilizou os ensinamentos do projeto piloto anteriormente conduzido pela equipe/empresa; e documentou e divulgou o planejamento para implantação de MCC, criando mecanismos para atribuição de responsabilidades e mensuração do desempenho da equipe de implementação.

#### 5.7.3 Auditoria da Etapa 2

Os próximos itens justificam os quesitos que constituem cada um dos critérios que compõem a auditoria da Etapa 2, os quais estão resumidos na Figura 5.23 e detalhados no Apêndice F.



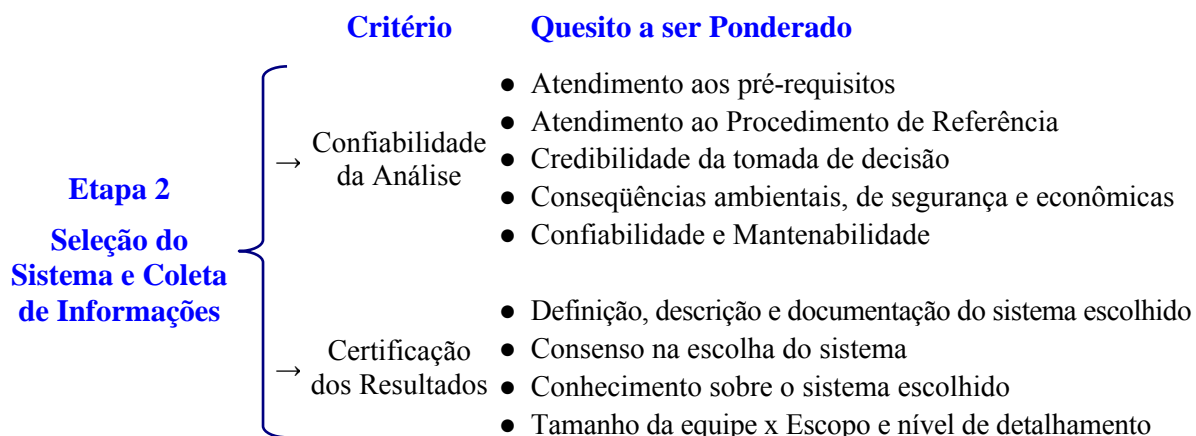


Figura 5.23 – Auditoria da Etapa 2.

### Critério 1 (C1) – Confiabilidade da Análise

O objetivo dos quesitos 4 e 5 deste critério, além dos quesitos 1 a 3, já explicitados, é certificar-se de que o sistema selecionado, dentre os sistemas candidatos para implantação da MCC, possui os seguintes atributos: é aquele cuja falha funcional resulta nos maiores impactos para a segurança e o meio ambiente; e/ou a falha funcional tem maior conseqüência econômica para a empresa e para o processo produtivo; e/ou é aquele cuja abordagem quantitativa resultou em baixos índices de confiabilidade e manutenibilidade.

### Critério 2 (C2) – Certificação dos Resultados

O objetivo deste critério é verificar a consistência técnica e organizacional da tomada de decisão que resultou na escolha do sistema no qual a MCC será implantada. Os principais aspectos que podem impactar negativamente um programa de MCC e que, por esta razão, foram tratados neste critério são: a documentação das decisões tomadas na etapa 2 referente ao sistema escolhido, incluindo o nível de análise que será adotado; a ratificação das competências e habilidades da equipe de implementação e da empresa, para desenvolver as análises requeridas nos procedimentos de implantação da MCC; e a confirmação de que o sistema escolhido é o mais adequado e de que o tamanho da equipe de implementação está adequado à complexidade do sistema escolhido.

#### 5.7.4 Auditoria da Etapa 3

Os próximos itens justificam os quesitos que constituem cada um dos critérios que compõem a auditoria da Etapa 3, os quais estão resumidos na Figura 5.24 e detalhados no Apêndice F.

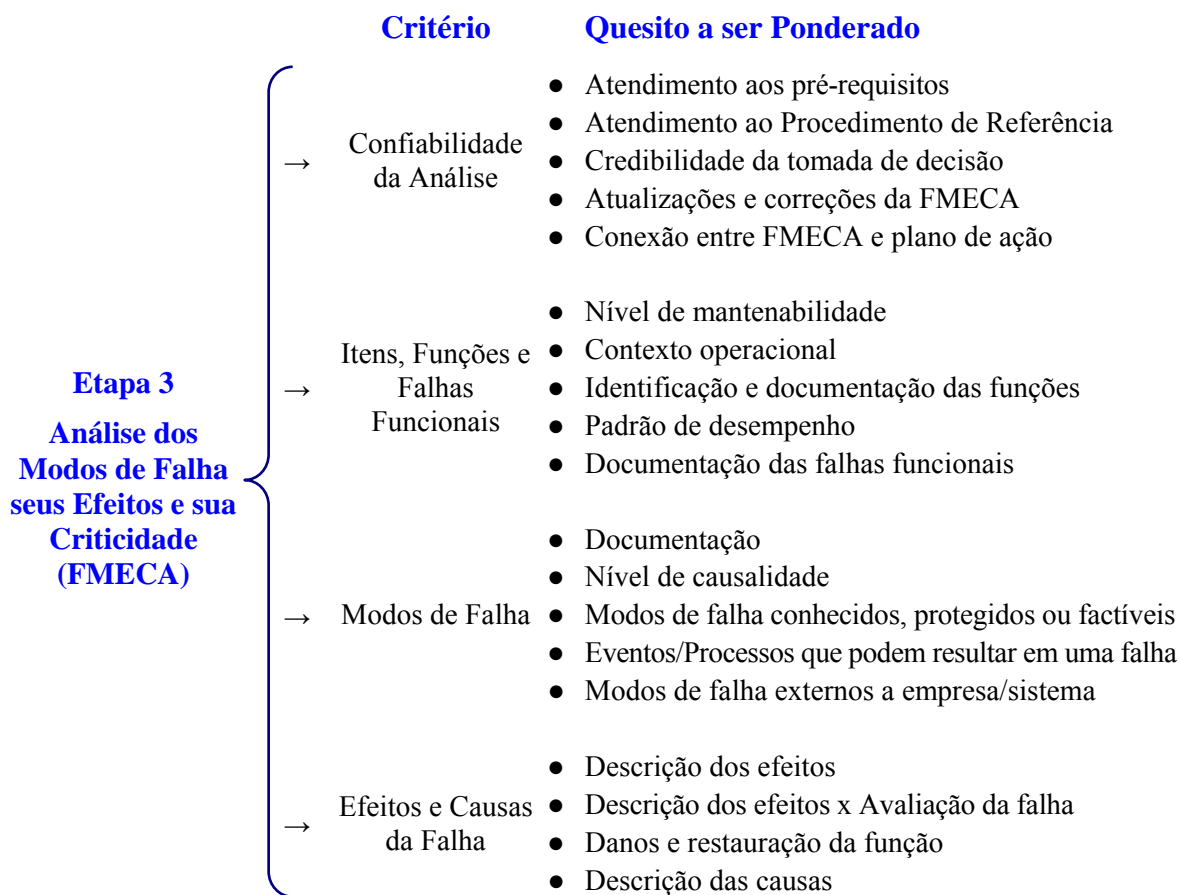


Figura 5.24 – Auditoria da Etapa 3.

#### Critério 1 (C1) – Confiabilidade da Análise

O objetivo dos quesitos 4 e 5 deste critério, além dos quesitos 1 a 3, já explicitados, é certificar-se de que a equipe de implementação previu: um procedimento documentado para atualizar e corrigir eventuais distorções da FMECA; e um plano de ação a ser seguido na ocorrência de um modo de falha. Estes quesitos irão garantir, na medida da sua atualização, a credibilidade da FMECA e com procedimentos padronizados, ações mais rápidas e efetivas quando na ocorrência de um modo de falha.

#### Critério 2 (C2) – Itens, Funções e Falhas Funcionais

Este critério verifica o correto preenchimento das colunas Item, Função e Falha Funcional da FMECA e assegura que: o nível de manutenibilidade dos itens relacionados é o menor possível; em nenhum caso faltou definir o contexto operacional (item 5.1.1 da SAE JA1011); não há exclusão de funções (item 5.1.2 da SAE JA1011) e o formato de definição das funções está adequado (item 5.1.3 da SAE JA1011); não há funções com padrões de desempenho não aprovadas pelo usuário ou

proprietário (item 5.1.4 da SAE JA1011); e os estados de falha da função não estão incompletos ou são incompatíveis com a definição da função (item 5.2 da SAE JA1011).

### Critério 3 (C3) – Modos de Falha

Este critério verifica, por meio de seus quesitos, a consistência dos modos de falha incluídos na FMECA. Assim, é possível evitar alguns dos fatores críticos na confecção da FMECA, os quais estão relacionados com: o excesso de modos de falha, podendo resultar em reuniões de FMECA tediosas e com a inclusão de modos de falha pouco significativos em termos estatísticos; ou o esquecimento de modos de falha importantes, causado pela simplificação extremada do problema, resultando em um FMECA sem aplicação prática. Com os quesitos avaliados neste critério, os seguintes problemas são evitados: exclusão de modos de falha prováveis ou inclusão de modos de falha improváveis na visão do usuário ou proprietário (itens 5.3.1 e 5.3.2 da SAE JA1011); inclusão de modos de falha inadequados para identificação da política de gestão da falha (item 5.3.3 da SAE JA1011); exclusão de modos de falha já ocorridos, atualmente gerenciados por programas de manutenção ou que jamais ocorreram, mas que possuem uma probabilidade de ocorrência razoável (item 5.3.4 da SAE JA1011); exclusão de modos provocados por operadores, mantenedores ou oriundos de falha de projeto ou deterioração (item 5.3.5 da SAE JA1011); e exclusão de modos de falha de origem externa a empresa ou sistema sob análise.

### Critério 4 (C4) – Efeitos e Causas da Falha

O objetivo deste quesito é verificar se as descrições dos efeitos e das causas dos modos de falha estão adequadas para suprir as informações necessárias às etapas seguintes do processo de implementação. Além disto, é objeto deste critério certificar-se de que os seguintes erros de implementação não foram cometidos: descrição do efeito amenizado por tarefa de manutenção existente (item 5.4.1 da SAE JA1011); descrição do efeito insuficiente para avaliar as conseqüências do modo de falha (itens 5.4.2a, 5.4.2b e 5.4.2c da SAE JA1011); descrição dos efeitos insuficiente para definir os danos físicos e a conduta para recomposição do sistema (itens 5.4.2d e 5.4.2e da SAE JA1011); e se as causas do modo de falha não contribuem para identificar porque o mesmo ocorreu.

#### 5.7.5 Auditoria da Etapa 4

Os próximos itens justificam os quesitos que constituem cada um dos critérios que compõem a auditoria da Etapa 4, os quais estão resumidos na Figura 5.25 e detalhados no Apêndice F.

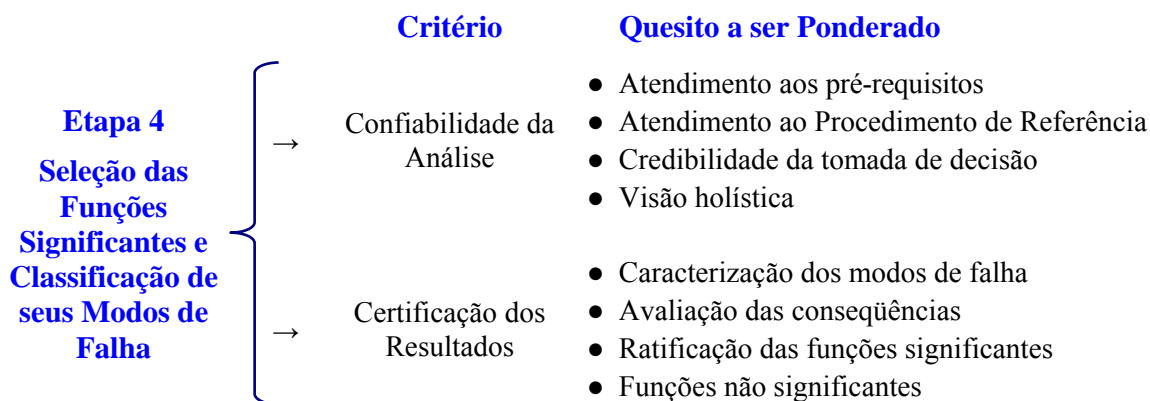


Figura 5.25 – Auditoria da Etapa 4.

#### Critério 1 (C1) – Confiabilidade da Análise

O quesito 4 deste critério, além dos quesitos 1 a 3, já explicitados, tem o objetivo de assegurar que a visão holística necessária ao processo de implantação da MCC foi preservada, durante a definição das funções significantes, e os seguintes aspectos foram levados em conta: prejuízos para a imagem da empresa, usuários, clientes ou terceiros causados pela perda da função.

#### Critério 2 (C2) – Certificação dos Resultados

O objetivo deste critério é verificar se a seleção das funções significantes e a classificação de seus modos de falha foi conduzida adequadamente, segue os preceitos normativos vigentes, e os seguintes aspectos foram evitados: falta de separação das conseqüências das falhas ocultas/evidentes, segurança/ambientais e econômicas/operacionais (itens 5.5.1.1 e 5.5.1.2 da SAE JA1011); conseqüências alteradas por tarefa de manutenção existente (item 5.5.2 da SAE JA1011); a definição de função significante não segue a lógica de decisão da MCC (IEC 60300-3-11, SAE JA1011 ou SAE JA1012); e falta de documentação dos levantamentos e decisões referentes às funções definidas como não significantes, as quais devem ser documentadas até a presente etapa.

#### 5.7.6 Auditoria da Etapa 5

Os próximos itens justificam os quesitos que constituem cada um dos critérios que compõem a auditoria da Etapa 5, os quais estão resumidos na Figura 5.26 e detalhados no Apêndice F.

#### Critério 1 (C1) – Confiabilidade da Análise

O quesito 4 deste critério, além dos quesitos 1 a 3, já explicitados, verifica se a equipe de implementação, durante a seleção das tarefas de manutenção aplicáveis e efetivas, não motivou sua

escolha apenas pela disponibilidade de competências e recursos da empresa para sua execução, sem considerar a necessidade ou justificativa para prevenir ou remediar o modo de falha. A associação correta do mecanismo de falha, com as potencialidades e custo benefício da atividade recomendada, é que deve guiar o processo de escolha.

	<b>Critério</b>	<b>Quesito a ser Ponderado</b>
<b>Etapa 5</b> <b>Seleção das</b> <b>Tarefas de</b> <b>Manutenção</b> <b>Aplicáveis e</b> <b>Efetivas</b>	→ Confiabilidade da Análise	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Atendimento aos pré-requisitos</li> <li>● Atendimento ao Procedimento de Referência</li> <li>● Credibilidade da tomada de decisão</li> <li>● Critério de escolha das atividades de manutenção</li> </ul>
	→ Seleção e Programação das Tarefas	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Políticas de gestão da falha</li> <li>● Probabilidade condicional e gestão da falha</li> <li>● Viabilidade e atratividade das tarefas</li> <li>● Falha Evidente de Segurança / Ambiental</li> <li>● Falha Oculta de Segurança / Ambiental</li> <li>● Falha Evidente Econômica / Operacional</li> <li>● Falha Oculta Econômica / Operacional</li> </ul>
	→ Serviço Operacional e Inspeção Preditiva	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Ratificação do serviço operacional</li> <li>● Definição da falha potencial</li> <li>● Intervalo PF</li> <li>● Intervalo da tarefa x Intervalo PF</li> <li>● Possibilidade de execução da tarefa</li> <li>● Tempo de ação</li> </ul>
	→ Restauração e Substituição Preventiva	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Probabilidade condicional x Restauração preventiva</li> <li>● Falha prematura x Restauração preventiva</li> <li>● Resistência a falha x Restauração preventiva</li> <li>● Probabilidade condicional x Substituição preventiva</li> <li>● Falha prematura x Substituição preventiva</li> </ul>
	→ Inspeção Funcional e Manutenção Combinada	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Probabilidade condicional x Inspeção funcional</li> <li>● Credibilidade da inspeção funcional</li> <li>● Função oculta x Inspeção funcional</li> <li>● Possibilidade de execução da tarefa</li> <li>● Ratificação da manutenção combinada</li> <li>● Efetividade da manutenção combinada</li> </ul>
	→ Mudança de Projeto e Reparo Funcional	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Condições atuais x Desempenho</li> <li>● Falha Evidente de Segurança / Ambiental</li> <li>● Falha Oculta de Segurança / Ambiental</li> <li>● Falha Evidente Econômica / Operacional</li> <li>● Falha Oculta Econômica / Operacional</li> <li>● Ratificação do Reparo Funcional</li> </ul>

Figura 5.26 – Auditoria da Etapa 5.

#### Critério 2 (C2) – Seleção e Programação das Tarefas

Este critério verifica a consistência da seleção e programação das tarefas de manutenção e interpõe subsídios para assegurar-se de que os seguintes erros sejam evitados:

considerar as atividades já existentes como estabelecidas (item 5.6.4 da SAE JA1011); ignorar a evolução da probabilidade condicional de falha (item 5.6.1 da SAE JA1011); ignorar a aplicabilidade e efetividade da atividade (item 5.6.2 da SAE JA1011); não comparar a atratividade econômica de atividades (item 5.6.3 da SAE JA1011); a tarefa programada não reduz o risco ambiental ou pessoal a níveis aceitáveis (item 5.7.1.1 da SAE JA1011); a tarefa programada não reduz as chances de falha múltipla em modos de falha ocultos (item 5.7.1.2 da SAE JA1011); a tarefa programada não reduz os custos em atividades com efeitos econômicos (itens 5.7.1.3 e 5.7.1.4 da SAE JA1011);

### Critério 3 (C3) – Serviço Operacional e Inspeção Preditiva

Os quesitos deste critério verificam a consistência das tarefas classificadas como sendo de Serviço Operacional e Inspeção Preditiva, com o objetivo de detectar as seguintes incoerências de implementação: falta de aplicabilidade e/ou efetividade das tarefas classificadas como sendo de serviço operacional (IEC 60300-3-11); falta definição da falha potencial (item 5.2.7.1 da SAE JA1011); falta identificação do período (PF) de desenvolvimento da falha (item 5.2.7.2 da SAE JA1011); intervalo da inspeção maior que o menor intervalo PF previsto (item 5.2.7.3 da SAE JA1011); impossibilidade de realizar a tarefa em intervalos menores que o PF (item 5.2.7.4 da SAE JA1011); tempo insuficiente entre a descoberta do defeito e a evolução da falha (item 5.2.7.5 da SAE JA1011).

### Critério 4 (C4) – Restauração e Substituição Preventiva

Os quesitos deste critério verificam a consistência das tarefas classificadas como sendo de Restauração e Substituição Preventiva, com o objetivo de detectar as seguintes incoerências de implementação: restauração de itens sem final de vida útil definida (itens 5.7.4.1 e 5.7.4.2 da SAE JA1011); restauração de itens a níveis intoleráveis pelo usuário ou proprietário (item 5.7.4.3 da SAE JA1011); substituição de itens sem final de vida útil definida (item 5.7.3.1 da SAE JA1011); substituição de itens cujo reparo é economicamente viável (item 5.7.3.2 da SAE JA1011).

### Critério 5 (C5) – Inspeção Funcional e Manutenção Combinada

Os quesitos deste critério verificam a consistência das tarefas classificadas como sendo de Inspeção Funcional e Manutenção Combinada, com o objetivo de detectar as seguintes incoerências de implementação: inspeções que não reduzem a probabilidade de falha múltipla (item 5.7.5.1 da SAE JA1011); inspeções insuficientes para confirmar a funcionalidade do sistema (item 5.7.5.2 da SAE JA1011); inspeções que podem deixar a

função oculta inoperante (item 5.7.5.3 da SAE JA1011); impossibilidade de execução da inspeção nos intervalos especificados (item 5.7.5.4 da SAE JA1011); tarefas isoladas de manutenção conseguem identificar e/ou corrigir a falha sem a necessidade de ações combinadas (IEC 60300-3-11); o custo das tarefas de manutenção combinadas é maior do que o custo da falha (IEC 60300-3-11).

### Critério 6 (C6) – Mudança de Projeto e Reparo Funcional

Os quesitos deste critério verificam a consistência das tarefas classificadas como sendo de Mudança de Projeto e Reparo Funcional, com o objetivo de detectar as seguintes incoerências de implementação: ausência de análise de atividades de manutenção aplicáveis e efetivas (item 5.8.1.1 da SAE JA1011); permanência do projeto com riscos não combatidos pela manutenção (itens 5.8.1.2.1 e 5.8.1.2.2 da SAE JA1011); mudanças de projeto mais dispendiosas que a manutenção do projeto (itens 5.8.1.2.3 e 5.8.1.2.4 da SAE JA1011); reparos programados em itens com risco de segurança ou com falhas evidentes viáveis de prevenção (itens 5.8.2.1 e 5.8.2.2 da SAE JA1011).

#### 5.7.7 Auditoria da Etapa 6

Os próximos itens justificam os quesitos que constituem cada um dos critérios que compõem a auditoria da Etapa 6, os quais estão resumidos na Figura 5.27 e detalhados no Apêndice F.

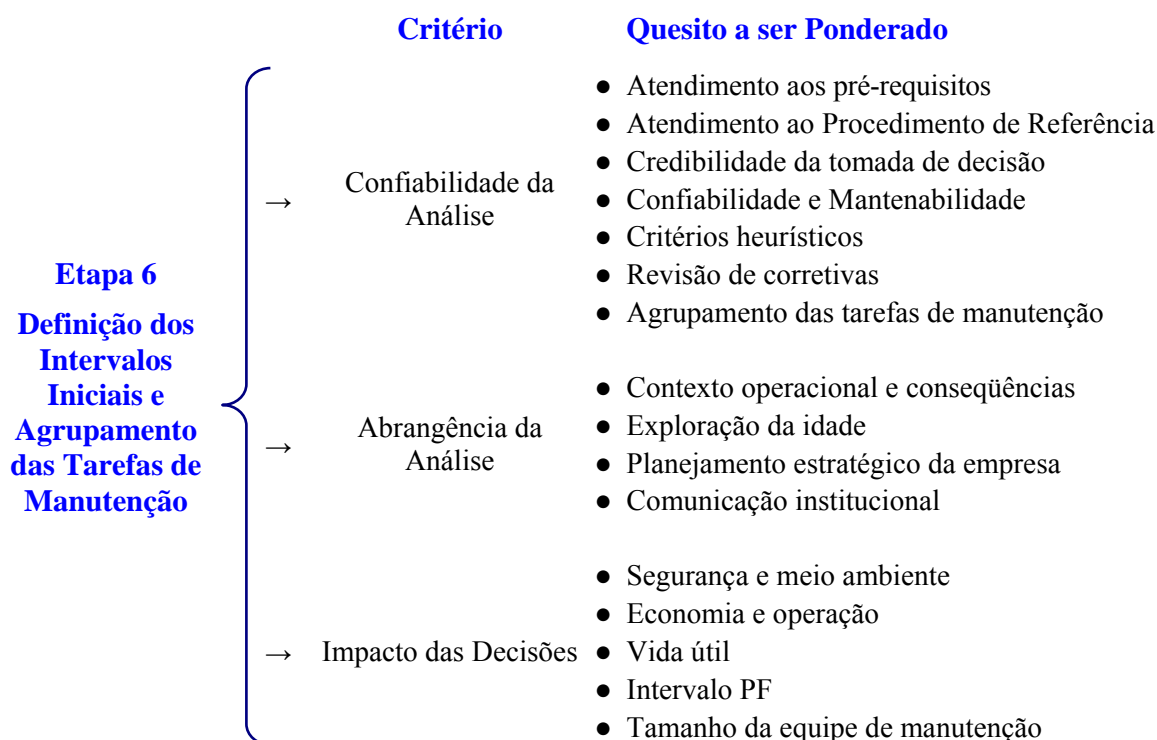


Figura 5.27 – Auditoria da Etapa 6.

### Critério 1 (C1) – Confiabilidade da Análise

Os quesitos deste critério verificam a credibilidade das decisões tomadas durante a Definição dos Intervalos Iniciais e Agrupamento das Tarefas de Manutenção. Assim, o objetivo dos quesitos 4 a 7 deste critério, além dos quesitos 1 a 3, já explicitados, é detectar os seguintes erros de implementação: equacionamento errado ou não aprovado ou desconhecido pelo proprietário para definir os intervalos de manutenção (item 5.10.1 da SAE JA1011); transgressão de critérios heurísticos de operadores e mantenedores; ações corretivas equivocadas, pela não aplicabilidade ou pela baixa efetividade; e tarefas de manutenção programadas de forma desestruturada impactando na disponibilidade do sistema.

### Critério 2 (C2) – Abrangência da Análise

Este critério verifica, a partir da aplicação de seus quesitos, a abrangência da análise e das decisões tomadas pela equipe de implementação, durante a Definição dos Intervalos Iniciais e Agrupamento das Tarefas de Manutenção. Os seguintes erros de implementação são verificados: as decisões tomadas não levaram em conta o contexto operacional e os riscos devidos a perda da função; ausência de um programa de exploração da idade, para aquelas tarefas definidas sem conhecimento dos mecanismos da falha; falta de consonância com o planejamento estratégico da empresa; e deficiências na estruturação do novo contexto logístico e de apoio as tarefas de manutenção.

### Critério 3 (C3) – Impacto das Decisões

Os quesitos deste critério verificam se a equipe de implementação, durante a Definição dos Intervalos Iniciais e Agrupamento das Tarefas de Manutenção: preservou os princípios da MCC no que diz respeito à periodicidade das tarefas de manutenção (princípios estes explicitados nos respectivos quesitos – IEC 60300-3-11); e considerou e/ou dimensionou o tamanho da equipe de manutenção de acordo com a quantidade e periodicidade das tarefas de manutenção.

#### 5.7.8 Auditoria da Etapa 7

Os próximos itens justificam os quesitos que constituem cada um dos critérios que compõem a auditoria da Etapa 7, os quais estão resumidos na Figura 5.28 e detalhados no Apêndice F.



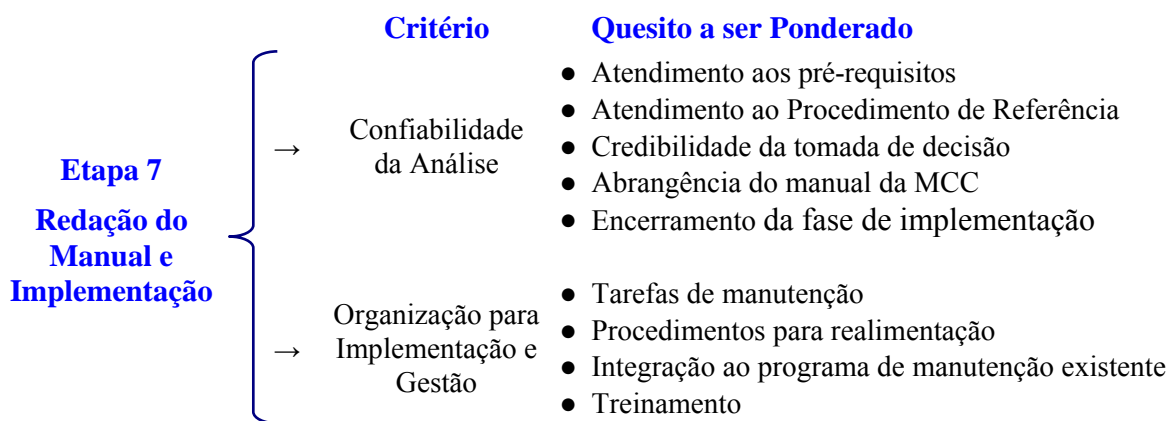


Figura 5.28 – Auditoria da Etapa 7.

#### Critério 1 (C1) – Confiabilidade da Análise

Os quesitos 4 e 5 deste critério, além dos quesitos 1 a 3, já explicitados, verificam as questões formais e gerenciais relacionadas à Redação do Manual e ao Planejamento para Implementação do Programa de MCC. São verificados: o formalismo na descrição dos objetivos do programa de MCC, explicitados em seu manual; e o encerramento da fase de implementação, o qual deve seguir as boas práticas de gestão de projetos.

#### Critério 2 (C2) – Organização para Execução do Programa de MCC

Os quesitos deste critério verificam os aspectos mais relevantes da fase final de implementação, os quais irão impactar a fase de execução do programa de MCC, estes aspectos são: aspectos formais relativos ao manual da MCC, incluindo clareza na descrição e ciência da alta gerência, das tarefas de manutenção e procedimentos e recomendações para revisão, realimentação e consolidação de dados; e aspectos relativos às mudanças internas proporcionadas pelo novo programa de manutenção proposto pela MCC, incluindo treinamento dos operadores e mantenedores e implementação e incorporação das tarefas e controles propostos pela MCC.

#### 5.7.9 Auditoria da Etapa 8

Os próximos itens justificam os quesitos que constituem cada um dos critérios que compõem a auditoria da Etapa 8, os quais estão resumidos na Figura 5.29 e detalhados no Apêndice F.

#### Critério 1 (C1) – Confiabilidade da Análise

Os quesitos 4 e 5 deste critério, além dos quesitos 1 a 3, já explicitados, verificam, respectivamente, se após a implantação do programa de MCC se mantêm: o engajamento da

empresa em seus diversos setores envolvidos e/ou afetados pelo programa; e a preocupação contínua com as questões relacionadas com a gestão da informação e do conhecimento e seu atendimento às necessidades do programa de MCC na sua fase de execução.

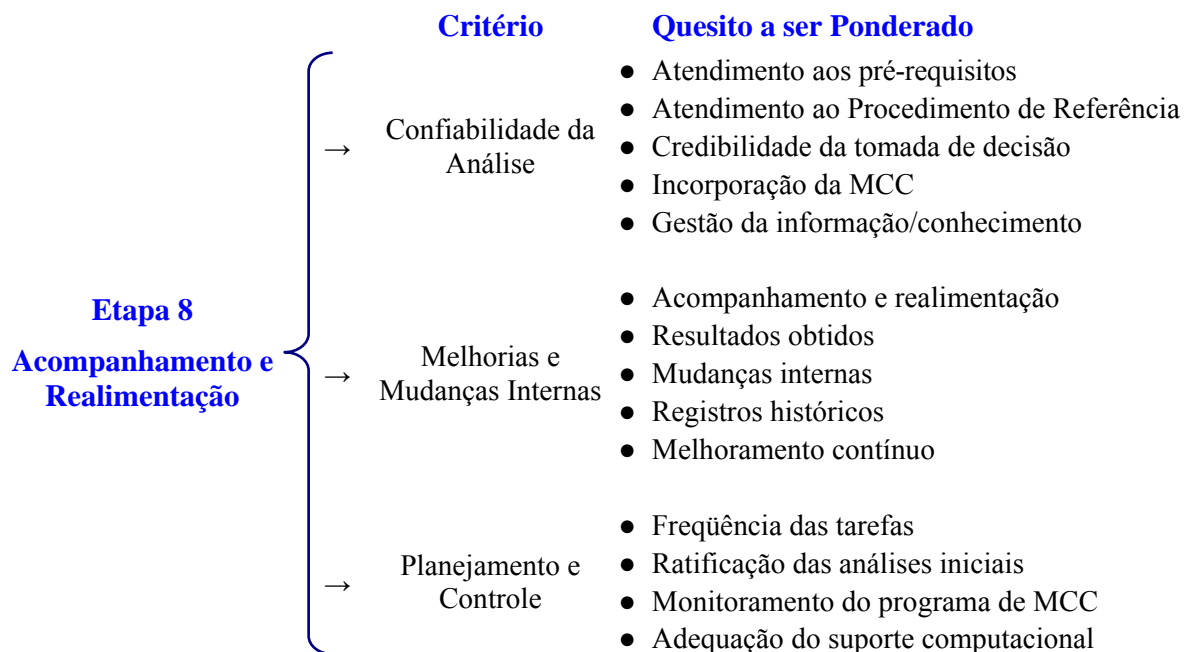


Figura 5.29 – Auditoria da Etapa 8.

#### Critério 2 (C2) – Melhorias e Mudanças Internas

Este critério avalia a concretização das mudanças internas demandadas pela MCC, para consolidar as decisões tomadas durante as etapas anteriores (Etapa 0 a 7). Entre os itens de especial interesse, os quais são examinados pelos quesitos deste critério, estão: o desempenho, a aceitabilidade dos resultados e a aderência do programa de MCC; o comportamento do setor de manutenção no que diz respeito às ações de manutenção e o registro de dados históricos; e os subsídios para o melhoramento contínuo do programa de MCC.

#### Critério 3 (C3) – Planejamento e Controle

Este critério verifica a consistência do planejamento inicial e a realimentação e otimização do programa de MCC. Os itens de interesse, examinados pelos quesitos deste critério, são: compatibilidade entre tamanho da equipe e frequência das tarefas de manutenção; ratificação do planejamento inicial e controle para realimentação em caso de equívocos ou inconsistências; e adequação dos sistemas computacionais de apoio.

## 5.8 AVALIAÇÃO DOS FATORES CRÍTICOS PARA A IMPLANTAÇÃO DA MCC

Concluída a fase de ponderação dos quesitos anteriores e posteriores a implementação da etapa, o *SBC-Fuzzy* inicia o processo de inferência que resultará na avaliação dos critérios a partir dos quais se tem a avaliação da etapa sob análise. A ponderação dos quesitos, em alguns casos, depende de pesquisa junto aos mantenedores, operadores e demais envolvidos e/ou afetados pelo programa de MCC, o que poderá ser feito, por exemplo, com auxílio da técnica Delphi, explanada no Capítulo 4.

As ponderações do analista e as conclusões do processo de inferência, conduzidas pelo *SBC-Fuzzy*, são mostradas no relatório final da análise, para cada uma das etapas conforme o procedimento de referência. Este relatório apresenta, além do processo de inferência, proposições de melhoria e regras de conduta que deveriam ser seguidas antes ou durante o processo de implementação das etapas.

Cabe ressaltar que a avaliação dos pré-requisitos não altera a conduta e/ou os ritos do processo de implantação da MCC. O que ocorre, é a interposição de subsídios para a tomada de decisão da equipe de implementação para resolução de possíveis não conformidades e/ou baixa aderência da empresa/sistema às necessidades da MCC. Ao mesmo tempo, tem-se a explicitação do conhecimento tácito referente às características da empresa/sistema que permeiam e influenciam os procedimentos de implantação da MCC. Assim, o relatório final de avaliação dos pré-requisitos da etapa é um retrato das características da empresa/sistema e seu grau de aderência à MCC e o conhecimento nele explicitado serve aos propósitos da Gestão do Conhecimento (GC), tratada no Capítulo 3. Detalhes mais substanciais, de conteúdo e forma do relatório final, serão melhor explicitados no Capítulo 6 deste trabalho.

## 5.9 CONSIDERAÇÕES E SÍNTESE DO CAPÍTULO

Neste capítulo foram abordados os principais critérios para avaliação dos pré-requisitos e auditoria das etapas do processo de implantação da MCC, os quais subsidiam a metodologia proposta. Tais critérios, com seus respectivos quesitos a serem ponderados, resultaram da elicitação do conhecimento junto a especialistas, além de bibliografias e normas diversas sobre o assunto em pauta. A estruturação e consolidação deste conhecimento no *SBC-Fuzzy*, assim como a explicitação do processo de inferência difuso proposto, será objeto de explanação do Capítulo 6.

A estruturação dos critérios e quesitos propostos foi possível a partir da concepção de um procedimento de referência para implantação da MCC, o qual buscou condensar os aspectos mais relevantes das bibliografias, normas e especialistas consultados. Tal procedimento não

pretende ser um modelo para implantação da MCC, mas tão somente um referencial para orientar a estruturação deste trabalho.

O próximo capítulo abordará a consolidação da metodologia proposta em um SBC-*Fuzzy* e os mecanismos utilizados para tratamento das incertezas do processo decisório inerente.

## IMPLEMENTAÇÃO COMPUTACIONAL

## 6.1 INTRODUÇÃO

Este capítulo apresenta a implementação computacional do Sistema Baseado em Conhecimento – *Fuzzy* (SBC-*Fuzzy*), desenvolvido para atuar como uma ferramenta de consolidação da metodologia proposta e para ajudar no tratamento das incertezas inerentes à implantação da Manutenção Centrada na Confiabilidade (MCC).

Conforme justificado nos capítulos precedentes, o SBC-*Fuzzy* foi desenvolvido seguindo o modelo incremental. A representação do conhecimento utiliza técnicas híbridas com orientação a objetos e regras de produção.

Nos próximos itens são explicitados, a composição da Base de Conhecimento e o processo de inferência utilizado pelo SBC-*Fuzzy* desenvolvido para avaliação dos pré-requisitos e auditoria da MCC.

## 6.2 ASPECTOS GERAIS DA IMPLEMENTAÇÃO COMPUTACIONAL

A implementação computacional do SBC-*Fuzzy* proposto recebeu o nome de DALF-MCC (Diagnóstico Auxiliado por Lógica *Fuzzy* para a Manutenção Centrada na Confiabilidade) e seu objetivo é auxiliar a implantação da MCC, tratando as incertezas do processo de análise e tomada de decisão. Os procedimentos metodológicos, explicitados no Capítulo 5, foram incorporados ao DALF-MCC e orientam o usuário na condução do processo de análise dos pré-requisitos e auditoria da MCC, ponderando aspectos inerentes à Gestão do Conhecimento (GC) e às heurísticas e aspectos normativos relacionados à implementação das etapas do programa de MCC. As funcionalidades do DALF-MCC, para cada etapa do processo de implantação da MCC, incluem: Análise dos Pré-Requisitos, Auditoria e Apoio à Implementação.

Na análise dos pré-requisitos, as características e necessidades da empresa e do sistema, no qual a MCC será implementada, são confrontados com os requisitos exigidos pelo procedimento de referência adotado por este trabalho, para implantação da MCC. Como resultado deste processo, tem-se um relatório de diagnóstico que mostra a aptidão ou não da empresa e/ou sistema, para implementar a etapa sob análise.

Na auditoria, os atributos de cada etapa implementada são comparados com aqueles do procedimento de referência, abordados no Capítulo 5, e outros normatizados ou de consenso entre os especialistas em MCC. Como resultado deste processo, tem-se um relatório de diagnóstico que indica se a equipe de implementação da MCC conduziu adequadamente e obteve os resultados

esperados para a etapa sob análise e se está apta ou não para seguir com o processo de implantação da MCC.

Para apoio a implementação das etapas, o DALF-MCC incorpora soluções propostas para auxiliar o processo decisório durante a implementação de algumas etapas, as quais são importantes para o sucesso do programa de MCC. As soluções apresentadas contemplam as etapas 3, 4 e 5 do procedimento de referência e serão explicitadas no Capítulo 7.

### 6.3 METODOLOGIA DE DESENVOLVIMENTO

A metodologia utilizada para desenvolvimento do DALF-MCC, mostrada na Figura 6.1, seguiu um modelo incremental composto pelas seguintes etapas: Planejamento, Aquisição do Conhecimento, Representação do Conhecimento e Verificação, Validação do Protótipo Intermediário, Ciclo Incremental, e Versão Final. Os próximos itens detalham essas etapas.

Na etapa de planejamento definiu-se o domínio da aplicação, as funcionalidades requeridas e as ferramentas computacionais utilizadas para o desenvolvimento do DALF-MCC. A Figura 6.1 ilustra as deliberações desta etapa.

Na aquisição do conhecimento procedeu-se o mapeamento das fontes de conhecimento e a aquisição do conhecimento explícito, de normas e bibliografias relacionadas e o conhecimento heurístico dos especialistas que contribuíram com este trabalho. A Figura 6.1 ilustra os resultados desta etapa, os quais o Capítulo 5 explicitou na forma de quesitos a serem ponderados pelo usuário (ver detalhes no Apêndice F). Tais quesitos refletem o conhecimento explícito e heurístico adquiridos nesta etapa, os quais serviram de referência para concepção da base de conhecimento do DALF-MCC.

Concluído o primeiro ciclo de aquisição do conhecimento, iniciou-se a implementação do DALF-MCC, que incluiu: representação, verificação e validação do conhecimento, conforme apresentado no Capítulo 4. Seguindo uma filosofia incremental, este processo de aquisição e implementação se repete e se aprimora a cada novo ciclo, até que a base de conhecimento represente de forma satisfatória o conhecimento do especialista e das fontes de conhecimento explícito utilizadas. Para o DALF-MCC, cabe ressaltar os seguintes desenvolvimentos, inerentes as etapas supracitadas: a base de conhecimento foi implementada utilizando-se de técnicas híbridas, com orientação a objetos e regras de produção na *Shell FuzzyClips*; a interface com o usuário foi implementada em *Visual Basic*; e os relatórios finais de síntese e conclusão foram implementados em HTML. Os procedimentos e desdobramentos do processo de verificação e validação do DALF-MCC serão abordados com mais detalhes no Capítulo 8 deste trabalho.

Com a maturidade e a estruturação desejada da base de conhecimento e as funcionalidades gerais exigidas, iniciou-se a etapa de testes de campo. Estes testes avaliaram a eficácia do DALF-MCC, enquanto uma ferramenta, com relação a aplicação do conhecimento implementado, suas

funcionalidades gerais e a interface com o usuário. Detalhes da aplicação em campo do DALF-MCC serão abordados com mais detalhes no Capítulo 8 deste trabalho.

Concluída a etapa de testes de campo e feitas as modificações e incrementos necessários, o DALF-MCC foi concluído, ficando sujeito às manutenções inerentes ao seu ciclo de vida.

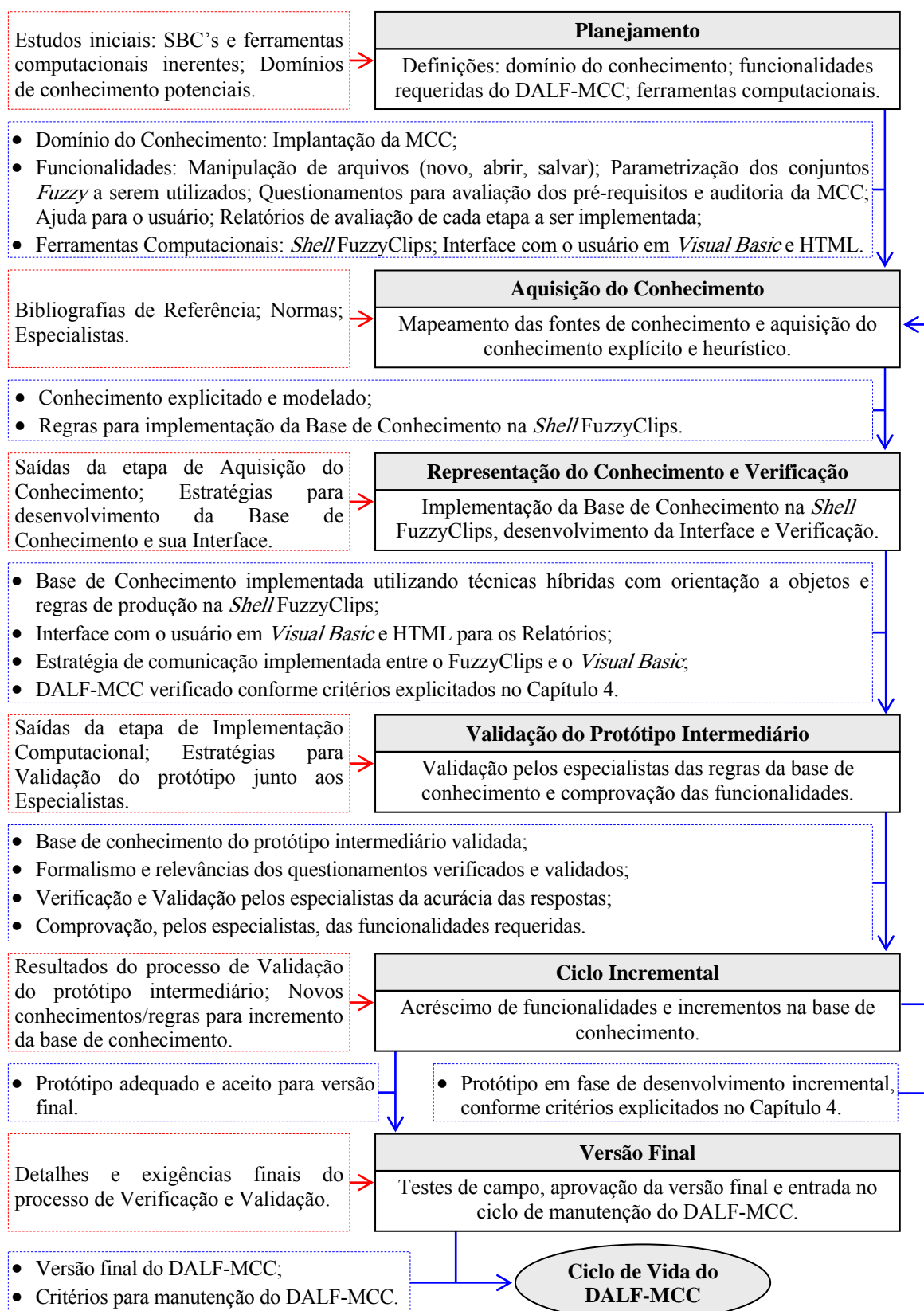


Figura 6.1 – Metodologia de Desenvolvimento do DALF-MCC.

## 6.4 ORGANIZAÇÃO DAS REGRAS NO DALF-MCC

Conforme abordado no Capítulo 5, o DALF-MCC é utilizado para analisar os pré-requisitos e fazer a auditoria de cada etapa da MCC segundo determinados critérios, os quais possuem quesitos a serem ponderados (Apêndice F). O responsável pela análise deverá ponderar cada quesito com uma nota *crisp* (0 a 10) ou um conceito *Fuzzy* (Ruim, Baixa, Boa, Alta ou Ótima), referente à aderência de sua empresa ou sistema àquele quesito sob análise, o qual reflete as necessidades da MCC.

Para incorporar a incerteza por imprecisão (léxica), ambos, critérios e quesitos, serão tratados como variáveis linguísticas *Fuzzy*, cujos termos primários compõem a avaliação de cada etapa (pré-requisitos e auditoria). Estas variáveis linguísticas são configuradas na tela de Parametrização *Fuzzy* do DALF-MCC (Figura 6.2). Mais detalhes da interface do DALF-MCC podem ser vistos no Apêndice G.

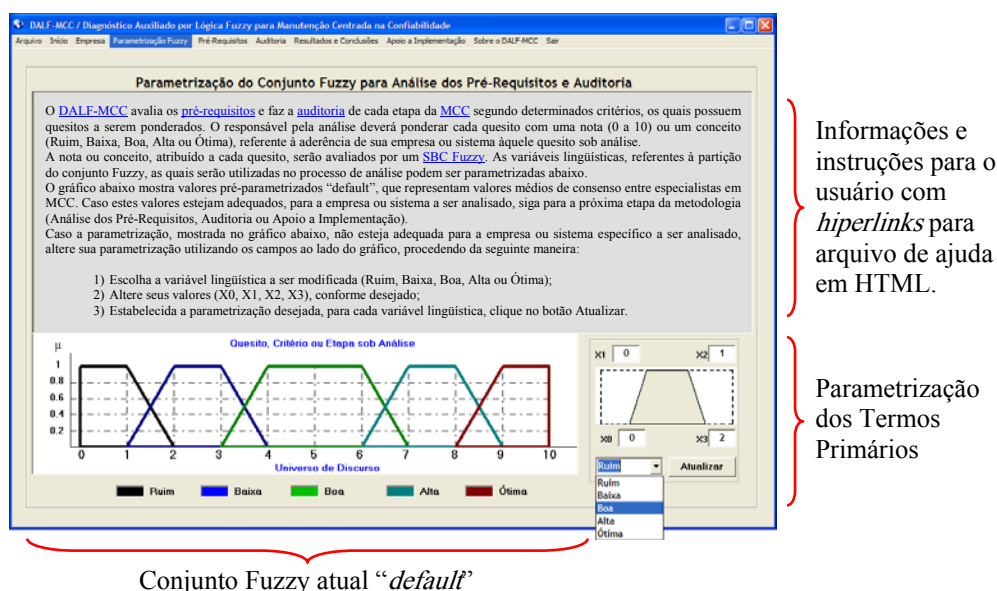


Figura 6.2 – Tela de Parametrização do DALF-MCC.

Todos os quesitos, referentes a cada critério, devem ser ponderados e os resultados agregados para obtenção do conjunto *Fuzzy* representativo do critério. A ponderação de cada quesito (Nota ou Conceito) serve também para compor o relatório final de avaliação da aderência ou não da empresa/sistema aos requisitos de cada critério. Com base na ponderação de cada quesito, as respectivas considerações são apresentadas ao usuário. Após a ponderação e agregação de todos os quesitos referentes a cada critério, tem-se o conjunto *Fuzzy* representativo do critério. Este conjunto compõe o relatório final de avaliação da aderência ou não da empresa/sistema aos requisitos de cada etapa. Além disto, a desfuzzyficação deste conjunto resultará em uma nota (valor *crisp*), em função da qual uma mensagem/resposta é apresentada ao usuário.

Os dados inseridos na tela de Parametrização *Fuzzy* são utilizados para a ponderação de todos os quesitos, os quais compõem os critérios que servirão de base para avaliação dos pré-requisitos e auditoria de todas as etapas do procedimento de implantação da MCC. Conforme enfatizado no Capítulo 5 o processo de parametrização deve ser conduzido por um especialista em



MCC e no domínio da aplicação. O conhecimento/experiência deste especialista servirá de base para a definição das funções de pertinência, as quais definirão os termos primários e, assim duas situações poderão ocorrer:

1. A parametrização é concebida de forma condizente com o domínio da aplicação e, neste caso, a ponderação dos quesitos irá, indiretamente, retratar o grau de maturidade e aderência da empresa quando comparada com outras do mesmo domínio de aplicação;
2. A parametrização retrata o consenso entre o(s) especialista(s) e os membros da equipe de implementação, levando em conta as especificidades da aplicação.

Em ambas as situações a parametrização deve ser conhecida pelos usuários para que a ponderação dos quesitos retrate, da maneira mais íntegra possível, a realidade da empresa/sistema.

Na tela de ponderação dos quesitos (Figura 6.3) o usuário atribui uma Nota ou um Conceito para cada quesito submetido a análise, sendo que: a Nota deve estar dentro do universo de discurso configurado na tela de parametrização *Fuzzy* (no DALF-MCC o universo de discurso poderá assumir qualquer intervalo entre 0 e 10); e o Conceito poderá ser qualquer um dos termos primários *Fuzzy* disponíveis (Ruim, Baixa, Boa, Alta ou Ótima).

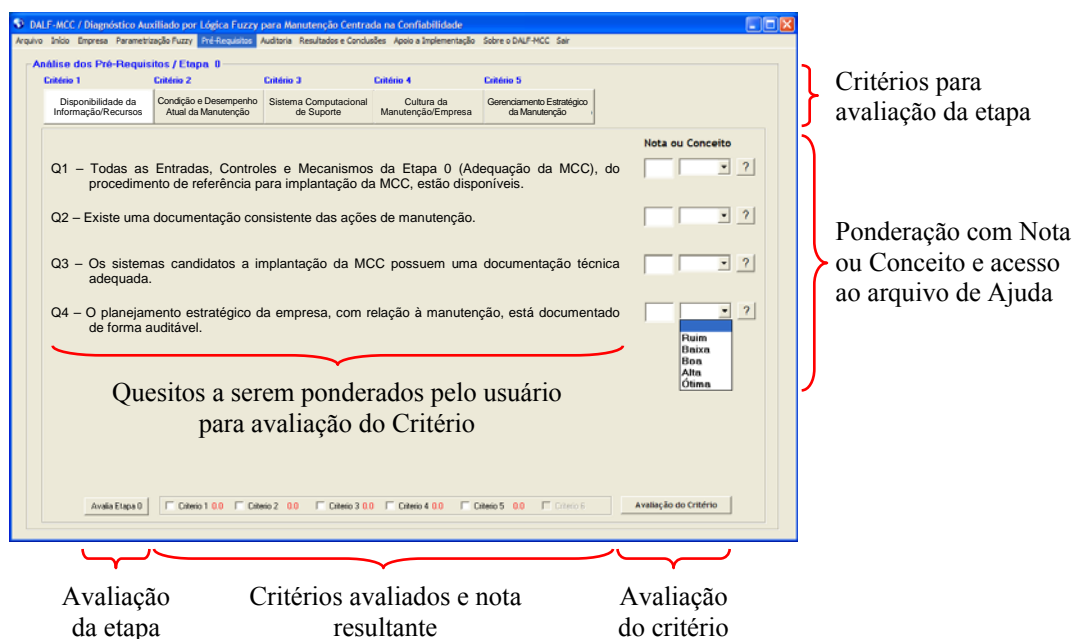


Figura 6.3 – Tela de Ponderação dos Quesitos.

A conjunção de Nota e Conceito possibilita ao usuário utilizar-se do mecanismo que lhe seja mais intuitivo para a ponderação dos quesitos. Como resultado desse processo se espera obter uma ponderação que espelhe a realidade da empresa/sistema, da maneira mais confiável possível.

Após a composição dos conjuntos *Fuzzy* referentes à avaliação de cada critério, os mesmos devem ser agregados para obtenção do conjunto *Fuzzy* representativo da etapa. Este conjunto compõe o relatório final de avaliação da aderência ou não da empresa/sistema aos requisitos da MCC. O conjunto *Fuzzy* resultante de cada etapa servirá para mostrar o contexto geral da empresa/sistema frente aos critérios avaliados (avaliação qualitativa). A nota resultante

da desfuzzyficação do conjunto *Fuzzy* resultante de cada etapa, servirá para avaliar o atendimento ou não da empresa/sistema aos requisitos da MCC avaliados a partir dos quesitos de cada critério (análise quantitativa).

Portanto, 5 grupos de regras são utilizados pelo DALF-MCC para a avaliação dos pré-requisitos, conforme o procedimento de referência, o mesmo valendo para a auditoria de cada etapa do processo de implantação da MCC. Estes grupos de regras são:

1. Regras para avaliação dos critérios, a partir da ponderação dos quesitos. Nestas regras o Antecedente é a ponderação dos quesitos feita pelo usuário (Conceito ou Nota) e o Conseqüente é a avaliação do critério com base na ponderação de cada quesito;
2. Regras para avaliação da etapa com base na avaliação dos critérios da referida etapa (resultante do grupo de regras 1). Neste caso, o Antecedente são conjuntos *Fuzzy* resultantes da avaliação de cada critério com base na ponderação de cada quesito e o Conseqüente é um conjunto *Fuzzy* resultante da agregação de todos os conjuntos *Fuzzy* referentes à avaliação dos critérios;
3. Regras para composição do relatório de conclusão de cada etapa, com 3 subgrupos de regras:
  - 3.1. O Antecedente é um Conceito ou uma Nota Fuzzyficada referente à ponderação de cada quesito, enquanto que o Conseqüente é uma mensagem/resposta ao usuário com base na ponderação de cada quesito;
  - 3.2. O Antecedente é uma Nota (valor *crisp*) resultante da desfuzzyficação do conjunto referente à avaliação de cada critério e o Conseqüente é uma mensagem/resposta ao usuário com base na respectiva Nota. O conjunto *Fuzzy* a ser desfuzzyficado foi formado a partir da agregação de cada termo primário, afetado pela ponderação dos quesitos (Nota ou Conceito), pertencentes ao respectivo critério;
  - 3.3. O Antecedente é uma Nota (valor *crisp*) resultante da desfuzzyficação do conjunto referente à agregação de todos os conjuntos *Fuzzy*, originados da avaliação dos critérios (resultado das regras do grupo 2). O Conseqüente é uma mensagem/resposta ao usuário com base no valor da Nota resultante da desfuzzyficação.

Os resultados e conclusões do processo de inferência *Fuzzy* incluindo seus desdobramentos e as respostas às ponderações do usuário são condensados em um relatório (Figura 6.4). Os seguintes dados são submetidos ao usuário para auxiliar sua tomada de decisão: os conjuntos *Fuzzy* relativos à avaliação dos critérios, formados após a agregação referente à ponderação dos quesitos, com suas respectivas notas resultantes desfuzzyficadas; o conjunto *Fuzzy* relativo à avaliação da etapa sob análise, formado após a agregação dos conjuntos *Fuzzy* referentes à avaliação dos critérios, com sua respectiva nota resultante desfuzzyficada; e as conclusões e sugestões do DALF-MCC relativas ao resultado final de avaliação da etapa sob análise. Resultados semelhantes, em formato e funcionalidade, são obtidos nos relatórios relativos à avaliação dos critérios e à ponderação de seus respectivos quesitos. Tanto para o caso da análise dos pré-requisitos quanto para

a auditoria de todas as etapas que compõem o procedimento de referência, incorporado ao DALF-MCC. Mais detalhes dos relatórios gerados pelo DALF-MCC podem ser vistos no Apêndice G.

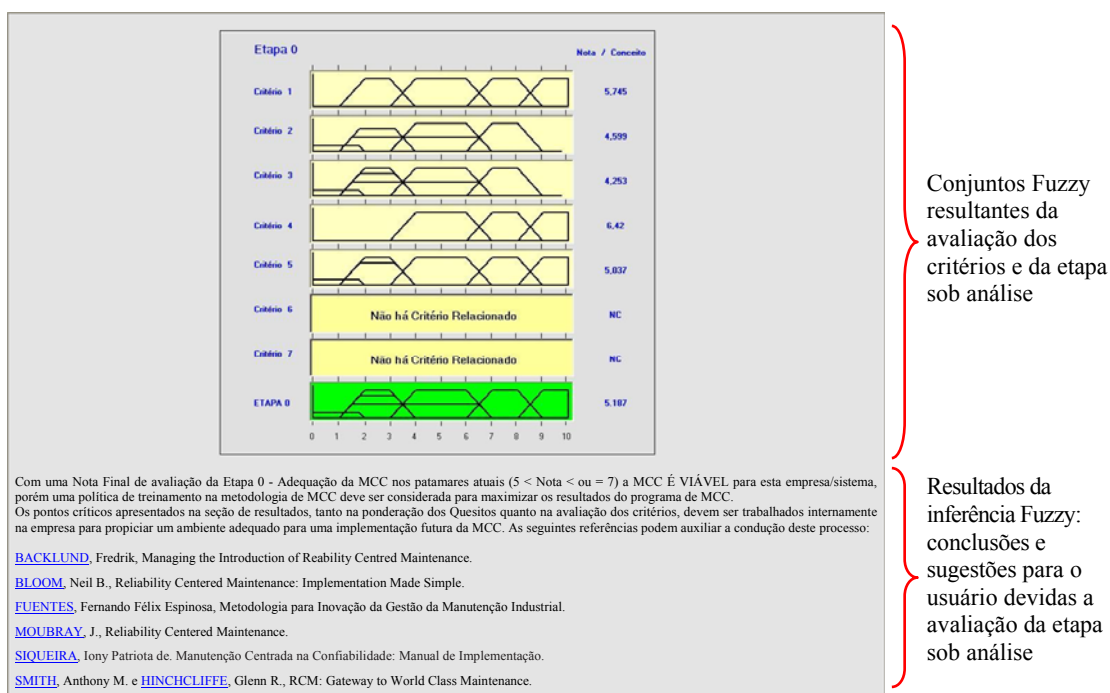


Figura 6.4 – Relatório de Avaliação da Etapa.

Portanto, além dos resultados da desfuzzyficação, o DALF-MCC inclui: subsídios que auxiliam a tomada de decisão e a gestão do conhecimento inerente aos atributos atuais da empresa e sua relação com as necessidades e fatores críticos de sucesso da MCC; explicação sobre o processo de inferência que culminou com as conclusões e sugestões apresentadas; comentários, conclusões e sugestões referentes à aderência ou não da empresa às necessidades da MCC; e recomendações para ações futuras com base na situação atual da empresa/sistema.

## 6.5 POSSÍVEIS CONFIGURAÇÕES DO PROCESSO DE INFERÊNCIA FUZZY

A organização das regras, que estruturam a base de conhecimento para tratamento da ponderação dos quesitos e conseqüente avaliação dos critérios e etapas, tanto para a análise dos pré-requisitos quanta para a auditoria, seguiu a codificação mostrada na Figura 6.5. Esta codificação será também utilizada neste item para explicitação da estrutura interna da base de conhecimento do DALF-MCC e da lógica para concepção das respostas para o usuário a partir da ponderação dos quesitos.

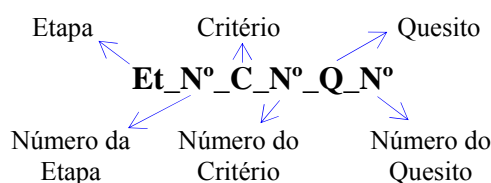


Figura 6.5 – Critério de Codificação da Base de Conhecimento do DALF-MCC.

Os quesitos submetidos ao usuário são asserções que retratam uma necessidade da MCC. Cabe ao usuário atribuir uma Nota ou um Conceito, referente à aderência da empresa/sistema, àquela asserção. Sendo assim podem ocorrer 3 situações:

1. O usuário atribui apenas Conceitos, ou seja, termos primários *Fuzzy* (Ruim, Baixa, Boa, Alta ou Ótima) para cada quesito;
2. O usuário atribui apenas Notas, ou seja, um valor *crisp* (no DALF-MCC, qualquer intervalo configurável entre 0 e 10) para cada quesito;
3. O usuário alterna, entre Nota e Conceito, para ponderar os quesitos referentes ao critério a ser avaliado.

### Situação 1: O usuário atribui apenas Conceitos para ponderação dos quesitos

Caso o usuário atribua apenas conceitos para ponderar os quesitos, respeitando os termos primários permitidos (Ruim, Baixa, Boa, Alta ou Ótima), a seguinte combinação de regras pode acontecer, a qual vale tanto para a análise dos pré-requisitos quanto para auditoria:

$$\text{Se } Et\_N^\circ\_C\_N^\circ\_Q\_N^\circ \text{ é: } \begin{matrix} \text{Conceito} \\ \left\{ \begin{array}{l} \text{Ruim} \\ \text{Baixa} \\ \text{Boa} \\ \text{Alta} \\ \text{Ótima} \end{array} \right. \end{matrix} \quad \text{Então } Et\_N^\circ\_C\_N^\circ \text{ é: } \begin{matrix} \text{Conceito} \\ \left\{ \begin{array}{l} \text{Ruim} \\ \text{Baixa} \\ \text{Boa} \\ \text{Alta} \\ \text{Ótima} \end{array} \right. \end{matrix}$$

Tomando como exemplo a análise dos pré-requisitos da Etapa 0 (Adequação da MCC), conforme explicitado no Capítulo 5, e supondo uma atribuição de Conceito aos quesitos pertencentes ao critério 1, conforme abaixo, verifica-se o seguinte processo de inferência:

<b>Critério: (C1) – Disponibilidade da Informação/Recursos</b>	
<b>Quesitos:</b>	<b>Conceitos:</b>
(Q1) – Aderência ao procedimento de referência	Boa
(Q2) – Documentação da manutenção	Alta
(Q3) – Documentação dos sistemas candidatos	Baixa
(Q4) – Planejamento estratégico da empresa	Ótima

A partir dos Conceitos atribuídos pelo usuário, as regras abaixo são ativadas na base de conhecimento do DALF-MCC:

Se	Et_0_C_1_Q_1 é:	Boa	Então	Et_0_C_1 é:	Boa
Se	Et_0_C_1_Q_2 é:	Alta	Então	Et_0_C_1 é:	Alta
Se	Et_0_C_1_Q_3 é:	Baixa	Então	Et_0_C_1 é:	Baixa
Se	Et_0_C_1_Q_4 é:	Ótima	Então	Et_0_C_1 é:	Ótima

A partir destas regras, a inferência *Fuzzy* mostrada na Figura 6.6, é desenvolvida pelo DALF-MCC. Após o processo de ponderação dos antecedentes (quesitos Q1 a Q4), implicação e agregação dos conseqüentes das regras, o que se tem é o conjunto *Fuzzy* resultante para o critério C1 (Disponibilidade da Informação/Recursos).

O baricentro geométrico ou centróide da área definida pelo conjunto *Fuzzy*, resultante da agregação dos conseqüentes, é a Nota (valor *crisp*) atribuída ao critério C1 a partir dos conceitos atribuídos pelo usuário aos quesitos. Este processo é comumente chamado de

desfuzzyficação ou condensação. Para cálculo do valor desfuzzyficado, o FuzzyClips, máquina de inferência utilizada pelo DALF-MCC, discretiza o universo de discurso referente ao critério analisado (C1), conforme explicitado no Capítulo 4.

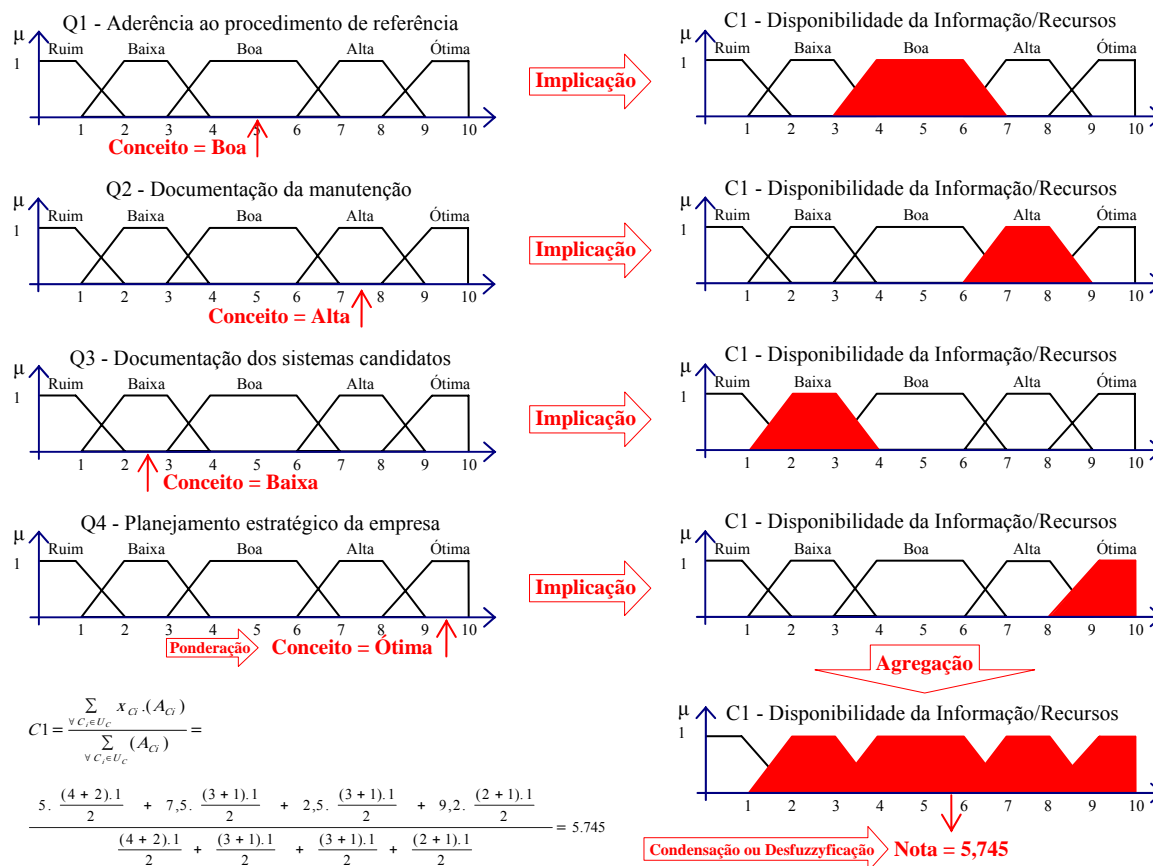


Figura 6.6 – Processo de Inferência Fuzzy com Atribuição de Conceitos.

### Situação 2: O usuário atribui apenas Notas para ponderação dos quesitos

Caso o usuário atribua apenas notas para ponderar os quesitos, respeitando o universo de discurso permitido (no DALF-MCC, qualquer intervalo configurável entre 0 e 10), a seguinte combinação de regras pode acontecer (válida para a análise dos pré-requisitos e para a auditoria):

Nota: Se Et\_Nº\_C\_Nº\_Q\_Nº é: Valor entre 0 e 10 Então Et\_Nº\_C\_Nº é: Conceitos afetados pela fuzzyficação da Nota, com seu respectivo Grau de Pertinência.

Tomando como exemplo a análise dos pré-requisitos da Etapa 0 (Adequação da MCC), conforme explicitado no Capítulo 5, e supondo uma atribuição de Nota aos quesitos pertencentes ao critério 2, conforme abaixo, o seguinte processo de inferência se verifica:

Critério: (C2) – Condição e Desempenho Atual da Manutenção	Nota:
Q1) – Estratégia de manutenção	1,8
Q2) – Desempenho da manutenção	7,5
Q3) – Recursos humanos na operação	3,5
Q4) – Custos da manutenção	6

A partir das Notas atribuídas pelo usuário, as regras abaixo são ativadas na base de conhecimento do DALF-MCC:

- Se Et\_0\_C\_2\_Q\_1 é: 1,8 Então Et\_0\_C\_2 é: Conceitos afetados pela fuzzyficação da Nota 1,8
- Se Et\_0\_C\_2\_Q\_2 é: 7,5 Então Et\_0\_C\_2 é: Conceitos afetados pela fuzzyficação da Nota 7,5
- Se Et\_0\_C\_2\_Q\_3 é: 3,5 Então Et\_0\_C\_2 é: Conceitos afetados pela fuzzyficação da Nota 3,5
- Se Et\_0\_C\_2\_Q\_4 é: 6 Então Et\_0\_C\_2 é: Conceitos afetados pela fuzzyficação da Nota 6

A partir destas regras, a inferência *Fuzzy*, mostrada na Figura 6.7, é desenvolvida pelo DALF-MCC. Os antecedentes (quesitos Q1 a Q4) de cada regra são ponderados de acordo com a Nota atribuída pelo usuário, e considerando-se as funções de pertinência associadas, resultando no grau de pertinência de cada Nota aos termos primários correspondentes. Ou seja, a Nota (valor *crisp*) é convertida para um termo primário *Fuzzy* (Ruim, Baixa, Boa, Alta ou Ótima – processo denominado fuzzyficação).

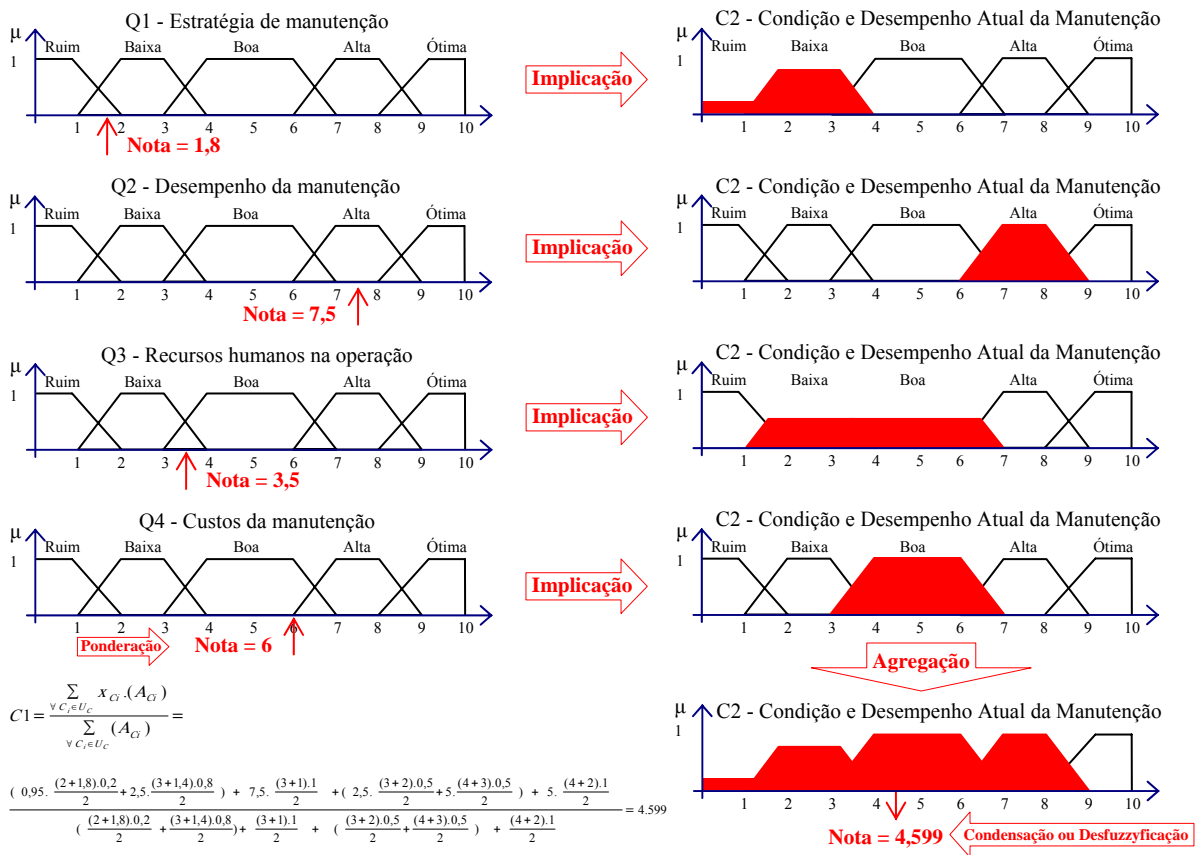


Figura 6.7 – Processo de Inferência *Fuzzy* com Atribuição de Notas.

Após o processo de fuzzyficação dos antecedentes (Q1 a Q4) ocorre a implicação, isto é, o processo em que os conseqüentes das regras, cujas condições são satisfeitas em algum grau de aplicabilidade, são calculados. Este processo encerra a idéia de que: se o antecedente da regra é verdadeiro, com algum grau de verdade, então o conseqüente também o é, com o mesmo grau de verdade. O processo de implicação consiste, basicamente, na modificação dos conjuntos difusos associados com os conseqüentes da regra. No modelo de inferência *Fuzzy* de Mamdani, utilizado

neste trabalho (REZENDE, 2003; YEN, 1998), estes conjuntos difusos são truncados em um nível correspondente ao grau de aplicabilidade da regra. Após a implicação, ocorre a agregação dos consequentes das regras e a desfuzzyficação ou condensação, conforme já explicitado na Situação 1.

### Situação 3: O usuário alterna entre Nota e Conceito para ponderação dos quesitos

Esta situação é uma composição das anteriores e, neste caso, o usuário pode atribuir, para a ponderação dos quesitos de um critério, tanto uma Nota, respeitando-se o universo de discurso permitido ou um Conceito, respeitando-se os termos primários disponíveis. As regras ativadas na base de conhecimento do DALF-MCC são, também, uma composição dos casos anteriores.

Tomando como exemplo a análise dos pré-requisitos da Etapa 0 (Adequação da MCC), conforme explicitado no Capítulo 5 e supondo uma atribuição alternada de Nota e Conceito aos quesitos pertencentes ao critério 3, conforme abaixo, o seguinte processo de inferência se verifica:

<b>Critério:</b> (C3) – Sistema Computacional de Suporte	
<b>Quesitos:</b>	<b>Nota:</b>
(Q1) – Automação de escritório	Boa
(Q2) – Gestão da informação	1,8
(Q3) – Gestão da manutenção	Baixa
(Q4) – Afinidade/Treinamento com o sistema	3,5
(Q5) – Integração com outros sistemas	Alta

A partir das Notas atribuídas pelo usuário, as regras abaixo são ativadas na base de conhecimento do DALF-MCC:

Se	Et_0_C_3_Q_1 é:	Boa	Então	Et_0_C_3 é:	Boa
Se	Et_0_C_3_Q_2 é:	1,8	Então	Et_0_C_3 é:	Conceitos afetados pela fuzzyficação da Nota 1,8
Se	Et_0_C_3_Q_3 é:	Baixa	Então	Et_0_C_3 é:	Baixa
Se	Et_0_C_3_Q_4 é:	3,5	Então	Et_0_C_3 é:	Conceitos afetados pela fuzzyficação da Nota 3,5
Se	Et_0_C_3_Q_5 é:	Alta	Então	Et_0_C_3 é:	Alta

A partir destas regras, a inferência *Fuzzy* mostrada na Figura 6.8, é desenvolvida pelo DALF-MCC. A ponderação dos antecedentes pelo usuário (quesitos Q1 a Q5), implicação e agregação dos consequentes das regras e a desfuzzyficação ou condensação, se processam de maneira semelhante às situações exemplificadas nas Situações 1 e 2.

Com a avaliação dos critérios, a partir da ponderação dos quesitos, o processo de inferência do DALF-MCC avalia a etapa correspondente aos quesitos ponderados e respectivos critérios avaliados. Neste caso, a seguinte combinação de regras pode acontecer, a qual vale tanto para a análise dos pré-requisitos quanto para auditoria:

Se	Et_Nº_C_Nº é:	Conjunto <i>Fuzzy</i> resultante da avaliação do critério	Então	Et_Nº é:	Conjunto <i>Fuzzy</i> resultante da agregação de todos os critérios que compõem a etapa
----	---------------	---	-------	----------	---

Para o processamento da avaliação da etapa é necessário a ponderação, por parte do usuário, de todos os quesitos e a avaliação de todos os critérios correspondentes que a compõe.

Portanto, assim como foi conduzida a avaliação dos critérios 1 a 3 exemplificados nos itens precedentes, para se ter a avaliação da Etapa 0 (Adequação da MCC), deve-se proceder de forma semelhante à avaliação dos critérios 4 e 5 que a compõem.

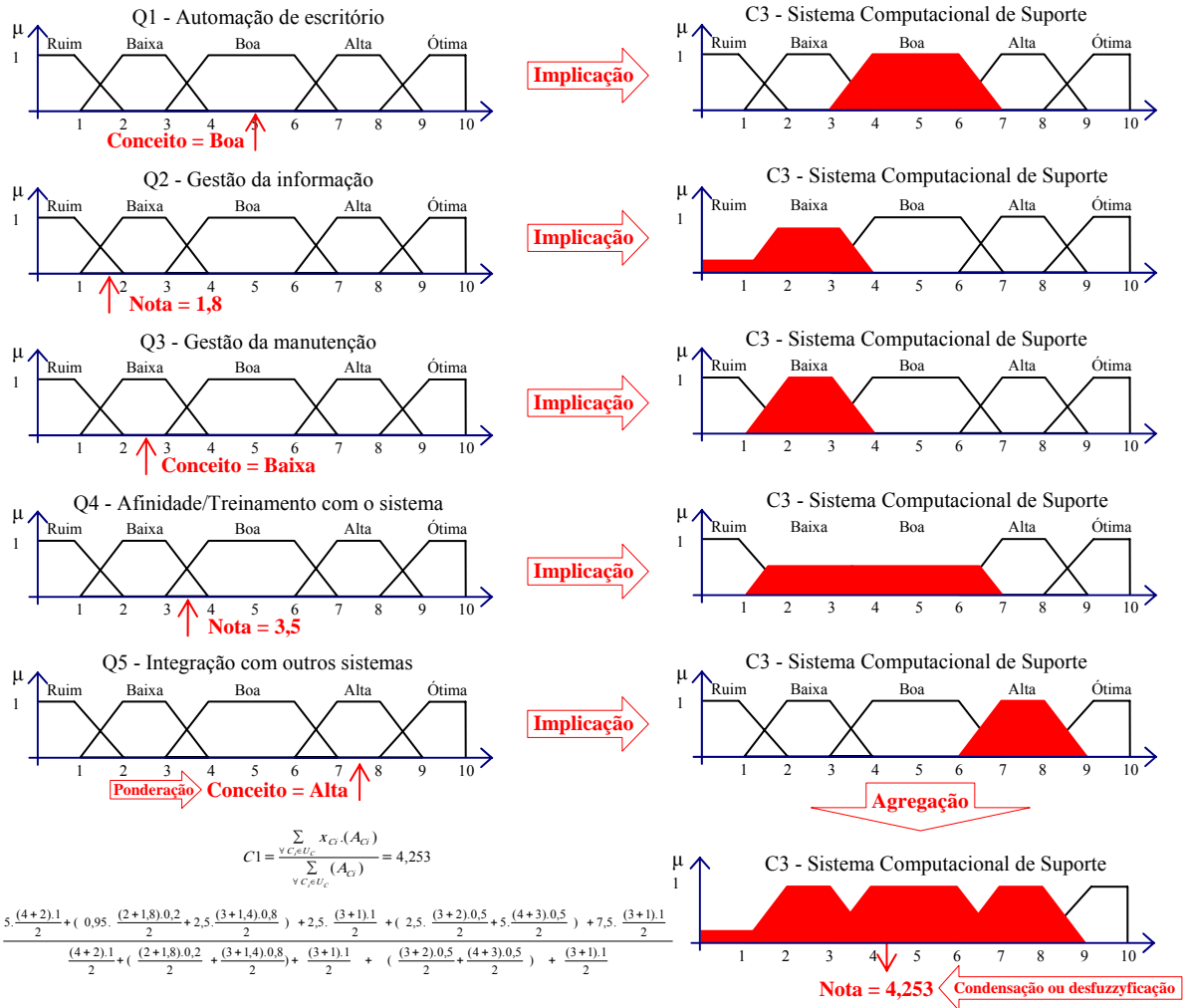


Figura 6.8 – Processo de Inferência Fuzzy com Atribuição de Nota e Conceito.

Após a avaliação de todos os critérios que compõem cada etapa, o DALF-MCC processa a inferência de modo a agregar todos os conjuntos Fuzzy resultantes de cada critério avaliado, e inerentes à respectiva etapa. O resultado deste processo é um conjunto Fuzzy que retrata o Grau de Aderência da Empresa/Sistema aos requisitos avaliados. Os resultados deste processo conduzem a conclusão da aptidão ou não da empresa/sistema para avançar com os procedimentos de implantação da MCC. Esta metodologia de inferência se aplica tanto para a fase de verificação dos pré-requisitos, quanto para a fase de auditoria da etapa sob análise.

Para exemplificar como o DALF-MCC processa a avaliação dos pré-requisitos da Etapa 0 (Adequação da MCC), conforme explicitado no Capítulo 5, considerar-se-á: os resultados obtidos nos itens precedentes para os critérios 1 a 3 (Situações 1 a 3); e uma avaliação simulada dos critérios 4 e 5 necessários para compor a avaliação da Etapa 0. Para simular os resultados da avaliação dos critérios 4 e 5, mostrados na Figura 6.9, foram consideradas as seguintes ponderações para os quesitos que os compõe:



**Critério:** (C4) – Cultura da Manutenção/Empresa

**Quesitos:**

- (Q1) – Registro das ações de manutenção
- (Q2) – Função estratégica da manutenção
- (Q3) – Motivação da equipe
- (Q4) – Experiência metodológica
- (Q5) – Atualização e Auditoria

**Nota:**

- 7,5
- Alta
- 6
- Boa
- Ótima

**Critério:** (C5) – Gerenciamento Estratégico da Manutenção

**Quesitos:**

- (Q1) – Orçamento
- (Q2) – Conformidade organizacional
- (Q3) – Aporte de recursos
- (Q4) – Apoio metodológico
- (Q5) – Terceirização

**Nota:**

- 1,8
- Boa
- Alta
- 9
- Baixa

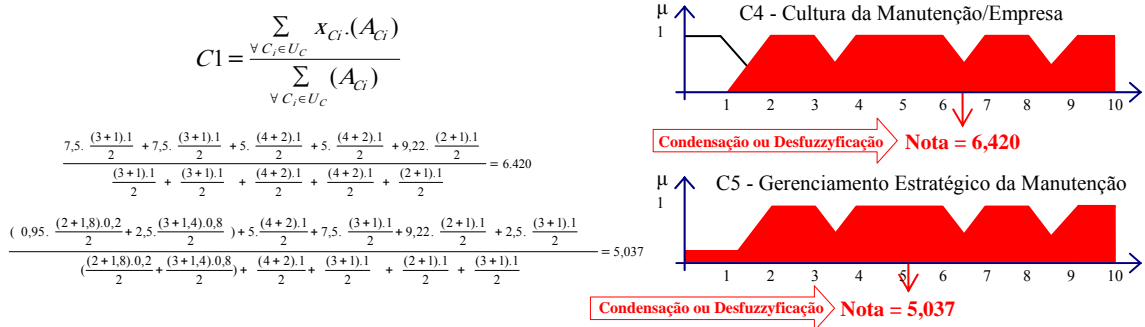


Figura 6.9 – Conjuntos *Fuzzy* Resultantes da Avaliação Simulada de C4 e C5 da Etapa 0.

A Figura 6.10 ilustra o processo de inferência para avaliação da Etapa 0, supondo os resultados precedentes referentes aos critérios 1 a 5.

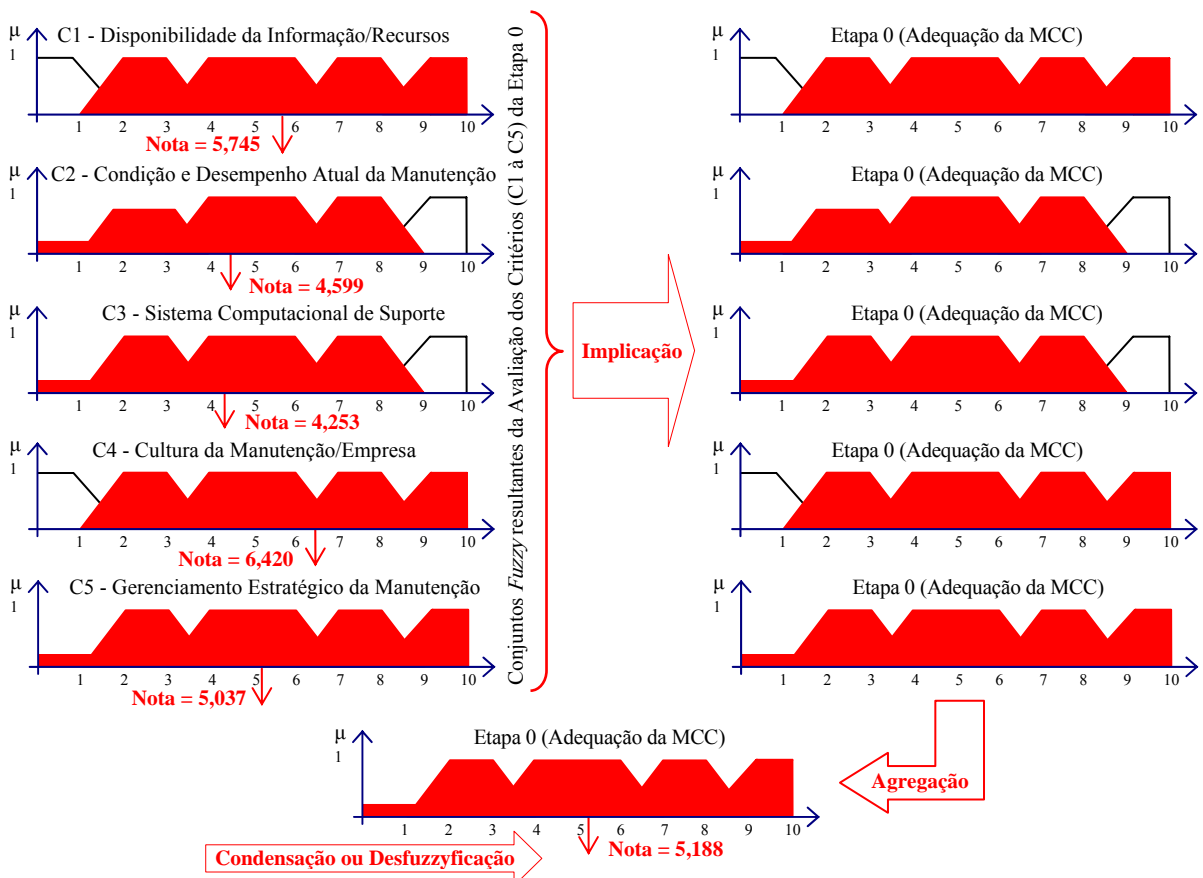


Figura 6.10 – Processo de Inferência *Fuzzy* para Avaliação da Etapa 0.

Conforme explanado anteriormente, ao longo do processo de inferência explicitado neste item, são geradas mensagens para o usuário para a composição do relatório final. Detalhes da composição deste relatório são objeto de explanação do Apêndice G.

## 6.6 CONSIDERAÇÕES E SÍNTESE DO CAPÍTULO

Este capítulo abordou a consolidação da metodologia proposta em um *SBC-Fuzzy*, aqui nomeado DALF-MCC, para avaliação dos pré-requisitos e auditoria das etapas do processo de implantação da MCC. Também foram explicitados os mecanismos utilizados para tratamento das incertezas inerentes ao processo decisório, os quais objetivam auxiliar o usuário em sua tomada de decisão ao longo da implementação das etapas da MCC.

Com os resultados demonstrados neste capítulo foi possível comprovar a possibilidade e a viabilidade da utilização de *SBC's Fuzzy* para tratar as incertezas inerentes à implantação da MCC, tanto na fase de análise dos pré-requisitos quanto na fase de auditoria das etapas implementadas. Estes resultados foram obtidos a partir da incorporação ao DALF-MCC de conceitos relativos à gestão do conhecimento. Desta forma foi possível conceber mecanismos para facilitar a explicitação do conhecimento tácito que os envolvidos, com o processo de implantação da MCC, têm da empresa e do sistema no qual se quer implantar a MCC. A síntese e o tratamento das incertezas inerentes ao uso deste conhecimento no processo decisório, proporcionados pelo DALF-MCC, contribuem para: aumentar a confiabilidade do processo de tomada de decisão, tanto na fase de análise dos pré-requisitos quanto na fase de auditoria; certificação de que a visão holística e o atendimento as normas e/ou procedimentos de referência foram contemplados no processo de análise; melhorar a agilidade e a eficiência do processo de implantação da MCC; e para a criação de uma base de conhecimento para análises futuras da evolução da empresa, na aderência as necessidades da MCC.

Além das vantagens relativas ao uso do conhecimento tácito explicitado na ponderação dos quesitos, citadas no parágrafo anterior, cabe ressaltar também os benefícios inerentes às funcionalidades apresentadas pelo DALF-MCC, dentre as quais: interface amigável com o usuário e relatórios elucidativos que podem servir de instrumento para capacitação de pessoal na análise dos pré-requisitos e auditoria das etapas de um processo de implantação da MCC; e a incorporação de ferramentas de apoio a implementação das Etapas 3, 4 e 5 do processo de implantação da MCC (Ver Apêndice G).

Como vantagens das funcionalidades e mecanismos supra-citados tem-se: a antecipação da aderência da empresa/sistema às necessidades da MCC; a garantia da correta execução das etapas; e apoio à implementação das etapas mais expressivas (Etapas 3, 4 e 5), as quais serão abordadas no próximo capítulo e, objetivam minimizar alguns dos fatores críticos constatados durante a fase de aquisição de conhecimento do DALF-MCC.

## FERRAMENTAS COMPUTACIONAIS DE APOIO À MCC

### 7.1 INTRODUÇÃO

Durante a fase de elicitação do conhecimento do DALF-MCC (Diagnóstico Auxiliado por Lógica *Fuzzy* para a Manutenção Centrada na Confiabilidade) foi constatado que muitos dos fatores críticos para o sucesso de programas de MCC (Manutenção Centrada na Confiabilidade) se devem a falta de subsídios adequados para auxiliar a implementação das etapas. Esta constatação é particularmente válida para as etapas mais expressivas do processo de implantação da MCC, as quais são: Etapa 3 (Análise dos Modos de Falha, seus Efeitos e sua Criticidade – FMECA); Etapa 4 (Seleção das Funções Significantes e Classificação de seus Modos de Falha); e Etapa 5 (Seleção das Tarefas de Manutenção Aplicáveis e Efetivas).

O escopo deste capítulo é, portanto, sugerir ferramentas computacionais para auxiliar a implementação das Etapas 3, 4 e 5, do procedimento de referência adotado neste trabalho, de forma a minimizar os fatores críticos constatados durante a fase de aquisição de conhecimento do DALF-MCC. As ferramentas aqui propostas foram incorporadas ao DALF-MCC e podem ser acessadas através do menu Apoio à Implementação (Figura 7.1). Mais detalhes das ferramentas computacionais tratadas neste capítulo são mostrados no Apêndice G.



Figura 7.1 – Tela de Acesso aos Softwares de Apoio a Implementação da MCC.

As ferramentas computacionais, propostas neste trabalho, objetivam tratar aspectos específicos das etapas supracitadas e que podem dificultar ou inviabilizar a implementação da MCC, tais ferramentas são:

Etapa 3:

- OpenFMECA: Software para auxiliar o uso da técnica FMECA desenvolvido para ser instalado em um servidor e utilizado via navegador de internet (*browser*);
- FMECA-Delphi: Software que utiliza a técnica Delphi para elicitação do Número de Prioridade de Risco (NPR) com especialistas não presenciais, cooperando em um ambiente virtual;
- NPR-Fuzzy: Software para avaliação do NPR que utiliza a lógica *Fuzzy* como ferramenta de apoio a tomada de decisão e tratamento das incertezas inerentes.

Etapa 4:

- DALF-Diagramas: Sistema Baseado em Conhecimento *Fuzzy* (SBC-*Fuzzy*) que auxilia a seleção e a caracterização das funções significantes listadas na Etapa 3, utilizando um processo de inferência *Fuzzy* baseado na ponderação de quesitos.

Etapa 5:

- DALF-Diagramas: parte integrante do software proposto para a Etapa 4 trata-se de um SBC-*Fuzzy* que auxilia a seleção das tarefas de manutenção aplicáveis e efetivas, para cada uma das funções significantes apontadas na Etapa 4. Utiliza um processo de inferência *Fuzzy* baseado na ponderação de quesitos.

Os próximos itens e o Apêndice G apresentam em detalhes cada um dos softwares propostos e os motivos que ensejaram seu desenvolvimento, como subsídio para minimizar os fatores críticos inerentes ao processo de implantação da MCC.

## 7.2 PROPOSTAS PARA IMPLEMENTAÇÃO DA ETAPA 3

Embora a FMECA (Etapa 3 do procedimento de referência) seja uma metodologia consagrada para análise das causas e principalmente dos efeitos dos modos de falha, algumas limitações, de natureza administrativa e técnica, são observadas na sua aplicação prática. As questões administrativas, segundo Antonietti (2002), envolvem: dificuldades no relacionamento interpessoal; e falhas no planejamento e na condução das reuniões. As questões técnicas, segundo Garcia (2006), envolvem: desconhecimento dos aspectos teóricos e práticos da aplicação da metodologia de FMECA; falta de conhecimento técnico dos participantes da equipe de FMECA; e limitações diversas relacionadas à atribuição dos fatores que compõem o NPR. Além da bibliografia pesquisada, a elicitação do conhecimento com especialistas em MCC, durante o ciclo incremental de desenvolvimento do DALF-MCC, revelou problemas semelhantes, os quais impactam negativamente a implantação da MCC. Assim 3 ferramentas computacionais, tratadas

individualmente nos próximos itens, foram desenvolvidas como proposta deste trabalho para subsidiar a implementação da Etapa 3.

### 7.2.1 OpenFMECA – Suporte à Implementação da FMECA

Para auxiliar e conduzir a implementação da FMECA, foi desenvolvido no Núcleo de Desenvolvimento Integrado de Produtos (NeDIP / EMC / UFSC), em um projeto fomentado pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), um software chamado de OpenFMECA. Trata-se de um software com código fonte aberto (*open source*), para ser instalado em um servidor e utilizado via navegador de internet (*browser*). A elaboração de software livre e, portanto, com código fonte aberto é uma das diretrizes do governo federal e corroborada pela maioria dos estados brasileiros (CISL, 2008). Para o seu desenvolvimento foi adotado a orientação a objeto, com modelo do ciclo de vida incremental.

Em virtude da decisão de se utilizar um navegador como interface, a programação do OpenFMECA foi desenvolvida valendo-se de recursos de PHP, JavaScript e MySQL, permitindo que o mesmo seja multiplataforma (possível de ser implementado em Windows, Linux e outros sistemas operacionais). Como navegador padrão foi utilizado o Mozilla Firefox. O modelo de implementação escolhido foi o “em camadas”. A mais próxima do usuário foi denominada “Interface”, a qual faz a conexão entre as requisições do usuário e o sistema, além da apresentação do sistema de maneira conveniente e intuitiva, gerando relatórios e páginas de visualização dos dados. A camada que contém o sistema foi denominada “Domínio” e a última camada é o Banco de Dados.

Para a camada de Interface, foi utilizado o modelo de requisições de páginas “http” com solicitações assíncronas em JavaScript, destacadamente AJAX (acrônimo para *asynchronous Javascript and XML*). Esta decisão permitiu um maior controle sobre as ações do usuário e possibilitou diminuir o tráfego de dados com o servidor, uma vez que apenas as informações novas são enviadas ao cliente. A linguagem JavaScript também foi escolhida por aprimorar a interface com o usuário do sistema, possibilitando respostas mais rápidas aos estímulos do usuário. Como biblioteca optou-se pelo uso da XAJAX uma biblioteca PHP com código fonte aberto, para fazer aplicações web baseadas em AJAX.

Na camada Domínio estão inseridas as regras e as estruturas de dados necessárias para representar a FMECA, utilizando-se a linguagem PHP.

As tabelas no Banco de Dados foram desenvolvidas para dar suporte ao modelo adotado, o qual prevê a criação de uma tabela para cada classe de objeto, com uma coluna para cada atributo e uma linha para cada instância da classe. Quanto aos aspectos relevantes do OpenFMECA, destacam-se:

- Instalação em servidor e utilização via navegador de internet, o que trás os seguintes benefícios:

- Possibilidade de utilização em qualquer sistema computacional (computadores pessoais ou palmtops) ou sistema operacional (Windows, Linux ou Mac) com acesso a internet por meio de um browser (preferencialmente Mozilla Firefox);
- Possibilidade de elaboração da FMECA de forma distribuída, ou seja, mais de uma pessoa trabalhando na mesma FMECA, em postos de trabalho diferentes. Neste sentido, poder-se-ia conceber a execução da FMECA de maneira não presencial, eliminando ou minimizando a necessidade das reuniões. A proposta de conciliar a técnica Delphi à FMECA, descrita no próximo item deste capítulo, vai de encontro desta abordagem. O FMECA-Delphi apresenta um método para elicitação do NPR que dispensa a necessidade de reuniões com especialistas presenciais em horários predeterminados;
- Utilização do *browser* como interface, o que diminui a curva de aprendizado do usuário, visto que, usualmente, ele está familiarizado a este ambiente;
- Possibilidade de ser utilizado de qualquer local, sem a necessidade de instalação de software específico, não vinculando o trabalho a uma determinada máquina.
- O OpenFMECA tem seu código fonte aberto, o que permite aos usuários adaptá-lo às necessidades da organização onde o mesmo será implementado;
- Além das abordagens tradicionais, o OpenFMECA propõe que a análise para a elaboração da FMECA seja feita na forma de árvore. Isso permite melhor visualização da FMECA em relação à representação em forma de tabela que, de acordo com Lee (2001), é fracamente estruturada e semanticamente pobre;
- O OpenFMECA contribui com a gestão do conhecimento, uma vez que além dos elementos normatizados da FMECA, permite também a inclusão de textos descritivos e, para as próximas versões, propõem-se a inclusão de figuras ilustrativas.

A estrutura de tabelas e informações relativas à FMECA, utilizada no OpenFMECA, segue as recomendações da SAE J1739. A interface e a estrutura do OpenFMECA são mostrados em detalhes no Apêndice G.

### 7.2.2 FMECA-Delphi – Técnica Delphi para Elicitação do NPR

Uma das grandes dificuldades da avaliação da criticidade na FMECA (Etapa 3 do procedimento de referência) é a necessidade de reunir todos os especialistas para que se obtenha consenso quanto ao valor de cada índice. Este processo é, normalmente, feito de maneira não estruturada, onde cada participante apresenta seu ponto de vista e, por confronto direto, tenta-se chegar a um consenso. Além da dificuldade de coincidir a agenda de todos os participantes, os quais usualmente são “pessoas-chave” nas empresas em suas respectivas áreas de atuação, o processo de convergência das opiniões em uma reunião convencional

carrega uma série de inconvenientes, tais como (DALKEY, 1967 e DALKEY, 1968): a presença de um participante dominante; a capacidade de persuasão de cada um; a tendência do participante querer ter a aprovação da equipe; a resistência de mudar de opinião depois de expô-la ao grupo; a pressão para se alcançar um consenso; e o ruído causado por material redundante ou irrelevante que ofusca materiais relevantes.

Este trabalho propõe o uso da técnica Delphi, explicitada no Capítulo 4 e Apêndice B, como recurso para amenizar os problemas citados no parágrafo anterior. Assim, foi desenvolvida no âmbito do NEDIP, uma ferramenta computacional nomeada FMECA-Delphi, a qual incorpora a técnica Delphi para possibilitar a elicitacão, de maneira não presencial, dos índices (Severidade, Ocorrência e Detecção) que compõem a avaliação da criticidade na FMECA.

A implementação do FMECA-Delphi incluiu o desenvolvimento de uma página na internet, onde cada especialista pode manifestar sua opinião quanto aos índices avaliados. Usualmente, apenas especialistas que fazem parte do grupo de FMECA podem emitir sua opinião. Com o uso da técnica Delphi é possível envolver um número muito maior de participantes, aumentando o comprometimento do corpo técnico com os resultados da FMECA, além de se ter a expectativa de que a resposta seja menos tendenciosa e se aproxime mais da “resposta verdadeira”.

O processo de determinacão dos índices inicia com o cadastramento dos participantes. Caso os formulários sejam submetidos apenas aos membros do grupo da FMECA, presume-se que este passo já tenha sido cumprido anteriormente. De qualquer forma, é importante traçar o perfil de cada participante, destacando-se o tempo de experiência na área. Adicionalmente, é importante fornecer aos participantes um texto apresentando o método proposto com as devidas instruções. Pode-se, então, partir para a primeira iteraçã, a qual está subdividida em 4 passos:

### 1) Preenchimento do Formulário

Cada participante é solicitado a preencher um formulário com um campo para ponderar o valor do índice que ele considera adequado e outro campo para informar o quão confiante ele está na resposta (baseado em uma escala pré-determinada).

### 2) Elaboracão de Estatísticas

Para cada índice questionado, calcula-se a média e o desvio padrão (alternativamente pode-se utilizar a mediana e os *quartis* inferior e superior). Estes valores serão apresentados aos especialistas juntamente com as justificativas na iteraçã seguinte.

### 3) Solicitaçã de Justificativas

Solicita-se, então, que os entrevistados que responderam o valor do índice fora da região central (faixa de um desvio padrão abaixo e acima da média), exponham brevemente as informações em que se basearam para estimar aquele valor.

#### 4) Tratamento das Informações Apresentadas nas Justificativas

Uma vez coletadas as informações do campo da justificativa dos valores atribuídos aos índices, o moderador pode categorizá-las e levantar a frequência de ocorrência de cada categoria. Estas informações, juntamente com as estatísticas do valor do índice, são apresentadas aos entrevistados na segunda iteração do processo acima.

Caso não se alcance um consenso quanto ao valor do índice ou uma dispersão que o moderador considere razoável, após a segunda iteração, pode-se fazer uma terceira. No entanto, não se recomenda que sejam feitas mais de três iterações, para evitar os efeitos indesejados constatados por Gupta e Clarke (1996), os quais são mostrados no Apêndice B. Por fim, é feita a ponderação das respostas, baseando-se nos índices de quão confiantes os entrevistados estavam na resposta e no tempo de experiência na área de cada um (Equação 7.1, adaptada de CARMO, 2004):

$$w = \frac{\sum_{i=1}^n \sqrt{y_i} \cdot (s_i)^2 \cdot x_i}{\sum_{i=1}^n \sqrt{y_i} \cdot (s_i)^2} \quad 7.1$$

Onde:

- $w$  é o valor do índice (Severidade, Ocorrência ou Detecção) ponderado pela experiência e confiança na estimativa feita pelo especialista;
- $y_i$  é o número de anos de experiência do  $i$ -ésimo especialista;
- $s_i$  é a nota que o  $i$ -ésimo especialista atribuiu para o grau de confiança na estimativa do valor do índice; e
- $x_i$  é a estimativa do valor do índice feita pelo  $i$ -ésimo especialista.

Este trabalho propõe que os valores para os índices de Severidade (S), Ocorrência (O) e Detecção (D) sigam as orientações da SAE J1739 (SAE, 2002), enquanto que os valores do Grau de Confiança (GC), que expressa quão confiante se está na estimativa do valor atribuído ao respectivo índice (S, O, ou D), sigam a escala apresentada na Tabela 7.1. Desta forma pode-se dar mais peso às respostas em que o entrevistado tenha mais experiência e esteja mais confiante, o que aumenta os indícios para uma “resposta verdadeira”.

Quanto aos aspectos relevantes do FMECA-Delphi, destacam-se:

- O método proposto não exige simultaneamente a presença física dos participantes da FMECA em um determinado local. Isto torna mais maleável a participação dos especialistas que podem preencher os índices da tabela de FMECA de acordo com a sua agenda, sem a necessidade de conciliar seus horários com outros;
- A elicitação dos índices de forma não presencial minimiza os inconvenientes das reuniões, decorrente da interação do grupo, mostradas no Capítulo 4 e Apêndice B;



- Pode-se incluir na análise pessoas que não fazem parte do grupo da FMECA, o qual normalmente é conciso com poucos ou, usualmente, apenas um representante de cada área. Isto pode aumentar o comprometimento do corpo técnico da organização com os resultados da FMECA, principalmente no que se refere aos planos de ações resultantes;
- Um número maior de participantes possibilita estatísticas mais representativas, além de, possivelmente, direcionar a tendência central no sentido da “resposta verdadeira”;
- A comunicação via internet agiliza a coleta das opiniões dos especialistas e o processamento das informações pelo moderador da FMECA.

Tabela 7.1 – Escala de Valores para Estimativa do Grau de Confiança.  
Fonte: adaptada de CARMO, 2004.

Grau de Confiança	Critério	Classificação
Totalmente Confiante	O especialista tem absoluta confiança de que o índice (S, O ou D) está avaliado corretamente.	10
Muito Confiante	O especialista está totalmente confiante de que o índice (S, O ou D) está avaliado corretamente.	9
Confiante	O especialista tem muita confiança de que o índice (S, O ou D) está avaliado corretamente.	7 ou 8
Razoavelmente Confiante	O especialista está confiante de que o índice (S, O ou D) está avaliado corretamente.	5 ou 6
Pouco Confiante	O especialista está razoavelmente confiante de que o índice (S, O ou D) está avaliado corretamente.	3 ou 4
	O especialista está pouco confiante de que o índice (S, O ou D) está avaliado corretamente.	2
	O especialista não tem confiança de que o índice (S, O ou D) está avaliado corretamente.	1

A interface e a estrutura do FMECA-Delphi são mostrados em detalhes no Apêndice G.

### 7.2.3 NPR-Fuzzy – Lógica *Fuzzy* para Avaliação do NPR

O NPR-Fuzzy é uma ferramenta computacional, mais precisamente um SBC-*Fuzzy*, que faz uso da lógica *Fuzzy* para avaliar o NPR. A proposta de concepção e as funcionalidades requeridas do NPR-Fuzzy nasceram de necessidades específicas do processo de implantação da Etapa 3 da MCC, detectadas ao longo da interação com os especialistas durante a fase de elicitação do conhecimento do DALF-MCC. Estas necessidades estão principalmente atreladas aos seguintes fatores: receio e/ou incapacidade dos especialistas em avaliar quantitativamente os índices que compõem o NPR (Severidade, Ocorrência e Detecção); e inconsistência dos termos lingüísticos normatizados para uma avaliação qualitativa, ou seja, em algumas aplicações não há consenso entre os especialistas da faixa de valores quantitativos representada pelos termos lingüísticos. Nestes casos é importante uma adequação consensual prévia entre os termos lingüísticos a serem utilizados e a faixa de valores quantitativos que os mesmos representam. Invariavelmente, esta adequação está vinculada a valores e critérios institucionais e características específicas do sistema a ser analisado; e questões práticas e

conceituais inerentes a concepção/formação do NPR, tanto na proposta da SAE-J1739 quanto na proposta da MIL-STD-1629A, entre estas se destacam:

#### SAE-J1739

A multiplicação dos índices de Severidade, Ocorrência e Detecção, proposta pela SAE-J1739 para a avaliação do NPR, apresenta os seguintes inconvenientes (BOWLES, 2003):

- É possível obter um NPR relativamente baixo ( $S=10$ ,  $O=1$ ,  $D=1$ ,  $NPR=10$ ) com uma severidade alta que pode inviabilizar todo um processo produtivo. Ao mesmo tempo, é possível ter um NPR relativamente alto ( $S=5$ ,  $O=5$ ,  $D=5$ ,  $NPR=125$ ) com índices moderados de Severidade, Ocorrência e Detecção. Uma análise descuidada pode concluir intuitivamente que o primeiro caso é menos crítico do que o segundo, culminando com a proposição de ações corretivas em detrimento de ações preventivas;
- É possível obter os mesmos valores de NPR para modos de falha distintos, por exemplo:  $S=2$ ,  $O=4$  e  $D=9$  resulta no mesmo NPR de  $S=9$ ,  $O=4$  e  $D=2$ , o que dificulta a classificação e/ou priorização dos modos de falha;
- Independente da escala adotada, não é possível a obtenção de números primos maiores que 10 na multiplicação dos 3 fatores que compõem o NPR, o que limita o conjunto de valores válidos e gera lacunas em sua escala;
- A escala de valores, dos fatores que compõem o NPR, muitas vezes não é customizada pelas empresas para se adequar ao objeto de estudo e/ou aos termos lingüísticos normalmente adotados pelos especialistas do grupo de FMECA. Esta prática pode culminar com avaliações equivocadas dos fatores que compõem o NPR.

#### MIL-STD-1629A

A priorização dos modos de falha com o uso da matriz de criticidade, proposta pela MIL-STD-1629A, apresenta os seguintes inconvenientes:

- Não considera a dificuldade de detecção das causas da falha, do modo de falha ou de seus efeitos;
- Nem sempre é possível, na prática, ter dados históricos das falhas que permitam uma análise quantitativa adequada às necessidades da MIL-STD-1629A as quais são: probabilidade do modo de falha, probabilidade condicional do efeito do modo de falha, taxa de falha do componente (por  $10^6$  horas ou ciclos).

Para minimizar os problemas supracitados, normalmente recorre-se a considerações heurísticas dos especialistas e não apenas ao NPR, calculado de acordo com a SAE J1739 ou a criticidade apontada conforme recomendações da MIL-STD-1629A. No entanto, esta análise é feita, usualmente, de forma subjetiva, sem uma regra clara, e o resultado dependerá da aversão ou propensão do analista/especialista ao risco.

Vale lembrar que, modos de falha mal avaliados resultam em prioridades incorretas, levando a ações mal sucedidas que não impactam da forma esperada no sistema sob análise. Ações adicionais, além das previstas na FMECA são, invariavelmente, necessárias nestes casos. Estas situações podem impactar negativamente na credibilidade e eficácia do programa de MCC, podendo resultar, em casos críticos, no seu abandono.

O NPR-Fuzzy foi concebido nos moldes do DALF-MCC para minimizar o impacto das incertezas e limitações apresentadas nos parágrafos anteriores para avaliação da criticidade, a qual influencia diretamente o sucesso da implementação da Etapa 3 da MCC. Dentre os atributos e funcionalidades do NPR-Fuzzy destacam-se:

- A possibilidade de independência na atribuição da escala de valores quantitativos aos termos lingüísticos qualitativos utilizados na atribuição dos fatores que compõem o NPR (Severidade, Ocorrência e Detecção). Assim, os especialistas e/ou analistas podem utilizar termos lingüísticos atrelados a valores de consenso e adaptados a realidade e/ou exigências da empresa/sistema. A Tabela 7.2 mostra os termos lingüísticos (termos primários) utilizados no NPR-Fuzzy para ponderação de cada item que compõe a avaliação do NPR. Tabelas normatizadas, extraídas da SAE J1739/2002 e presentes do Apêndice A, também poderão ser utilizadas para balizar a ponderação dos especialistas e/ou analistas;

Tabela 7.2 – Termos Lingüísticos (Primários) Utilizados no NPR-Fuzzy.

<b>Severidade do Efeito (S)</b>	<b>Probabilidade de Ocorrência da Falha (O)</b>	<b>Chances de Detecção (D)</b>
Pequena	Remota	Certa
Baixa	Baixa	Alta
Moderada	Moderada	Moderada
Alta	Alta	Remota
Muito Alta	Muito Alta	Muito Remota

- A Severidade pode ser ponderada de forma Global, considerando todos os efeitos, ou de forma Individual, considerando as especificidades de cada efeito na composição do índice de Severidade;
- Feita a ponderação pelos especialistas e/ou analistas, o NPR-Fuzzy permite a visualização gráfica, com o respectivo valor *crisp* correspondente, de todos os índices (Severidade, Ocorrência e Detecção) que compõe o NPR facilitando a tomada de decisão e classificação/hierarquização dos modos de falha;
- A avaliação do NPR é feita por um SBC-Fuzzy, o qual além da visualização gráfica do NPR avaliado apresenta, também, o valor *crisp* resultante da desfuzzyficação do conjunto Fuzzy formado pela agregação dos termos primários utilizados na ponderação dos índices que compõe o NPR (Severidade, Ocorrência e Detecção).

A interface e a estrutura do NPR-Fuzzy são mostrados em detalhes no Apêndice G.

### 7.3 PROPOSTAS PARA IMPLEMENTAÇÃO DA ETAPA 4

A proposta deste trabalho, para apoio à implementação da Etapa 4 do procedimento de referência, é um SBC-*Fuzzy* denominado DALF-Diagramas<sup>1</sup> (Decisão Apoiada por Lógica *Fuzzy* para aplicação dos Diagramas de Decisão da MCC), desenvolvido nos mesmos moldes do DALF-MCC. O DALF-Diagramas auxilia a aplicação dos diagramas de decisão da MCC, tratando as incertezas inerentes ao processo. Este tratamento se dá pela incorporação de termos primários *Fuzzy* relativos ao nível de aderência da empresa/sistema a quesitos, os quais devem ser ponderados pela equipe de implantação da MCC, durante a implementação da Etapa 4. A utilização de termos primários (lingüísticos) *Fuzzy* se contrapõe às respostas simplistas do tipo “Sim” ou “Não”, propostas pelas normas e bibliografias pesquisadas, para os questionamentos dos diagramas de decisão da MCC. Os quesitos ponderados alimentam um processo de inferência *Fuzzy* que irá indicar qual o melhor caminho a seguir no diagrama de decisão. Para estruturar o processo decisório, o DALF-Diagramas utiliza os diagramas de decisão propostos pela IEC 60300-3-11, adotados pelo procedimento de referência detalhado no Capítulo 5.

O DALF-Diagramas incorpora soluções para tratamento de incertezas das Etapas 4 e 5 do procedimento de referência. No caso específico de Etapa 4 as seguintes funcionalidades estão disponíveis: Identificação/Definição da Significância ou Não da Função; e Classificação dos Modos de Falha das Funções Significantes. Além destas funcionalidades, este trabalho propõe a inclusão, nos diagramas de decisão da Etapa 4, de mecanismos para análise do risco, uma crítica recorrente à MCC, explicitada no próximo item.

#### 7.3.1 Análise de Risco nos Diagramas de Decisão da Etapa 4 da MCC

O tratamento de riscos de segurança relacionados às atividades de manutenção não são adequadamente tratados pela MCC segundo Hauge e Johnston (2001), os autores afirmam que há um “vazio” entre a MCC e a análise de risco.

Segundo Moubray (2001), as conseqüências para a segurança e o meio ambiente são consideradas em uma questão específica do diagrama de decisão da MCC. No caso do procedimento de referência adotado por este trabalho, a questão referida por Moubray (2001) está

---

<sup>1</sup> Para o desenvolvimento do DALF-Diagramas foram selecionadas somente ferramentas de software livre, conforme segue: Python 2.5.1 – Linguagem de programação (<http://www.python.org/>); TK 8.4 – Módulo (*built-in*) Python de Interface Gráfica (<http://www.tcl.tk/>); LXML 1.3.4 – Módulo Python para manipulação de arquivos XML (<http://codespeak.net/lxml/>); Numpy 1.0.3.1 – Módulo Python para processamento matemático (<http://numpy.scipy.org/>); Matplotlib 0.90.1 – Módulo Python para plotagem de gráficos (<http://matplotlib.sourceforge.net/>); PIL 1.1.6 – Módulo para processamento de imagens (<http://www.pythonware.com/products/pil/>); Py2exe 0.6.6 – Módulo para "construção" de aplicativos Windows (<http://www.py2exe.org/>); Txt2tags 2.4 – Script Python para geração de documentos HTML (<http://txt2tags.sourceforge.net/>); FuzzyCLIPS 6.10d – Máquina de inferência *Fuzzy* ([http://www.iit.nrc.ca/IR\\_public/fuzzy/fuzzyClips/fuzzyCLIPSIndex.html](http://www.iit.nrc.ca/IR_public/fuzzy/fuzzyClips/fuzzyCLIPSIndex.html)). A codificação e estruturação dos arquivos HTML segue o padrão W3C chamado XML - *EXtensible Markup Language* (<http://www.w3schools.com/xml/default.asp>).

contemplada no diagrama para identificação de função significante, onde um dos questionamentos feitos para a equipe de implementação é: A perda da função tem efeito adverso de segurança ou ambiental? Neste caso, a consequência para a segurança significa a possibilidade de ferir ou matar alguém enquanto a consequência ambiental indica quebra de um regulamento ou padrão.

Hauge e Johnston (2001) concordam com a observação de Moubrey (2001), entretanto, afirmam que uma técnica de análise de risco pode resultar em maior consistência durante a aplicação dos diagramas de decisão da MCC, evitando o tratamento simplista de “Sim” ou “Não” comumente utilizado para evidenciar ou não o risco.

As evidências apontadas por Hauge e Johnston (2001) foram ratificadas ao longo do processo de aquisição do conhecimento do DALF-MCC. Sendo assim, este trabalho propõe no DALF-Diagramas, a inclusão de uma sistemática mais elaborada que, utilizando a lógica *Fuzzy*, possa suscitar nos especialistas uma análise de risco mais aprofundada quando na determinação da significância ou não da função. A metodologia incorporada no DALF-Diagramas está baseada na proposta de Raposo (2004). Entretanto, o DALF-Diagramas acrescenta mecanismos para implementação da metodologia e o tratamento por lógica *Fuzzy* das incertezas do processo decisório, com objetivo de auxiliar a tomada de decisão. A metodologia que embasa os questionamentos do DALF-Diagramas tem o objetivo de sensibilizar os envolvidos com o processo de implementação da Etapa 4 para a reflexão e ponderação sobre os aspectos relacionados ao risco, os quais impactam a identificação e caracterização das funções significantes. As reflexões e ponderações suscitadas pelo DALF-Diagramas são:

#### Tipo e Extensão das Conseqüências

Quanto ao tipo de consequência, da falha funcional ou do modo de falha, esta pode ser caracterizada por afetar a saúde, a vida ou a segurança do operador e/ou da coletividade ou ainda uma lei ou padrão ambiental. Quanto à extensão das consequências, da falha funcional ou do modo de falha, esta pode transcender ou estar restrita aos limites do sistema/empresa.

#### Graduação da Severidade das Conseqüências

O objetivo deste tópico nos questionamentos do DALF-Diagramas é garantir que a equipe de implementação da Etapa 4 reflita sobre a severidade das consequências, levando em conta a graduação proposta na Tabela 7.3.

Tabela 7.3 – Graduação da Severidade das Conseqüências.

Fonte: adaptado de Raposo, 2004.

Severidade	Quanto a Segurança das Pessoas	Quanto a Saúde das Pessoas	Quanto ao Impacto no Meio Ambiente
Nenhuma	Não há impacto na segurança.	Não há impacto na saúde das pessoas.	Não há impacto sobre o meio ambiente.
Baixa	Danos insignificantes em equipamentos.	Necessita de pronto atendimento e primeiros socorros.	Danos insignificantes ao meio ambiente.
Moderada	Danos leves e controláveis em equipamentos (baixo custo de reparo). Princípio de incêndio (debelado pelo operador).	Lesões leves em funcionários, terceiros ou moradores vizinhos. Acidentes sem afastamento. Doenças ocupacionais não graves.	Danos leves e controláveis ao meio ambiente.
Crítica	Danos severos em equipamentos. Parada de unidade ou sistema. Incêndio restrito (debelado pela brigada interna).	Lesões ou doenças ocupacionais severas em funcionários, terceiros ou moradores vizinhos. Acidentes com afastamento. Probabilidade de morte remota.	Danos severos ao meio ambiente. Requer comunicação ao órgão ambiental.
Muito Crítica	Danos irreparáveis em equipamentos. Parada desordenada de unidade ou sistema. Incêndio de grandes proporções (requer acionar plano de ajuda externa).	Morte, lesões ou doenças ocupacionais de várias pessoas na planta ou na comunidade vizinha.	Danos irreparáveis ao meio ambiente.

### Grau de Risco

Consiste na avaliação do Grau de Risco inerente a falha funcional ou ao modo de falha, com auxílio da matriz de risco, a qual relaciona a severidade das conseqüências com a freqüência de ocorrência da falha funcional ou do modo de falha. Este trabalho utiliza a Tabela 7.4, como referencial para ponderação da freqüência de ocorrência.

Tabela 7.4 – Freqüência de Ocorrência da Falha Funcional ou do Modo de Falha.

Fonte: adaptado de Raposo, 2004.

Categoria / Denominação	Faixa de Freqüência Anual	Descrição
Extremamente Remota	$f < 10^{-4}$	Conceitualmente possível, mas extremamente remota de ocorrer durante a vida útil da instalação.
Remota	$10^{-3} < f < 10^{-4}$	Não é esperado que ocorra durante toda a vida útil.
Possível	$10^{-2} < f < 10^{-3}$	É pouco provável que ocorra durante toda a vida útil.
Provável	$10^{-1} < f < 10^{-2}$	É esperado que ocorra 1 vez durante a vida útil.
Muito Provável	$f > 10^{-1}$	É esperado que ocorra várias vezes durante a vida útil.

O DALF-Diagramas utiliza a matriz de risco mostrada na Figura 7.2 para relacionar a severidade das conseqüências, com a freqüência de ocorrência da falha funcional ou do modo de falha.

Muito Provável	3	2	1	1
Provável	4	3	2	1
Possível	5	4	3	2
Remota	5	5	4	3
Extremamente Remota	5	5	5	4
	Baixa	Moderada	Crítica	Muito Crítica

Figura 7.2 – Matriz para Avaliação do Grau de Risco.

Fonte: adaptado de Raposo, 2004.

Outros modelos de matriz de risco podem ser encontrados em: Lima (1999), Barreiro (1999), DNV (2003), Hauge e Johnston (2001) e Melo *et al* (2002). Tais modelos variam em número de linhas, colunas e denominações dadas ao Grau de Risco, entretanto, todas resultam em uma graduação de risco que permite adotar as medidas mitigadoras necessárias para sua eliminação ou redução.

A Tabela 7.5 mostra as categorias e as considerações para a equipe de implementação da Etapa 4 da MCC, relativas à matriz de risco. O processo de inferência do DALF-Diagramas considera que, se o Grau de Risco for 1, 2 ou 3, a falha funcional ou o modo de falha analisado tem implicações no meio ambiente, saúde ou segurança e deve ser submetido à análise da MCC.

Durante a implementação da Etapa 5, para qualquer Grau de Risco elicitado na Etapa 4, a equipe de implementação deve se assegurar de que as estratégias ou tarefas de manutenção atendam às ações sugeridas na Tabela 7.5.

Tabela 7.5 – Categorias de Risco da Falha Funcional ou do Modo de Falha.  
Fonte: adaptado de Raposo, 2004.

Grau de Risco	Categoria	Aceitabilidade	Ações
1	Crítico	Não Aceitável	Verificar se existe alguma estratégia ou tarefa de manutenção para evitar a falha ou reduzir o risco para grau 3. Caso não haja, o risco deve ser mitigado com reprojatos ou controles administrativos para um grau menor ou igual a 3, no menor tempo possível.
2	Sério	Indesejável	
3	Moderado	Aceitável com Controles	Verificar se existe alguma estratégia ou tarefa de manutenção para evitar a falha. Caso não haja, deve ser verificado que procedimentos ou controles podem ser implementados.
4	Menor	Aceitável com Avisos	Sinalização e avisos são medidas necessárias. Verificar se alguma estratégia ou tarefa de manutenção para evitar a falha é economicamente viável.
5	Desprezível	Aceitável	Nenhuma mitigação requerida.

A interface e a estrutura do DALF-Diagramas para a Etapa 4 são mostrados em detalhes no Apêndice G.

#### 7.4 PROPOSTAS PARA IMPLEMENTAÇÃO DA ETAPA 5

O DALF-Diagramas também é a proposta deste trabalho para o tratamento das incertezas inerentes ao processo decisório, de aplicação dos Diagramas de Decisão da Etapa 5 do procedimento de referência. Neste caso, o DALF-Diagramas auxilia a decisão sobre a atividade de manutenção mais adequada para o modo de falha sob análise (ESA, EEO, OSA ou OEO). A opção de enquadramento do modo de falha pode ser um resultado das Análises da Etapa 4 ou uma escolha direta do usuário que, neste caso, já teria o Modo de Falha devidamente classificado.

Para estruturar o processo decisório, o DALF-Diagramas utiliza os diagramas de decisão propostos pela IEC 60300-3-11, adotados pelo procedimento de referência detalhado no Capítulo 5. Sendo assim, as seguintes atividades de manutenção são avaliadas pelo DALF-Diagramas a

partir de quesitos ponderados pelo usuário: Serviço Operacional, Inspeção Preditiva, Restauração Preventiva, Substituição Preventiva, Inspeção Funcional, Manutenção Combinada, Mudança de Projeto e Reparo Funcional.

A interface e a estrutura do DALF-Diagramas para a Etapa 5 são mostrados em detalhes no Apêndice G.

## 7.5 CONSIDERAÇÕES E SÍNTESE DO CAPÍTULO

Este capítulo abordou as ferramentas computacionais, propostas por este trabalho, para auxiliar a implementação das etapas 3, 4 e 5 do procedimento de referência. As funcionalidades, a interface, os benefícios dos softwares desenvolvidos, assim como os métodos para tratamento das incertezas (lógica *Fuzzy*) foram concebidos para minimizar alguns dos fatores críticos constatados durante a fase de aquisição de conhecimento do DALF-MCC.

As soluções apresentadas neste capítulo podem agilizar a implementação das etapas mais exaustivas do processo de implantação da MCC (Etapas 3, 4 e 5), seja pelas funcionalidades apresentadas ou pelo apoio ao processo decisório inerente a algumas das ferramentas. Desta forma, será possível minimizar o impacto de fatores que são críticos para a implementação das etapas supracitadas, entre estes: formação de equipes multidisciplinares, com restrições de disponibilidade; dificuldades no relacionamento interpessoal; desconhecimento dos aspectos teóricos e práticos das ferramentas inerentes ao processo de implementação das etapas da MCC, em especial a FMECA e os diagramas de decisão; e dificuldades diversas relacionadas à tomada de decisão frente a dados qualitativos e com elevado grau de incerteza.

Além dos aspectos práticos, as ferramentas computacionais apresentadas neste capítulo incorporam contribuições conceituais às metodologias tradicionais de implantação da MCC, tais como: soluções para determinação do NPR quer seja por inferência *Fuzzy* de termos lingüísticos qualitativos (NPR-Fuzzy) ou por uma abordagem holística com especialistas não presenciais (FMECA-Delphi e Open-FMECA); e inclusão, nos diagramas de decisão da MCC, da análise de risco e do impacto da falha funcional na imagem da empresa (DALF-Diagramas).

Todas as ferramentas propostas incorporam requisitos da gestão de conhecimento, principalmente àqueles relativos à explicitação do conhecimento tácito e ao apoio à tomada de decisão e processamento de dados com incerteza intrínseca. Assim como no DALF-MCC, foi também um requisito de projeto das ferramentas apresentadas, a preocupação com as seguintes funcionalidades: interface amigável com o usuário e ajuda sensível ao contexto em todas as fases de utilização; relatórios elucidativos que podem servir de instrumento para capacitação de pessoal no processo de implantação da MCC; e implementação de funcionalidades que amenizassem ou eliminassem alguns dos fatores críticos do processo de implantação da MCC, detectados ao longo da aquisição do conhecimento do DALF-MCC.



## VERIFICAÇÃO E VALIDAÇÃO DO PROTÓTIPO

### 8.1 INTRODUÇÃO

Este capítulo sintetiza o processo de verificação e validação do DALF-MCC (Diagnóstico Auxiliado por Lógica *Fuzzy* para a Manutenção Centrada na Confiabilidade) cujo desenvolvimento, conforme explicitado no Capítulo 4, seguiu o modelo incremental.

A etapa de verificação e validação foi utilizada neste trabalho para ratificar as características almejadas do DALF-MCC, abordadas no Capítulo 1, em relação à: interface com o usuário; funcionalidades requeridas; e exatidão da base de conhecimento. Tais quesitos estão em conformidade com as considerações de Gonzalez e Dankel (1993), quanto aos erros mais comuns cometidos em SBC's (Sistemas Baseados em Conhecimento), os quais são: falta de especificações ou simplesmente não utilização das especificações inicialmente estabelecidas; erros de operação do programa computacional (*bugs*); e representação incorreta do conhecimento, gerando soluções incorretas ou impossibilidade de se alcançar a solução correta.

O processo de verificação e validação englobou tanto o DALF-MCC quanto suas ferramentas complementares (OpenFMECA, FMECA-Delphi, NPR-Fuzzy e DALF-Diagramas) abordadas no Capítulo 7.

### 8.2 VERIFICAÇÃO

O processo de verificação, com os requisitos e critérios abordados no Capítulo 4, foi desenvolvido pelo autor, por usuários do protótipo durante sua fase de implementação e, em alguns aspectos, pelos especialistas que validaram o DALF-MCC e suas ferramentas complementares. Neste processo os seguintes itens foram verificados: erros na lógica de programação; erros de comunicação/interação entre os softwares utilizados, com especial atenção para o FuzzyCLIPS e o *Visual Basic*; funcionalidade dos atributos implementados na interface com o usuário (*links* externos, arquivo de ajuda, menus, parametrização dos conjuntos *Fuzzy*, restrições ao usuário); e erros de ortografia e gramática na interface com o usuário.

Após as verificações supracitadas o procedimento adotado incluiu testes de caso com objetivo de submeter o DALF-MCC e as ferramentas complementares a situações previamente estabelecidas, em que já se tem o conhecimento do resultado, para comprovação de sua acurácia.

No caso do DALF-MCC, todas as etapas do procedimento de referência, tanto para a análise de pré-requisitos como para a auditoria tiveram seus critérios e quesitos submetidos a testes de caso. Entretanto, nem todas as combinações possíveis de entrada foram testadas devido ao grande número de possibilidades para a ponderação da aderência da empresa/sistema ao

quesito a ser ponderado. Vale ressaltar que, cada quesito possui 5 entradas/ponderações possíveis, caso a ponderação utilize um conceito *Fuzzy* (Ruim, Baixa, Boa, Alta ou Ótima) e, infinitos valores numéricos dentro do intervalo de 0 a 10, referentes ao universo de discurso, caso a ponderação utilize uma nota (valor *crisp*). No caso de uma ponderação com nota, conforme mostrado no Capítulo 6, a mesma é fuzzyficada, resultando no grau de pertinência da nota ao termo primário correspondente. No processo de teste de caso foi utilizado, para ponderação dos quesitos, conceitos e notas. Para evidenciar a inviabilidade de se testar/simular todas as entradas possíveis do DALF-MCC basta levar em conta que, caso fossem utilizados somente conceitos (Ruim, Baixa, Boa, Alta ou Ótima), conforme mostrado na Tabela 8.1 se teria  $5^{92}$  possibilidades de entrada para a análise de pré-requisitos e  $5^{132}$  possibilidades de entrada para a auditoria.

Tabela 8.1 – Dados Estatísticos do DALF-MCC.

Etapa	Pré-Requisitos			Auditoria		
	Nº de Critérios	Nº de Quesitos por Critério	Nº Total de Quesitos	Nº de Critérios	Nº de Quesitos por Critério	Nº Total de Quesitos
0	5	4   4   5   5   5	23	1	5	5
1	4	4   5   3   3	15	4	6   4   4   4	18
2	2	6   5	11	2	5   4	9
3	2	6   5	11	4	5   5   5   4	19
4	1	5	5	2	4   4	8
5	2	5   3	8	6	4   7   6   5   6   6	34
6	1	5	5	3	7   4   5	16
7	2	4   3	7	2	5   4	9
8	2	3   4	7	3	5   5   4	14
<b>Total</b>	21	-	92	27	-	132

Portanto, em virtude das impossibilidades supra-citadas, foram simuladas as entradas necessárias para testar todas as saídas possíveis, tanto àquelas relativas a ponderação dos quesitos quanto as relativas à avaliação dos critérios e etapas. Sendo assim, foi adotado o seguinte procedimento:

- Quanto aos quesitos, todas as possibilidades de conceitos, para cada quesito, foram simuladas, tanto para o caso da análise dos pré-requisitos como para o caso da auditoria. Foram também atribuídas notas (0,5 | 2,5 | 5 | 7,5 | 9,5), de forma que sua fuzzyficação resultasse nos cinco conceitos possíveis para cada quesito (com base na Figura 4.7). Este procedimento foi adotado para todos os quesitos. Foi simulada, ainda, a atribuição de notas que afetasse dois termos primários simultaneamente. Neste caso, com os termos primários parametrizados, conforme a Figura 4.7, foram simuladas quatro notas para todos os quesitos, a saber: 1,5 (termos afetados Ruim e Baixa); 3,5 (termos afetados Baixa e Boa); 6,5 (termos afetados Boa e Alta) e, 8,5 (termos afetados Alta e Ótima). Este procedimento totalizou 3136 entradas (Pré-Requisitos = 1288 + Auditoria = 1848). A Tabela 8.2 resume as simulações de entrada, processadas pelo DALF-MCC, para o caso dos quesitos.

Tabela 8.2 – Entradas Simuladas no DALF-MCC.

Pré-Requisitos			Auditoria		
Total de Quesitos	Entradas Simuladas	Total de Entradas Simuladas	Total de Quesitos	Entradas Simuladas	Total de Entradas Simuladas
92	5 Conceitos	460	132	5 Conceitos	660
92	5 Notas (0,5   2,5   5   7,5   9,5)	460	132	5 Notas (0,5   2,5   5   7,5   9,5)	660
92	4 Notas (1,5   3,5   6,5   8,5)	368	132	4 Notas (1,5   3,5   6,5   8,5)	528
<b>Total</b>	<b>14 Entradas / Quesito</b>	<b>1288</b>	<b>Total</b>	<b>14 Entradas / Quesito</b>	<b>1848</b>

- Com as simulações processadas para os quesitos foram obtidas todas as respostas possíveis para os critérios. Considerando-se que cada um possui 4 patamares de nota, conforme explicitado no Capítulo 6 ( $0 < \text{Nota} \leq 3$  |  $3 < \text{Nota} \leq 5$  |  $5 < \text{Nota} \leq 7$  |  $7 < \text{Nota} \leq 10$ ), obteve-se portanto: 21 critérios x 4 patamares de nota = 84 respostas para a análise dos Pré-Requisitos e 27 critérios x 4 patamares de nota = 108 respostas para a Auditoria, totalizando 192 respostas, ou seja, todas as possibilidades de saída;
- Assim como no caso anterior, obtiveram-se para as etapas todas as saídas possíveis após a ponderação dos quesitos. As conclusões fornecidas pelo DALF-MCC para as etapas estão, também, atreladas a 4 patamares de nota, conforme explicitado no Capítulo 6 ( $0 < \text{Nota} \leq 3$  |  $3 < \text{Nota} \leq 5$  |  $5 < \text{Nota} \leq 7$  |  $7 < \text{Nota} \leq 10$ ), obtendo-se portanto: 9 etapas x 4 patamares de nota = 36 respostas para a análise dos Pré-Requisitos e 9 etapas x 4 patamares de nota = 36 respostas para a Auditoria, totalizando 72 respostas, ou seja, todas as possibilidades de saída.

Em relação às ferramentas complementares, todas passaram por testes de caso antes do processo de validação, sendo que a principal preocupação foi a funcionalidade dos atributos presentes na interface com o usuário e sua correta execução a partir do DALF-MCC.

### 8.3 VALIDAÇÃO

Conforme descrito no Capítulo 4, o objetivo da validação de um protótipo de SBC, no sentido mais amplo, é determinar se o sistema realiza aquilo para o qual ele foi desenvolvido. No modelo incremental, a validação é a etapa que fecha um ciclo de desenvolvimento do protótipo. No caso do DALF-MCC, o processo de validação transcorreu de 3 maneiras distintas, a saber:

- Validação parcial do DALF-MCC e suas ferramentas complementares em seminários, congressos e palestras de apresentação deste trabalho de tese;
- Aplicação do DALF-MCC em campo em uma empresa da cidade industrial de Curitiba e sua comparação com os resultados obtidos pela metodologia proposta por Fuentes (2006);

- Validação por especialistas em MCC, os quais participaram do processo de aquisição do conhecimento do DALF-MCC.

Nos próximos parágrafos, cada um destes mecanismos de validação é explicitado para maior clareza dos procedimentos adotados e dos resultados obtidos.

### Validação Parcial em Seminários, Congressos e Palestras

Esta etapa do processo se estendeu ao longo de todo o ciclo de desenvolvimento do DALF-MCC. A intenção foi aproveitar os eventos com profissionais da área, alunos dos cursos de graduação da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) e de pós-graduação da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), para obter resultados exploratórios preliminares e, assim, realimentar o processo de desenvolvimento do DALF-MCC. O objetivo focalizou a validação da estrutura e da interface com o usuário.

As primeiras interações com usuários do DALF-MCC, objetivando sua validação, ocorreram em Seminários, Aulas e Palestras na UTFPR. Neste caso, os envolvidos no processo de validação foram alunos do último ano dos cursos de Engenharia Industrial Elétrica, ênfase Eletrotécnica, e Tecnologia em Gestão Comercial do Departamento Acadêmico de Eletrotécnica (DAELT). Em ambos os cursos os alunos cursaram, no mesmo semestre ou no anterior, a disciplina de Gestão da Manutenção. Para inquirir a opinião dos participantes durante esta fase foi utilizado o questionário apresentado no Apêndice C deste trabalho, particularmente as questões relativas à Análise da Interface e parte das questões relativas aos Aspectos Gerais (questões 1 a 4). A Tabela 8.3 sintetiza os resultados deste procedimento.

Tabela 8.3 – Resultado do Questionário de Validação (Alunos - UTFPR).

Resposta	Questões Respondidas (52 participantes)									
	Interface (%)						Aspectos Gerais (%)			
	Q1	Q2	Q3	Q4	Q5	Q6	Q1	Q2	Q3	Q4
Sim	100	100	59,6	80,8	76,9	100	100	67,3	100	*
Não	0	0	28,9	0	0	0	0	0	0	*
Parcialmente	0	0	11,5	19,2	23,1	0	0	32,7	0	*

\* Resposta discursiva facultativa.

Os resultados desta etapa do processo de validação (Tabela 8.3) apontam para a dificuldade dos alunos com relação a utilização da tela de Parametrização *Fuzzy* do DALF-MCC (Q3 da Análise da Interface). Esta dificuldade foi atribuída a inexperiência para inferir sobre a melhor parametrização dos termos primários e, a tentativa equivocada de configurar um determinado termo de forma não permitida pelo DALF-MCC. As respostas a Questão 4 dos Aspectos Gerais revelou a necessidade de treinamento na ferramenta e em MCC como sugestão de consenso.

Os comentários e opiniões dos participantes desta fase do processo de validação, permitiram, além da correção de diversos *bugs*, a identificação de melhorias estruturais e estéticas na interface com o usuário. Foi possível, também, identificar faltas e inconsistências até então imperceptíveis no arquivo de ajuda que, na sua versão atual está mais consistente e adequado, inclusive para usuários não especialistas em MCC ou lógica *Fuzzy*. Vale ressaltar que, para a utilização do DALF-MCC não é necessário conhecer os procedimentos para implantação da MCC, nem tão pouco a teoria sobre a lógica *Fuzzy*. No entanto, o DALF-MCC possui em seu arquivo de ajuda os subsídios para aprofundamento nestes dois domínios, se o usuário desejar.

Outra oportunidade de validação do DALF-MCC ocorreu durante o 22º Congresso Brasileiro de Manutenção promovido pela Associação Brasileira de Manutenção (ABRAMAN) em Florianópolis, entre 17 e 21/09/2007. Nesta oportunidade, alguns especialistas interessados no tema deste trabalho foram convidados a utilizar e opinar sobre DALF-MCC e suas ferramentas complementares até então desenvolvidas. Foram avaliados, nesta ocasião, os seguintes itens: linguagem utilizada na interface; facilidade de aplicação e utilização do DALF-MCC e suas ferramentas complementares; suficiência e consistência das informações presentes na interface com o usuário e no *help*; habilidade e capacitação dos mantenedores, e demais envolvidos no processo de implantação da MCC, para responder aos questionamentos apresentados e a abrangência dos questionamentos com relação à análise dos pré-requisitos para implantação da MCC, lembrando que, nesta oportunidade, ainda não havia a intenção de incluir a Auditoria da MCC no DALF-MCC. Esta necessidade foi vislumbrada justamente neste evento, durante as entrevistas com os participantes do processo. Para inquirir a opinião dos participantes durante esta fase foi utilizado, na íntegra, o questionário apresentado no Apêndice C deste trabalho. A Tabela 8.4 sintetiza os resultados deste procedimento.

Tabela 8.4 – Resultado do Questionário de Validação (Especialistas - Congressos).

Resposta	Questões Respondidas (15 participantes)																	
	Interface (%)						Processo de Inferência (%)							Aspectos Gerais (%)				
	Q1	Q2	Q3	Q4	Q5	Q6	Q1	Q2	Q3	Q4	Q5	Q6	Q7	Q1	Q2	Q3	Q4	Q5
Sim	100	86,7	66,7	80	80	100	100	93,3	93,3	100	80	100	100	100	80	100	*	86,8
Não	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	*	0
Parcialmente	0	13,3	33,3	20	20	0	0	6,7	6,7	0	20	0	0	0	20	0	*	13,3

\* Resposta discursiva facultativa.

Os resultados desta etapa do processo de validação (Tabela 8.4) apontam para um percentual maior de dificuldade com relação a utilização da tela de Parametrização *Fuzzy* do DALF-MCC (Q3 da Análise da Interface), comparado com o caso da validação com alunos da UTFPR. A maior dificuldade neste caso foi a tentativa de impor uma determinada função de pertinência aos termos primários de forma não permitida pelo DALF-MCC. As respostas a

Questão 4 dos Aspectos Gerais revelou a necessidade de treinamento no DALF-MCC e suas ferramentas complementares.

Os comentários e opiniões dos participantes desta fase do processo de validação, permitiram, identificar: erros conceituais, tanto na interface quanto no arquivo de ajuda; a necessidade de acréscimo de critérios, até então ignorados, bem como melhorias na formulação dos quesitos. Também foi constatada a necessidade de se alterar a ordem de apresentação do relatório, aspecto este também observado posteriormente pelo orientador deste trabalho. Assim, o resultado final da avaliação da etapa foi inserido no início do relatório, antes dos resultados parciais do processo de inferência que culminou na avaliação da respectiva etapa, o que facilitou o acesso à informação almejada, evitando que o usuário tenha que percorrer todo o relatório para visualizá-la. Na versão atual, isso somente é necessário se o usuário desejar obter detalhes do processo da avaliação da etapa, o que inclui os resultados parciais da avaliação dos critérios e da ponderação dos quesitos relacionados.

### Aplicação em Campo

A aplicação do DALF-MCC e suas ferramentas complementares em campo foi viabilizada, primeiramente, por intermédio do trabalho de conclusão de curso de GOBER *et al* (2008) orientado pelo autor, no DAELT da UTFPR. Neste trabalho, a seguinte estratégia foi adotada:

- 1) Em um grupo selecionado de empresas de Curitiba e região metropolitana, foi aplicada a Sistemática para Seleção da Concepção de Manutenção (SSCM) proposta por Fuentes (2006). Participaram deste processo, operadores e mantenedores das empresas selecionadas;
- 2) Em um dos casos, a SSCM revelou a aptidão da empresa em adotar a MCC como metodologia para gestão da manutenção. Mais especificamente, a aplicação da SSCM revelou que: 74% dos requisitos exigidos pela MCC poderiam ser atendidos pela empresa com facilidade e, destes, 50% seriam de atendimento imediato, isto é, o que a empresa já utilizava para gestão de sua manutenção já atenderia às necessidades da MCC;
- 3) Nesta empresa foi, então, aplicado o DALF-MCC (Etapa 0) para comparar seus resultados com àqueles sugeridos pela SSCM proposta por Fuentes (2006).

Na aplicação da SSCM, a avaliação mostrou, como pontos positivos, o envolvimento das pessoas nas mudanças e o espírito de equipe dos mantenedores. No DALF-MCC, os quesitos relacionados com estes itens (Critério 2, 3 e 4 da Etapa 0) obtiveram uma avaliação “Alta”.

Um ponto negativo revelado pela SSCM foi com relação à falta de atributos da empresa relacionados à gestão de projetos. Tais atributos também foram evidenciados pelo DALF-MCC

em quesitos específicos (Critério 5 da Etapa 0), resultando na conclusão de que este fato representa um “risco” para o sucesso do programa de MCC.

Com relação ao nível de cultura/maturidade para mudanças, a empresa recebeu da SSCM um conceito “bom e suficiente”. Na aplicação do DALF-MCC, os quesitos relacionados à cultura e maturidade da manutenção (Critério 4 da Etapa 0) obtiveram, na sua avaliação, um conceito “satisfatório” para a implantação da MCC.

As ferramentas complementares para implementação da MCC propostas pelo DALF-MCC, as quais não possuem equivalentes na SSCM, receberam do gerente de manutenção da empresa um parecer positivo. Neste caso, a ferramenta utilizada foi o OpenFMECA, uma vez que o gerente já tinha conhecimento da técnica FMECA e, deliberadamente, utilizou o referido software para comprovar suas funcionalidades.

Assim, a aplicação do DALF-MMC revelou, a partir da ponderação dos quesitos pelos mantenedores, que a empresa/sistema dispõe da maioria dos requisitos exigidos para iniciar a implementação da MCC. Tal resultado ratificou, portanto, a conclusão da SSCM proposta por Fuentes (2006), servindo como critério para a validação parcial do DALF-MCC.

Todos os usuários do DALF-MCC que participaram e/ou contribuíram com o trabalho de conclusão de curso, relatado neste item, também responderam ao questionário de validação do DALF-MCC apresentado no Apêndice C. A Tabela 8.5 sintetiza os resultados deste processo.

Tabela 8.5 – Resultado do Questionário de Validação (Aplicação em Campo).

Resposta	Questões Respondidas (12 participantes)																	
	Interface (%)						Processo de Inferência (%)							Aspectos Gerais (%)				
	Q1	Q2	Q3	Q4	Q5	Q6	Q1	Q2	Q3	Q4	Q5	Q6	Q7	Q1	Q2	Q3	Q4	Q5
Sim	100	83,3	100	91,7	100	83,3	100	91,7	91,7	91,7	83,3	100	100	100	100	100	*	91,7
Não	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	*	0
Parcialmente	0	16,7	0	8,3	0	16,7	0	8,3	8,3	8,3	16,7	0	0	0	0	0	*	8,3

\* Resposta discursiva facultativa.

A equipe que desenvolveu a aplicação em campo recebeu um treinamento prévio sobre o DALF-MCC, treinamento este repassados pela equipe, de maneira informal, para os membros da empresa que participaram da aplicação em campo. Isso se refletiu em um aumento do percentual de avaliações positivas com relação a utilização e entendimento da interface com o usuário. Das respostas obtidas e seus respectivos comentários foi possível sintetizar as seguintes observações:

- Nem todos os participantes conheciam a metodologia de gestão da manutenção proposta pela MCC. Neste aspecto, os comentários revelaram a importância do arquivo de ajuda propiciado pelo DALF-MCC, acessado a partir dos diversos *hiperlinks* disponíveis na interface com o usuário;
- Foram constatados alguns *bugs* na interface com o usuário, por exemplo: a tecla Tab estava selecionando os objetos da tela de maneira não seqüencial; na versão utilizada

havia permissão para se utilizar a vírgula para a separação de casa decimais, no caso da ponderação dos quesitos com uma Nota, gerando um erro no processo de inferência do FuzzyCLIPS; alguns *hiperlinks* não estavam funcionais ou, ao abrirem o arquivo de ajuda (.html), posicionavam o cursor em um ponto diferente do solicitado pelo usuário. Estes e outros *bugs*, constatados ao longo da aplicação em campo, foram corrigidos na versão atual do DALF-MCC;

- Foi solicitado que, na tela de parametrização *Fuzzy*, fosse possível anular 2 termos. A justificativa foi de que na ponderação dos quesitos se trabalharia com 3 termos (Baixa, Boa e Alta) referentes à aderência da empresa/sistema aos requisitos da MCC. Isso reduziria as dúvidas, durante a ponderação, agilizando o processo e contribuindo para a convergência dos resultados, quando o número de participantes é grande. Tal consideração foi julgada procedente pelo autor e sua implementação está sendo proposta como trabalho futuro. A proposta é que o usuário possa escolher o número e o nome dos termos primários que deseja utilizar (de 2 a 5). O campo (*combo box*) com a listagem dos termos primários, na ponderação dos quesitos, seria automaticamente atualizado de acordo com as escolhas do usuário. Os campos utilizados para ponderação dos quesitos (Nota e Conceito) poderiam, também, gravar os valores digitados no momento da perda do foco do referido campo. Na versão atual, estes valores são gravados somente após a avaliação do critério. Caso o usuário mude de tela, sem avaliar o critério, os valores são perdidos.

Com relação, especificamente, às ferramentas complementares OpenFMECA e FMECA-Delphi, estas foram utilizadas em campo no âmbito do projeto MitiSF6, desenvolvido no Núcleo de Desenvolvimento Integrado de Produtos (NeDIP) do Departamento de Engenharia Mecânica (EMC) da UFSC. Este projeto, patrocinado pela ELETROSUL, buscou estudar e sistematizar os processos de manutenção dos disjuntores que utilizam o Hexafluoreto de Enxofre (SF<sub>6</sub>), como elemento dielétrico e de extinção do arco elétrico, com o objetivo de estabelecer um modelo de referência para utilização e manuseio do SF<sub>6</sub>. Com a aplicação no MitiSF6 foi possível constatar, no caso do OpenFMECA, sua viabilidade e praticidade aliadas à sua facilidade de utilização devido a sua interface intuitiva, aspectos estes ratificados pelos diversos usuários que participaram do projeto e utilizaram o OpenFMECA. No caso do FMECA-Delphi, foram constatados alguns inconvenientes que dificultam sua operacionalidade frente a um volume de dados muito grande e onde a divergência de opiniões é muito acentuada. Neste caso, foi constatado nos testes de campo que: a grande quantidade de valores fora da faixa central resultou em um volume expressivo de informação na segunda iteração (acredita-se que este fato ocorreu devido ao conhecimento superficial que alguns participantes tinham do sistema avaliado); foi constatado que as informações presentes na interface com o usuário não foram suficientes para elucidar todas as dúvidas, ou os participantes não leram todas as informações (neste caso foi verificada a necessidade de um treinamento prévio dos participantes). Tais fatores, da forma como foi concebido o processamento da informação pelo moderador, tornam o processo lento, de difícil



convergência e muito dependente do tratamento manual dos dados. Esses inconvenientes foram também evidenciados por Campos (2004) e, sua melhoria, constitui objeto das propostas de trabalho futuro desta tese.

### Validação por Especialistas em MCC

Diversos especialistas participaram direta ou indiretamente do processo de desenvolvimento e validação deste trabalho (membros da ABRAMAN, professores da UTFPR e da UFSC e colaboradores das empresas participantes das aplicações em campo). Entretanto, a etapa final do processo de validação do DALF-MCC, em sua versão atual coube, em grande parte, ao professor e especialista em MCC Iony Patriota de Siqueira<sup>1</sup>. O professor Iony, além de contribuir para a consecução desta tese com sua experiência e conhecimento de 30 anos em manutenção foi, também, o principal apoio externo a este trabalho, participando ativamente do processo de aquisição de conhecimento e validação do DALF-MCC. Os especialistas que participaram do processo de validação tiveram a sua disposição o texto da tese (Capítulos 1, 5, 6 e 7, em versões anteriores a atual) e um manual para instalação e execução do DALF-MCC (Apêndice D). As considerações e contribuições dos especialistas foram consolidadas a partir do questionário para validação apresentado no Apêndice C, onde foram avaliados: a interface com o usuário, a coerência e consistência da base de conhecimento do DALF-MCC, a partir dos relatórios resultantes do processo de inferência, bem como a completude dos questionamentos formulados ao usuário frente às exigências de um programa de MCC. A Tabela 8.6 sintetiza os resultados deste procedimento, e os pontos relevantes deste processo são relatados nos próximos parágrafos.

Tabela 8.6 – Resultado do Questionário de Validação (Especialistas em MCC).

Resposta	Questões Respondidas (5 participantes)																	
	Interface (%)						Processo de Inferência (%)							Aspectos Gerais (%)				
	Q1	Q2	Q3	Q4	Q5	Q6	Q1	Q2	Q3	Q4	Q5	Q6	Q7	Q1	Q2	Q3	Q4	Q5
Sim	100	100	80	100	100	100	100	80	80	100	80	100	100	100	80	100	*	100
Não	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	*	0
Parcialmente	0	0	20	0	0	0	0	20	20	0	20	0	0	0	20	0	*	0

\* Resposta discursiva facultativa.

<sup>1</sup> **Iony Patriota de Siqueira** (SIQUEIRA, 2005) é mestre em Engenharia de Produção pela Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), onde defendeu sua Dissertação sobre Manutenção Centrada na Confiabilidade. É pós-graduado em Informática pela Universidade Católica de Pernambuco, com especialização em Sistemas de Informações, e bacharelado em Engenharia Elétrica pela UFPE, com curso de extensão em Manutenção Centrada na Confiabilidade, pelo EPRI (*Electric Power Research Institute*) Solutions. É consultor, pesquisador e professor da UNIBRA TEC e UFPE / GPSID (Grupo de Pesquisa em Sistemas de Informação e Decisão do CNPq), onde ministra as cadeiras de Integração de Dados e Processos, Modelagem de Negócios e Engenharia de Requisitos, além de Manutenção Centrada na Confiabilidade, no Curso Superior em Tecnologia de Redes e Ambientes Operacionais, e no Curso de Pós-Graduação em Engenharia de Software e Gestão da Manutenção. No ano de 2003, recebeu o prêmio máximo (*hors concours*) do Seminário Internacional de *Mantenimiento Y Servicios Asociados En Sistemas Eléctricos* – SIMSE 2003, e o primeiro lugar (menção honrosa) do Grupo de Operações do Seminário Nacional de Geração e Transmissão de Energia, promovido pelo *International Council on Electric Power Systems* – CIGRÉ. (<http://buscatextual.cnpq.br/buscatextual/visualizacv.jsp?id=K4796921U8>)

Alguns especialistas divergiram quanto a necessidade da Etapa 0 do procedimento de referência, alegando que a MCC seria adequada para todas as empresas/sistemas em quaisquer circunstâncias. Neste ponto, o autor concorda que o nível de abrangência e profundidade das análises promovidas pela MCC pode se adaptar ao contexto da empresa/sistema, discordando, entretanto, que a equipe de implementação da MCC não deva se preocupar com as restrições técnicas e gerenciais impostas pelas especificidades da aplicação. Muitos programas de MCC, e casos de aplicações isoladas de suas ferramentas, citados na literatura (ANTONIETTI, 2002; BACKLUND, 2003; BLANCO, 2007; JOHNSTON, 2002; RAJOTTE e JOLICOEUR, 2001; RIBEIRO e ALVES, 2005; VIZZONI *et al*, 1999; WALTRICH e TONDELLO, 2007), fracassaram ou experimentaram dificuldades em sua implementação e execução por desconsiderarem a necessidade da aderência da empresa/sistema aos requisitos da MCC. Em tais circunstâncias, mudanças na estratégia inicial de implantação ou da própria metodologia MCC foram necessárias para minimizar os problemas experimentados, ratificando a necessidade de existência da Etapa 0, tanto no procedimento de referência quanto no DALF-MCC.

Algumas considerações, relativas à parametrização *Fuzzy*, indicaram que a mesma deve ser personalizada para o domínio da aplicação. Tal consideração, de certo modo, já tinha sido contemplada ao longo deste trabalho quando, no Capítulo 5, foi ressaltado que o processo de parametrização deve ser conduzido por um especialista em MCC e no domínio da aplicação. É este conhecimento/experiência que deve servir de base para a definição das funções de pertinência, as quais definirão os termos primários que compõem o conjunto *Fuzzy* de referência. É proposta desta tese, para trabalhos futuros, incorporar um método que utilize a técnica Delphi, tal qual o FMECA-Delphi, para elicitar os parâmetros do conjunto *Fuzzy* de referência. Dessa maneira, seria possível parametrizar os termos primários, de forma que os mesmos convergissem para um valor de consenso entre os especialistas, uma vez que tal parametrização é muito dependente das especificidades do domínio da aplicação. Outra hipótese seria incorporar ao DALF-MCC um banco de dados com valores padronizados e de consenso, para os termos primário, válidos para domínios de aplicação específicos.

Foi consenso entre os especialistas, como virtude do DALF-MCC, o embasamento normativo tanto para a fase de análise de pré-requisitos como para a auditoria. Esta característica foi planejada durante a fase de formulação do procedimento de referência, o qual, além da bibliografia clássica da MCC, baseou-se também nas principais normas e guias (NOWLAN e HEAP, 1978; SMITH, 1993; SMITH e HINCHCLIFFE, 2004; MOUBRAY, 2001; NASA, 2000; IEC 60300-3-11, 1999; SAE JA 1011, 1999; SAE JA 1012, 2002; ABS, 2004). Vale ressaltar que o DALF-MCC não segue uma única norma, guia ou bibliografia, sendo aderente a todas aquelas referenciadas como base para concepção do procedimento de referência (Capítulo 5).

Outra característica positiva do DALF-MCC, relatada pelos especialistas, foi a inclusão das questões relativas à auditoria da MCC. A falta de auditoria no procedimento de implantação da MCC é um dos fatores que resultam no seu insucesso e, mesmo apesar disso, é um aspecto

pouco tratado na literatura e nos artigos científicos. Conforme relatado anteriormente, a idéia de tratar a auditoria da MCC surgiu durante a validação parcial, ocorrida durante o 22º Congresso Brasileiro de Manutenção promovido pela ABRAMAN. A decisão de incluir a auditoria no processo de inferência do DALF-MCC revelou-se um fator importante para sua credibilidade e completude, ratificado na validação pelos especialistas.

A decisão de se utilizar a lógica *Fuzzy* como mecanismo para tratamento das incertezas do processo decisório foi referendada de forma unânime pelos especialistas. Segundo os participantes do processo de validação, a falta de dados estatísticos e o alto grau de incerteza na ponderação dos quesitos inviabilizariam a utilização de métodos probabilísticos clássicos ou frequentistas. Nesta mesma linha de raciocínio, foi amparado o NPR-Fuzzy, uma das ferramentas complementares incorporadas ao DALF-MCC e, neste caso, foi apoiada a sugestão do autor para incorporá-lo como complemento (*plugin*) do OpenFMECA em trabalhos futuros.

Nos ciclos iniciais de validação do DALF-MCC, com os especialistas, foi vislumbrado os benefícios que um SBC-*Fuzzy* poderia trazer para a definição da significância da função, no correspondente diagrama de decisão da MCC. Esta sugestão resultou no desenvolvimento do DALF-Diagramas, uma das ferramentas complementares do DALF-MCC que, além de auxiliar a seleção e a caracterização das funções significantes, também pode ser utilizado para auxiliar a seleção das tarefas de manutenção aplicáveis e efetivas. Esta ferramenta se mostrou muito útil para a execução das etapas 4 e 5 do procedimento de referência, estruturando o processo de decisão e tratando as incertezas inerentes, características ratificadas pelos especialistas.

#### 8.4 CONSIDERAÇÕES E SÍNTESE DO CAPÍTULO

O processo de verificação e validação do DALF-MCC, abordado neste capítulo, foi de substancial contribuição para o aprimoramento do protótipo e ratificação de suas potencialidades. Novas perspectivas de estudo foram vislumbradas e as intervenções implementadas aumentaram a robustez, as funcionalidades e a credibilidade do DALF-MCC e suas ferramentas complementares.

Como resultado do processo de validação e testes de campo foi possível inferir que:

- O DALF-MCC contribui positivamente para a tomada de decisão durante os procedimentos de implementação e auditoria da MCC. Tal constatação foi possível a partir de sua utilização em campo e da opinião dos especialistas;
- Foi consenso entre os especialistas de que o DALF-MCC e suas ferramentas complementares representam algo novo e que pode de fato auxiliar o processo de implantação da MCC;
- A utilização da lógica *Fuzzy* para tratamento das incertezas e incompletudes do conhecimento, inerente a implementação das etapas da MCC, se mostrou eficiente. Sendo

a ponderação, com base em dados qualitativos, a partir da utilização de variáveis lingüísticas, adequada aos objetivos deste trabalho. Além disso, salienta-se a possibilidade da ponderação com valores *crisp*, o que aumenta a funcionalidade da interface com o usuário;

- A abordagem utilizada, fundamentada em normas e no conhecimento heurístico dos especialistas envolvidos, associada aos cuidados e a atenção dispensada ao procedimento de verificação e validação, contribuíram para a completude e robustez da base de conhecimento e credibilidade dos resultados alcançados;
- O DALF-MCC e suas ferramentas complementares são de fácil utilização. Contribuíram para tanto, a interface intuitiva e a abrangência do arquivo de ajuda.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

## 9.1 INTRODUÇÃO

Os aspectos norteadores deste trabalho originaram-se de constatações vislumbradas em artigos técnico-científicos, bibliografias especializadas e em observações de campo. Tais constatações ensejaram, e podem ser resumidas, através dos seguintes questionamentos:

- Porque alguns programas de Manutenção Centrada na Confiabilidade (MCC) fracassam ou experimentam dificuldades na busca dos resultados inicialmente almejados (ANTONIETTI, 2002; ALKAIM, 2003; BACKLUND, 2003; JOHNSTON, 2002; VIZZONI *et al*, 1999)?
- Tais fracassos não estariam relacionados a implantações despreziosas, sem o devido preparo, habilidade e competência da equipe de implantação associados a um insuficiente rigor metodológico e normativo?
- As questões mercadológicas que relacionam a MCC de maneira exagerada e sem critérios como solução para a gestão de ativos, não estariam influenciando tal resultado?
- Como seria possível antever a aderência de uma empresa/sistema às necessidades de um programa de MCC para, assim, evitar os dissabores de uma adesão despreparada a tal metodologia de gestão da manutenção?

A resposta a tais questionamentos e anseios culminou com a proposição desta tese. Já as pesquisas referenciais, as proposições e os desenvolvimentos relatados ao longo deste trabalho, tornaram possível a interposição dos recursos metodológicos necessários para suplantar as preocupações supracitadas. As considerações e recomendações advindas deste processo são mostradas nos próximos itens.

## 9.2 SOBRE OS OBJETIVOS E QUESTÕES DE PESQUISA PROPOSTOS

Os resultados obtidos, dentro das especificidades definidas no escopo deste trabalho, abordados no Capítulo 1, permitiram aferir o sucesso no cumprimento do seu objetivo geral. O Sistema Baseado em Conhecimento *Fuzzy* (SBC-*Fuzzy*) proposto, desenvolvido e validado, conforme os capítulos precedentes, ratifica esta assertiva. Além disso, ao longo desse processo, obtiveram êxito os seguintes aspectos, relacionados aos objetivos específicos inerentes ao contexto deste trabalho:

- A investigação das principais metodologias para implantação da MCC (NOWLAN e HEAP, 1978; SMITH, 1993; SMITH e HINCHCLIFFE, 2004; MOUBRAY, 2001;

NASA, 2000; IEC 60300-3-11, 1999; SAE JA 1011, 1999; SAE JA 1012, 2002; ABS, 2004), permitiu concluir sobre seus aspectos divergentes, fato este que resultou na concepção de um procedimento de referência para implantação da MCC. Com isso, os conceitos, estratégias, ferramentas e necessidades da MCC foram evidenciados e estruturados seguindo uma abordagem adaptada da IDEF0 (*Integration DEFinition – Definição Integrada*), conforme mostrado no Capítulo 5;

- O SBC-*Fuzzy* desenvolvido (Diagnóstico Auxiliado por Lógica *Fuzzy* para a Manutenção Centrada na Confiabilidade – DALF-MCC) mostrou-se uma estratégia eficiente e inovadora na opinião dos especialistas que o validaram, para identificação dos atributos da empresa/sistema relacionados com as necessidades e pré-requisitos da MCC;
- Conforme evidenciado nos procedimentos de validação (Capítulo 8), a lógica *Fuzzy* se mostrou adequada para equacionamento das incertezas por imprecisão, inerentes a análise qualitativa desenvolvida para confrontar os atributos da empresa/sistema com as necessidades da MCC;
- Os critérios e seus respectivos quesitos, planejados como mecanismos de explicitação do conhecimento tácito, tiveram sua completude e adequação normativa ratificados pelos especialistas (Capítulo 8). Isso se reverteu em credibilidade para o processo de inferência do DALF-MCC, na avaliação dos pré-requisitos e auditoria da MCC;
- O processo de inferência *Fuzzy*, que contemplou as variáveis heurísticas de análise, resultou em diagnósticos e conclusões satisfatórios para apoiar a tomada de decisão durante a implementação das etapas da MCC e sua auditoria;
- Os indicadores de validação do DALF-MCC, relacionados à interface com o usuário, funcionalidades requeridas e exatidão da base de conhecimento (estruturados no questionário do Apêndice C), bem como, a metodologia a ele incorporada, foram aceitos pelos especialistas que participaram do processo de validação e dos testes de campo;
- A aplicação em campo do DALF-MCC, mostrada no Capítulo 8, foi importante para ratificar os resultados do processo de validação com os especialistas e descobrir *bugs* na interface com o usuário;
- Os softwares complementares, tratadas no Capítulo 7, apesar de não fazerem parte da proposta inicial deste trabalho, foram consideradas pelos especialistas como ferramentas aplicáveis e efetivas para auxiliar a implementação das etapas da MCC.

Do contexto e dos resultados supracitados emerge a resposta para a questão principal, norteadora deste trabalho, elaborada no Capítulo 1, tal resposta é: **O DALF-MCC, com sua base de conhecimento, seus mecanismos para tratamento de incertezas fundamentados na lógica *Fuzzy* e suas ferramentas complementares é um instrumento adequado para conduzir e orientar a implantação e a auditoria de um programa de MCC, tratando as incertezas por**

**imprecisão ou de natureza léxica do processo decisório.** Os procedimentos de verificação, e validação explicitados no Capítulo 7, ratificam tal asserção.

### 9.3 SOBRE AS CONTRIBUIÇÕES TÉCNICO-CIENTÍFICAS DA PESQUISA

A parcela de contribuição científica formal desta tese está registrada, conforme apresentado no Apêndice E, sob a forma de artigos apresentados em eventos nacionais, internacionais e revistas, além de um trabalho de conclusão de curso orientado pelo autor. Porém sua maior contribuição científica reside no fato de esta ser uma pesquisa aplicada, concebida dentro dos rigores de uma pesquisa científico-tecnológica, objetivando a solução de um problema e uma peculiaridade até então não abordados no referencial bibliográfico pesquisado.

O problema tratado foi a implantação da MCC, de forma consistente com os objetivos da empresa e aderente às suas limitações e especificidades. A sua peculiaridade caracteriza-se pela abordagem, não da implementação das etapas, mas sim pela avaliação de seus pré-requisitos e sua auditoria. A solução proposta é capaz, entretanto, de em etapas expressivas do procedimento de implantação (Etapas 3, 4 e 5) auxiliar a solução de problemas específicos evidenciados ao longo do processo de aquisição do conhecimento do DALF-MCC, relatados no Capítulo 7. Cabe salientar que não existia, nos objetivos específicos iniciais, a intenção de se desenvolver ferramentas para apoio a implementação das etapas da MCC. Tal mescla de oportunidade e desafio foi vislumbrada ao longo do processo de desenvolvimento da tese, atendendo a uma reivindicação dos especialistas, os quais, de modo cooperativo, contribuíram com seu conhecimento para a implementação de tais ferramentas.

Ficou evidenciado, ao longo deste trabalho e, também, durante o processo de sua validação, que a proposta desta tese não se restringe a um domínio e/ou aplicação específica de MCC, mas sim, trata-se de uma metodologia genérica para auxiliar a implantação da MCC em quaisquer aplicações. Tal constatação ficou evidenciada não somente pelas considerações dos especialistas, mas também pelo desempenho do DALF-MCC nas aplicações em campo, conforme mostrado no Capítulo 8.

As contribuições almejadas de maneira prospectiva no Capítulo 1 foram ratificadas e substanciadas no transcorrer dos desenvolvimentos que resultaram na consecução deste trabalho. Nesse sentido, criou-se um mecanismo para diagnosticar e resguardar os programas de MCC dos fatores responsáveis por seus insucessos e suas dificuldades executivas, focado: na ratificação da aderência das características da empresa/sistema aos requisitos de um programa de MCC; na interposição de barreiras para resguardar o programa de MCC dos efeitos dos fatores técnicos e gerenciais que o afetam negativamente; no diagnóstico e orientação do processo decisório com o auxílio de um SBC-*Fuzzy*, de forma a minimizar os riscos de insucesso; na proposição de indicadores que possibilitem realimentar o processo de implantação e promover as correções necessárias.

O tratamento de dados qualitativos e com forte viés heurístico, aludidos no Capítulo 1, foi contemplado pelo DALF-MCC. Além disso, foi possível viabilizar um repositório do conhecimento heurístico relativo à implantação da MCC. A interação desse conhecimento, manifestado nas inferências do DALF-MCC, resulta em um diagnóstico representativo das habilidades e competências da empresa para tratar as peculiaridades do processo decisório, frente aos fatores que são críticos para o sucesso de um programa de MCC.

#### 9.4 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Utilizando-se de um processo de inferência *Fuzzy*, tal qual o desenvolvido neste trabalho, é possível criar ferramentas para implementação de todas as etapas do procedimento de referência, assim como foi proposto para as etapas 3, 4 e 5. Tais ferramentas iriam auxiliar a equipe de implementação, tanto nas questões documentais do processo quanto nas questões relativas ao apoio à tomada de decisão, frente a incertezas. As seguintes funcionalidades poderiam ser incorporadas:

- Para a Etapa 2 (Seleção do Sistema e Coleta de Informações), um *SBC-Fuzzy*, a partir da ponderação de variáveis qualitativas, poderia definir qual o equipamento/sistema onde a implantação da MCC seria mais viável para a empresa respeitando suas habilidades e competências. Tal sistema poderia, inclusive, proporcionar uma análise econômico-financeira e de dimensionamento de recursos, objetivando maximizar os ganhos para a empresa;
- Para Etapa 6 (Definição dos Intervalos Iniciais e Agrupamento das Tarefas de Manutenção), um *SBC-Fuzzy* ou um *SBC* híbrido (*Fuzzy* / Probabilístico) poderia inferir sobre o intervalo ótimo, para realização das tarefas de manutenção e, também, sobre seu agrupamento ideal. Tal processo de inferência se daria a partir da ponderação com base em variáveis lingüísticas, utilizando-se da experiência de operadores e mantenedores, ou dados estatísticos de históricos de falha e/ou bancos de dados genéricos;
- Para a Etapa 8 (Acompanhamento e Realimentação), poderiam ser disponibilizados mecanismos para sistematizar a re-análise de cada modo de falha não incluído no programa inicial da MCC, como rotina da manutenção.

Propõem-se também, para trabalhos futuros, os seguintes incrementos de funcionalidade ao DALF-MCC e suas ferramentas complementares:

- Incorporação de uma ferramenta para geração automática de um plano de implantação baseado nas habilidades e competência da empresa, elicítadas a partir da ponderação dos quesitos, para os casos onde a MCC se mostrou inviável para implantação imediata. Tal ferramenta também poderia ser aplicada para os casos em que a MCC se mostrou viável, porém neste caso, o objetivo seria compor um plano de implantação da MCC, constando no mínimo de: estratégia para alocação de recursos, planejamento orçamentário, objetivos, metas,



cronograma, agregando questões objetivas dirigidas ao decisor da empresa e/ou equipe de implantação;

- Incluir as seguintes funcionalidades/melhorias ao processo de ponderação dos quesitos: na tela de Parametrização *Fuzzy*, permitir ao usuário a possibilidade de alterar a quantidade e o nome dos termos primários que deseja utilizar, o que poderia reduzir as dúvidas, durante a ponderação, agilizando o processo e contribuindo para a convergência dos resultados quando o número de participantes é grande. Neste caso, o campo (*combo box*) com a listagem dos termos primários na ponderação dos quesitos, deve ser automaticamente atualizado de acordo com as escolhas do usuário; os campos utilizados para ponderação dos quesitos (Nota e Conceito) poderiam, também, gravar os valores digitados no momento da perda do foco (função *onKillFocus* do *Visual Basic*). Na versão atual estes valores são gravados somente após a avaliação do critério, conseqüentemente, caso o usuário mude de tela, sem avaliar o critério, os valores são perdidos; permitir ao usuário a possibilidade de retirar do processo de inferência, a análise de quesitos que não se aplicam a empresa e/ou sistema; incluir mecanismos que possibilitem a atribuição de pesos diferentes para cada quesito a ser ponderado;
- O FMECA-Delphi e o NPR-Fuzzy poderiam ser incorporados como complementos (*plugin*) ao OpenFMECA, para auxiliar a implementação da Etapa 3 da MCC. Além disso, propõe-se o acréscimo das seguintes funcionalidades, as quais foram vislumbradas em decorrência da aplicação em campo do OpenFMECA: outros formatos de relatórios, tais como: relatórios das tarefas por tempo, apresentando os planos de ação classificados cronologicamente, e relatório das tarefas por responsável, classificando as ações por mantenedor; nos textos explicativos permitir a inclusão de figuras ilustrativas para as causas, modos de falha e efeitos; definir políticas de restrição de acesso; elaboração da FMECA utilizando análise *bow-tie*; estudar a possibilidade de se desenvolver toda a análise da FMECA utilizando-se a técnica Delphi como no FMECA-Delphi; e, portar o código e a interface para a língua inglesa, a fim de aumentar o número de usuários potenciais e colaboradores da comunidade de software livre;
- No caso do FMECA-Delphi, estudar a possibilidade de automatizar o processamento da informação pelo moderador. Tal melhoria iria corrigir os inconvenientes, constatados em campo, que dificultam sua operacionalidade frente a um volume de dados muito grande e onde a divergência de opiniões é muito acentuada;
- Incorporar ao DALF-MCC um método que utilize a técnica Delphi, tal qual o FMECA-Delphi, para eliciar os parâmetros do conjunto *Fuzzy* de referência. Outra hipótese seria incorporar ao DALF-MCC um banco de dados com valores padronizados e de consenso, para os termos primários, válidos para domínios de aplicação específicos. Assim, seria possível parametrizar os termos primários de forma que os mesmos convergissem para

um valor de consenso entre os especialistas, uma vez que, tal parametrização é muito dependente das especificidades do domínio da aplicação.

Quanto aos aspectos conceituais vislumbram-se as seguintes possibilidades de continuidade dos estudos promovidos neste trabalho:

- Aplicação de técnicas híbridas *Fuzzy*-Bayesianas para tratamento das incertezas em domínios onde coexistam aleatoriedade e imprecisão. Este é o caso típico onde os dados estatísticos relacionados à análise de falhas são inconsistentes, no todo ou para parte da aplicação. Essa técnica poderia ser útil, particularmente, para a implementação das etapas 5 e 6 da MCC. A mesma razão poderia viabilizar a utilização da técnica de Raciocínio Baseado em Casos;
- Aplicar as soluções metodológicas e de tratamento de incertezas, aplicados neste trabalho, para a implementação de outras metodologias de gestão da manutenção, tais como, as citadas por Fuentes, (2006). Desta forma poder-se-ia viabilizar, em uma única estrutura computacional, a proposta de Fuentes (2006) para identificar a melhor metodologia de gestão da manutenção e, após determinada tal metodologia, ferramentas mais específicas, como o DALF-MCC, poderiam ratificá-la, implementá-la e auditá-la.

Desta forma, acredita-se que, os conceitos abordados neste trabalho podem contribuir com soluções científicas relevantes para o estudo da engenharia do conhecimento, aplicada a tomada de decisão durante a implantação e auditoria da MCC, bem como às atividades inerentes a este processo. Desta forma cumpre-se a finalidade da pesquisa científica aplicada, almejada no Capítulo 1.

## REFERÊNCIAS

- ABEL, Mara, **Apostila do Curso de Sistemas Especialistas**. Disponível em: <http://marabel.inf.ufrgs.br/Publico/Disciplinas/SistEspecialistasN/Inf1038-2003.pdf> acessado em 28/02/2005.
- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR-5462 Confiabilidade e Manutenibilidade**. ABNT/CB-03 – Eletricidade, Publicada em 30/11/1994.
- ABRAMAN – Associação Brasileira de Manutenção. **Documento Nacional de 2007**. 22º Congresso Brasileiro de Manutenção, Florianópolis – SC, Setembro de 2007.
- ABS – American Bureau of Shipping. **Guidance Notes on Reliability Centered Maintenance**. USA, 2004.
- ALIBERAS, J., PINTÓ, R., GÓMEZ, R., **Tres Enfoques de la Investigación sobre Concepciones Alternativas**. Editora Enseñanza de las Ciencias, 1996.
- ALKAIM, João Luiz, **Metodologia para Incorporar Conhecimento Intensivo às Tarefas de Manutenção Centrada em Confiabilidade Aplicada em Ativos de Sistemas Elétricos**. Tese de Doutorado apresentada ao programa de Engenharia de Produção da UFSC, Florianópolis, 2003.
- ANTONIETTI, Leandro Escagion, **Análise Específica das Dificuldades de Implementação do FMEA em uma Indústria Mecânica de Autopeças**. Universidade Federal de Itajubá - Instituto de Engenharia Mecânica - Departamento de Produção, 2002.
- BACKLUND, Fredrik, **Managing the Introduction of Reability Centred Maintenance: RCM as a Method of Working within Hydropower Organizations**. Tese de Doutorado apresentada ao Department of Business Administration and Social Sciences da Luleå University of Technology, Division of Quality & Environmental Management, Suécia, 2003.
- BÁRDOSSY, A., DUCKSTEIN, L., **Fuzzy Rule-Based Modeling with Applications to Geophysical, Biological and Engineering Systems**. CRC Press, 1995.
- BARREIRO, S. R., **Aplicação da Manutenção Centrada em Confiabilidade (MCC) para Formulação do Plano de Manutenção do Sistema de Compressão de Gás Residual da Unidade PSA**. Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica da UFBA, Salvador, 1999.
- BENJAMINS, V. R., FENSEL, D., **Problem Solving Methods**. International Journal of Human-Computer Studies, 1998.
- BERTLING, Lina, ALLAN, Ron, ERIKSSON, Roland, **A Reliability Centred Asset Maintenance Method for Assessing the Impact of Maintenance in Power Distribution Systems**. IEEE Transactions, 2003.
- BEYON, Davis P., **Expert Database Systems - A Gentle Introduction**. London, Editora McGraw-Hill, 1991.
- BITTENCOURT, Guilherme, **Inteligência Artificial: Ferramentas e Teorias**. Editora da UFSC, Florianópolis-SC, 2ª Edição, 2001.
- BLANCO, Santiago Sotuyo. **Los 10 Mandamientos del RCM: Claves para el Éxito de un Proyecto de Implementación RCM**. 22º Congresso Brasileiro de Manutenção, ABRAMAN, 2007.

BLOOM, Neil B., **Reliability Centered Maintenance: Implementation Made Simple**. Editora McGraw-Hill Inc., 2006.

BOEHM, B., BROWN, J. R., KASPAR, H., LIPOW, M., MACLEOD, G. J., MERRIT, M. J., **Characteristics of Software Quality**. Editora North-Holland Publishing Company, New York, 1978.

BOFF, L. H., **Gestão do Conhecimento - Notas de Aula**. Programa de Pós-Graduação em Computação, Porto Alegre, 2001.

BOOSE, J. H., BRADSHAW, J. M., **Expertise Transfer and Complex Problems: Using AQUINAS as a Knowledge Acquisition Workbench for Knowledge-Based Systems**. em Knowledge Acquisition Tool for Expert Systems, San Diego, California, Editora Academic Press Limited, 1988.

BOWLES, John B., **An Assessment of RPN Prioritization in a Failure Modes Effects and Criticality Analysis**. University of South Carolina, Columbia, 2003.

BRAGA, Washington Filho, **Apostila do Curso de Termodinâmica - DEM PUC/RJ**. Disponível em: <http://leblon.mec.puc-rio.br/~wbraga/fentran/termo/termo1.htm> acessado em 21/06/2005.

CAMPOS, Pio Filho, **Método para Apoio à Decisão na Verificação da Sustentabilidade de uma Unidade de Conservação, Usando Lógica Fuzzy**. Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal de Santa Catarina, como requisito parcial para obtenção do título de Doutor em Engenharia de Produção, Florianópolis, 2004.

CARMO, Annibal José Roris Rodriguez Scavarda, **Metodologia Evocativa para Mapeamento Causal e sua Perspectiva na Gerência de Operações com Aplicações via Internet em Gestão da Cadeia de Suprimento e Administração de Serviços**. Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Industrial da Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, como requisito parcial para obtenção do título de Doutor em Engenharia Industrial, Rio de Janeiro, 2004.

CARVALHO, Lucimar Fossatti de, **Análise dos Métodos de Aquisição do Conhecimento e Desenvolvimento de um Sistema Baseado na Metodologia KADS**. Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica e Informática Industrial do CEFET-PR, Curitiba, 1995.

CASTILLO E. V., **Aplicação de Ontologia e Sistema Especialista para Diagnóstico de Falhas em Transformadores de Potência**. Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica da UFSC, Florianópolis, 2003.

CHANDRASEKARAN, B., **Generic Tasks in Knowledge-based Reasoning: High Level Building Blocks**, IEEE Expert, 1988.

CHANDRASEKARAN, B., JOSEPHSON, J. R., BENJAMINS, V. R., **What are Ontologies, and Why do We Need Them?** Intelligent Systems, IEEE, Vol. 14, 1999.

CISL – Comitê de Implementação do Software Livre no Governo Federal. Disponível em: <http://www.softwarelivre.gov.br> acessado em 31/05/2008.

CLANCEY, W. J. **The Knowledge Level Reinterpreted: Modeling How Systems Interact**. Machine Learning Journal, Boston, 1989.

CLEAL, D. M.; HEATON, N.O., **Knowledge - Based System**. England, Editora Ellis Horwood, 1988.

- COX, E., **The Fuzzy Systems Handbook: A Practitioner's Guide to Building, Using, and Maintaining Fuzzy Systems**. A. P Professional, 1994.
- DALKEY, Norman C., **Delphi**. Second Symposium on Long-Rang Forecasting and Planing. Almagordo, New Mexico, 1967.
- DALKEY, Norman C., **The Delphi Method: An Experimental Study of Group Opinion**. Santa Monica: The Rand Corporation, 1968.
- DALKEY, N.; BROWN, B.; COCHRAN, S., **The Delphi Method III: Use of Self Ratings to Improve Group Estimates**. Santa Monica: The Rand Corporation, 1969.
- DAMSKI, J. C. B., LIMA, J. G. M., GIORNO, F. G., VALENTE, A. S. M., **Sistemas Especialistas no Brasil: Um Enfoque Pragmático**. Brasília, SUCESU, 1993.
- DNV – Det Norske Veritas, **Metodologia para Análise Preliminar de Perigo**. Rio de Janeiro, 2003.
- DAVENPORT, T.; PRUSAK, L., **Working Knowledge: How Organizations Manage What They Know**. Boston, Editora HBS Press, 1998.
- DURKIN, John, **Expert Systems: Design and Development**. New Jersey, Editora Prentice Hall, 1994.
- ESHELMAN, L.; BOOSE, J.; GAINES, B., **MOLE: A Tenacious Knowledge Acquisition Tool**. Knowledge Acquisition Tool for Expert Systems, San Diego, California, Editora Academic Press Limited, 1988.
- FEIGENBAUM, E. A., **Themes and Case Studies of Knowledge Engineering**. Expert Systems in the Micro Eletronic Age. Edinburg, Editora Edinburg University Press, 1979.
- FERNANDES, Anita Maria da Rocha, BASTOS, Rogerio Cid, **Análise da Shell FuzzyCLIPS como Ferramenta para Desenvolvimento de Sistemas Especialistas Difusos**. Revista Alcance, Itajaí, V.1, p.16 - 24, 2001.
- FERNANDES, Anita Maria da Rocha, **Inteligência Artificial - Noções Gerais**. Editora Visual Books, Florianópolis, 2003.
- FERNANDES, Anita Maria da Rocha, **Inteligência Artificial Aplicada à Saúde**. Editora Visual Books, Florianópolis, 2004.
- FUENTES, Fernando Félix Espinosa, **Metodologia para Inovação da Gestão da Manutenção Industrial**. Tese submetida à Universidade Federal de Santa Catarina como requisito parcial para a obtenção do grau de doutor em Engenharia Mecânica, Florianópolis, Outubro 2006.
- GARCIA, Pauli Adriano de Almada, **Uma Abordagem Fuzzy com Envelopamento dos Dados da Análise dos Modos e Efeitos de Falha**. Tese de Doutorado apresentada a UFRJ - Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2006.
- GASCHNIG, J., HAYES-ROTH F., WATERMAN, D. A., LENAT, D. B., **Evaluation of Expert Systems: Issues and Case Studies**. Building Expert Systems, Editora Addison Wesley, Massachusetts, 1983.
- GENARO, Sérgio, **Sistemas Especialistas: O Conhecimento Artificial**. Editora LTC-Livros Técnicos e Científicos, Rio de Janeiro e São Paulo, 1986.

GIARRATANO, Joseph, RILEY, Gary, **Expert Systems - Principles and Programming**. Boston, Editora USA International Thomson Publishing, 3ª Edição, 1998.

GIL, A. C., **Como Elaborar Projetos de Pesquisa**. Editora Atlas, 3ªed., São Paulo, 1996.

GOBER, Cristiano José; SILVA, Luís Carlos Santos da; SANTOS, Rogério José dos. **Aplicação de Ferramentas Computacionais para Definição de uma Metodologia de Gestão da Manutenção**. 2008, 132f. Trabalho de Conclusão de Curso – Curso Superior de Tecnologia em Gestão Comercial Elétrica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2008.

GONZALEZ, Avelino J.; DANKEL, Douglas D., **The Engineering of Knowledge Based Systems - Theory and Practice**. New Jersey, Editora Prentice Hall, 1993.

GRUBER, T. R., **A Translation Approach to Portable Ontology Specifications**. Em Knowledge Acquisition, 1993.

GUIDA, G. e SPAMPINATO, L., **Assuring Adequacy of Expert Systems in Critical Application Domains: A Constructive Approach**. em The Reliability of Expert Systems, de HOLLNAGEL, E., Editora Ellis Horwood Limited, England, 1989.

GUPTA, Uma G.; CLARKE, Robert E., **Theory and Applications of the Delphi Technique: A Bibliography**. (1975-1994). Technological Forecasting and Social Change. 53, 1996. Pg. 185-211.

HARMON, P.; MAUS, R.; MORRISSEY, W., **Expert Systems Tools & Applications**. New York, Editora John Wiley & Sons, 1988.

HART, Anna, **Knowledge Acquisition for Expert Systems**. 2ª Edição, Editora McGraw-Hill, 1992.

HAUGE, B. S.; JOHNSTON, D. C., **Reliability Centered Maintenance and Risk Assessment**. Annual Reliability and Maintainability Symposium, IEEE Proceedings, 2001.

HEIJST, G., SHREIBER, A. T., WIELINGA, B. J., **Using Explicit Ontologies in KBS Development**. International Journal of Human-Computer Studies, 1997.

HOLLNAGEL, Erik, **The Reliability of Expert System**. Editora Ellis Horwood Ltd, 1989.

IEC-60300-3-11. **Dependability Management – Part 3-11: Application Guide – Reliability Centred Maintenance**. Primeira Edição, IEC – International Electrotechnical Commission, 1999.

IEC-60706-4 **Guide on Maintainability of Equipment. Part 4 – Section 8: Maintenance and Maintenance Support Planning**. Primeira Edição, IEC – International Electrotechnical Commission, 1992.

JOHNSTON, Donald C., **Measuring RCM Implementation**. Annual Reliability and Maintainability Symposium, IEEE Proceedings, 2002.

KARDEC, Allan; XAVIER, Júlio de Aquino Nascif, **Manutenção: Função Estratégica**. Rio de Janeiro, Editora Qualitymark, 2003.

KELLY, G. A., **Psychology of Personal Constructs**. New York, Editora W. W. Norton, 1955.

LAUDON, Kewneth C.; LAUDON, Jane P., **Gerenciamento de Sistemas de Informação**. Editora LTC - Livros Técnicos e Científicos, 3ª Edição, 2002.

- LEBOWITZ, M., **Experimental with Incremental Concept Information**. UNIMEM, Machine Learning p.103-138, 1988.
- LEE, B., **Using Bayes Belief Networks in Industrial FMEA Modeling and Analysis**. Proceedings of International Symposium on Product Quality and Integrity, Philadelphia, PA, 2001.
- LIEBOWITZ, J., **Useful Approach for Evaluating Expert Systems**. em Expert Systems, 1986.
- LIEBOWITZ, J., WILCOX, L. C., **Knowledge Management and its Integrative Elements**. Boca Raton, Editora CRC Press, 1997.
- LIMA, J. C. de Araujo e, **Manual de Análise de Risco e de Confiabilidade**. Petrobras – Reduc, Rio de Janeiro, 1999.
- LINSTONE, Harold A., TUROFF, Murray, **The Delphi Method: Techniques and Applications**. 2002. Disponível em: <http://www.is.njit.edu/pubs/delphibook>. Acesso em: 05/12/2007.
- LIRA, G. da S. de; FANTINATO M., **Engenharia e Representação do Conhecimento**. Disponível em: <http://www.din.uem.br/~ia/conhecimento/index.htm> acessado em 03/06/2005.
- LUCATELLI, Marcos Vinícius, **Proposta de Aplicação da Manutenção Centrada em Confiabilidade em Equipamentos Médico-Hospitalares**. Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica da UFSC, Florianópolis, 2002.
- MAMDANI, E.H; ASSILIAN, S. **An Experiment in Linguistic Synthesis with a Fuzzy Logic Controller**. IEE Transaction, Man-Machine Studies, v. 7, n. 1, p. 1-13, 1975.
- MARCOT, B., **Testing Your Knowledge Base**. AI Expert, 1987.
- MCCARTHY, J., MINSKY, M. L., ROCHESTER, N., SHANNON, C. E., **A Proposal for the Dartmouth Summer Research Project on Artificial Intelligence**. Ano de publicação 1955, Disponível em: <http://www-formal.stanford.edu/jmc/history/dartmouth/dartmouth.html> acessado em 01/02/2005.
- MCDERMOTT, J., **Preliminary Steps Toward a Taxonomy of Problem-Solving Methods.**, S. Marcus Editor, Automating Knowledge Acquisition for Expert Systems, Kluwer Academic, 1988.
- MELO, Carlos Haddad de, JUNIOR, João Marcus Sampaio Gueiros, MORGADO, Cláudia do Rosário Vaz, **Avaliação de Riscos para Priorização do Plano de Segurança**. Congresso Nacional de Excelência em Gestão da Universidade Federal Fluminense, Niterói, Rio de Janeiro, 2002.
- MICHEL, Bernardo Amarante, **Método de Representação de Processos em Forma de Fluxo – IDEF0**. Documento do Grupo de Modelagem de Informações para Suporte ao Desenvolvimento de Produtos - MISDP do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Caxias do Sul, 2002.
- MIL-STD-1629 A, **Military Standard Procedures for Performing a Failure Mode, Effects and Criticality Analysis**. Department of Defense, USA. 1980.
- MIL-STD-2173(AS), **Military Standard – Reliability Centered Maintenance Requirements of Naval Aircraft, Weapons Systems and Support Equipment**. Department of Defense, USA. 1986.
- MONCHY, François, **A Função da Manutenção: Formação para a Gerência da Manutenção Industrial**. São Paulo, Editora Durban, 1989.

MOTTA, E. **Reusable Components for Knowledge Models**. PhD Thesis, Knowledge Media Institute, The Open University, UK, 1998.

MOUBRAY, J., **Reliability Centered Maintenance**. New York, Editora Industrial Press, Revisão da 2ª Edição, 2001.

MUSEN, M. A.; FAGAN, L. M.; COMBS, D. M.; SHORTLIFFE E. H. **Use of a Domain Model to Drive an Interactive Knowledge-Editing Tool**. International Journal of Man-Machine Studies, 1987.

NAVAIR 00-25-403. **Guidelines for the Naval Aviation Reliability Centered Maintenance Process**. US Navy's Naval Air Systems Command (NAVAIR), 2005.

NASA - National Aeronautics and Space Administration. **Reliability Centered Maintenance Guide For Facilities And Collateral Equipment**. NASA, 2000.

NASSAR, Silvia Modesto, **Tratamento de Incerteza: Sistemas Especialistas Probabilísticos**. Apostila do Programa de Pós-Graduação do Departamento de Informática da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Florianópolis, 2004.

NBR 5462. **Confiabilidade e Mantenabilidade**. Rio de Janeiro, Editado pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), 1994.

NONAKA, I., TAKEUCHI, H., **The Knowledge Creating Company**. Editora Elsevier, 1997.

NOWLAN, F. S., HEAP, H. F., **Reliability Centered Maintenance**. National Technical Information Service, USA, Report N° AD/A066-579, 1978.

ORTIZ, João Carlos Ross, **Gestão do Conhecimento na Gestão da Manutenção: Uma Avaliação Prática**. Monografia apresentada a Universidade Tecnológica Federal do Paraná como requisito parcial para obtenção do grau de Especialista no Programa de Pós-Graduação em Gerencia da Manutenção, Curitiba, 2004.

PALADY, Paul, **FMEA - Análise dos Modos de Falha e Efeitos (Preveno e Prevenindo Problemas Antes que Ocorram)**. Instituto IMAN, 3ª Edição, 2004.

PLUCKNETTE, Douglas J., When and How to Template an RCM Analysis. Disponível em: <http://www.reliabilityweb.com/> acessado em 25/01/2008.

POLYA, George, **How to Solve It**. 2ª Edição, Editora Princeton University Press, 1957.

PRESSMAN, Roger S., **Software Engineering: A Practitioner's Approach**. 6ª Edição, Editora McGraw - Hill, 2004.

PROTÉGÉ-2000. **User's Guide**. Disponível em: <http://protege.stanford.edu/> acessado em 10/03/2005.

PUERTA, R., EDGAR, J. W. TU, S. W., MUSEN, M. A., **A Multiple Method Knowledge Acquisition Shell for the Automatic Generation of Knowledge Acquisition Tools**. 1996.

RABUSKE, Renato Antônio. **Inteligência Artificial**. Editora da UFSC, Florianópolis-SC, 1995.

RAJOTTE, Claude, JOLICOEUR, Alain, **Reliability Centered Maintenance Implementation in Hidro-Québec Transmission System**. Annual Reliability and Maintainability Symposium, IEEE Proceedings, 2001.

RAPOSO, José Luis Oliveira, **Manutenção Centrada em Confiabilidade Aplicada a Sistemas**



**Elétricos: Uma Proposta para Uso de Análise de Risco no Diagrama de Decisão.** Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica da UFBA, Salvador, 2004.

RAUSAND, Marvin, HØYLAND, Arnljot, **System Reliability Theory: Models, Statistical Methods, and Applications.** Editora Wiley-Interscience, 2ª Edição, 2003.

REZENDE, Solange Oliveira, **Sistemas Inteligentes - Fundamentos e Aplicações.** São Paulo, Editora Manole, 2003.

RIBEIRO, R. T.; ALVES, N. F., **Manutenção Centrada em Confiabilidade Aplicada em Instalações de Gás Natural do Gasoduto Bolívia Brasil.** Disponível em: [http://www.gasnet.com.br/artigos/artigos\\_view2.asp?cod=527](http://www.gasnet.com.br/artigos/artigos_view2.asp?cod=527) acessado em 15/01/2005.

RIBEIRO, S., CUNHA, H., **Introdução aos Sistemas Especialistas.** LTC - Livros Técnicos e Científicos, Rio de Janeiro e São Paulo, 1987.

RICH, Elaine, KNIGHT, Kevin. **Inteligência Artificial.** Editora McGraw - Hill, 2ª Edição, 1993.

RUSSELL, Stuart J., NORVIG, Peter, **Artificial Intelligence: A Modern Approach.** Editora Prentice Hall, 2ª Edição, 2004.

SAE - JA1011. **Evaluation Criteria for Reliability Centered Maintenance (RCM) Processes.** Society of Automotive Engineers, 1999.

SAE - JA1012. **A Guide to the Reliability Centered Maintenance (RCM) Standard.** Society of Automotive Engineers, 2002.

SAE - J1739. **Potential Failure Mode and Effects Analysis in Design (Design FMEA), Potential Failure Mode and Effects Analysis in Manufacturing and Assembly Processes (Process FMEA), and Potential Failure Mode and Effects Analysis for Machinery (Machinery FMEA).** Society of Automotive Engineers, 2002.

SANTIAGO Jr., José Renato Sátiro, **Gestão do Conhecimento: A Chave para o Sucesso Empresarial.** Editora Novatec, 2004.

SCHREIBER, A. T. **The KADS Approach to Knowledge Engineering.** Knowledge Acquisition Journal, 1992.

SCHREIBER, G.; AKKERMANS, H.; ANJEWIERDEN, A.; HOOG, R.; SHADBOLT, N.; DE VELDE, W. V.; WIELINGA, B., **Knowledge Engineering and Management: The CommonKADS Methodology.** Editora MIT Press, Cambridge, Massachusetts, 2002.

SEIXAS, Eduardo de Santana, **Confiabilidade, Manutenibilidade e Disponibilidade.** Apostila do Curso de Especialização em Gerência da Manutenção, oferecido pelo Departamento Acadêmico de Eletrotécnica da UTFPR (Universidade Tecnológica Federal do Paraná), Curitiba, 2004.

SHAW, I. S., SIMÕES, M. G., **Controle e Modelagem Fuzzy.** FAPESP. São Paulo, 2002.

SILVA, Jonny Carlos da, **Expert System Prototype for Hydraulic System Design Focusing on Concurrent Engineering Aspects.** Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica da UFSC, Florianópolis, 1998.

SILVA, E. L, MENEZES, E. M., **Metodologia da Pesquisa e Elaboração de Dissertação.** 4ªed. Florianópolis: LED/ PPGEP/UFSC, 2005.

SIQUEIRA, Iony Patriota de., **Manutenção Centrada na Confiabilidade - Manual de Implementação**. Rio de Janeiro, 1ªed., Editora Qualitymark Ltda., 2005.

SIQUEIRA, Iony Patriota de., **Measuring the Impacts of an RCM Program on Power System Performance**. IEEE/Power Engineering General Meeting, San Francisco, 2005a.

SIQUEIRA, Iony Patriota de., **Grupos Multiempresariais de Manutenção Centrada na Confiabilidade: Estudo de Caso no Setor Elétrico**. Trabalho apresentado no 22º Congresso Brasileiro de Manutenção, promovido pela ABRAMAN, 2007.

SMITH, A. M., **Reliability Centered Maintenance**. Boston Editora McGraw Hill, 1993.

SMITH, A. M., HINCHCLIFFE, G. R., **RCM – Gateway to World Class Maintenance**. Editora Elsevier Butterworth-Heinemann, 2004.

SMITH, S., KANDEL, A., **Verification and Validation of Rule Based Expert Systems**. Editora CRC Press, 1993.

SOMMERVILLE, Ian, **Software Engineering**. New York, 7ª Edição, Editora Addison Wesley, 2004.

STAMATIS, D. H., **Failure Mode and Effect Analysis – FMEA from Theory to Execution**. Editora ASQC Quality Press, 1995.

STUDER, R.; BENJAMINS, V. R.; FENSEL, D., **Knowledge Engineering: Principles and Methods**. Data & Knowledge Engineering Journal, Amsterdam, 1998.

SWARTOUT, W.; GIL Y.; VALENTE, A., **Representing Capacities of Problem Solving Methods**. Em Proceedings of 1999 IJCAI Workshop on Ontologies and problem solving methods, 1999.

TEIXEIRA A., **Multicriteria Decision on Maintenance: Spares and Contract Planning**. European Journal of Operational Research 129, 2001.

TERRA, José Cláudio Cyrineu, **Gestão do Conhecimento: O Grande Desafio Empresarial**. Editora Negócio, 4ª Edição, 2001.

TSANG A., **A Strategic Approach to Managing Maintenance Performance**. Journal of Quality in Maintenance Engineering. Vol. 4 No. 2, pp. 87-94. 1998

VERMESAN, A. I.; BENCH C. T., **Techniques for the Verification and Validation of Knowledge-Based Systems: A Survey Based on the Symbol/Knowledge Level Distinction**. Editora John Wiley & Sons, 1995.

VIZZONI, E.; ROSÁRIO, G. J.; OLIVEIRA, J. J. C.; FRANCESCHETT, J. G.; JANEIRO, M. P.; CASTRO, R. T., **Projeto Piloto de Manutenção Centrada em Confiabilidade (MCC) Subestação de Adrianópolis - Setor de 500 kV**. Trabalho apresentado no 14º Congresso Brasileiro de Manutenção, promovido pela ABRAMAN, 1999.

WALTRICH, Sandro; TONDELLO, Cendar, **O Processo de Manutenção Centrada na Confiabilidade (MCC) como Prática Potencial de Gestão do Conhecimento**. 22º Congresso Brasileiro de Manutenção, ABRAMAN, 2007.

WATERMAN, Donald A., **A Guide to Expert Systems**. Editora Addison Wesley, 1986.

WIELINGA, B. J.; VELDE, Van De W.; SCHREIBER, G.; AKKERMANS, H., **The CommonKADS Framework for Knowledge Modelling**. Publicado em: Proceedings of the 7<sup>a</sup> Banff Knowledge Acquisition for Knowledge-Based Systems Workshop, Banff, Canada 1992.

WIREMAN, Terry, **Developing Performance Indicators for Managing Maintenance**. New York, Editora Industrial Press, 2<sup>a</sup> Edição, 2005.

WORLEDGE, D., **A Breakthrough in Reducing RCM Costs**. Nuclear News, 1993, Vol. 36 N° 9, Páginas 41-45.

YEN, J., LANGARI, R. **Fuzzy Logic: Intelligence, Control and Information**. Editora Prentice Hall, New Jersey, 1998.

### Referências de Internet:

Python 2.5.1 – Linguagem de programação (<http://www.python.org/>).

TK 8.4 – Módulo (*built-in*) Python de Interface Gráfica (<http://www.tcl.tk/>).

LXML 1.3.4 – Módulo Python para manipulação de arquivos XML (<http://codespeak.net/lxml/>).

Numpy 1.0.3.1 – Módulo Python para processamento matemático (<http://numpy.scipy.org/>).

Matplotlib 0.90.1 – Módulo Python para plotagem de gráficos (<http://matplotlib.sourceforge.net/>).

PIL 1.1.6 – Módulo para processamento de imagens (<http://www.pythonware.com/products/pil/>).

Py2exe 0.6.6 – Módulo para "construção" de aplicativos Windows (<http://www.py2exe.org/>).

Txt2tags 2.4 – Script Python para geração de documentos HTML (<http://txt2tags.sourceforge.net/>).

FuzzyCLIPS 6.10d – Máquina de inferência *Fuzzy* ([http://www.iit.nrc.ca/IR\\_public/fuzzy/](http://www.iit.nrc.ca/IR_public/fuzzy/)).

SourceForge.net (<http://sourceforge.net/>).

W3C | XML - *EXtensible Markup Language* (<http://www.w3schools.com/xml/default.asp>).



# APÊNDICE A

## **MANUTENÇÃO CENTRADA NA CONFIABILIDADE**

Apresenta aspectos suplementares relacionados ao Capítulo 2



## MANUTENÇÃO CENTRADA NA CONFIABILIDADE

### A.1 GUIA PARA PREENCHIMENTO DA PLANILHA DE FMECA

Este item elucida os principais conceitos inerentes ao preenchimento da planilha de FMECA (*Failure Modes, Effects and Criticality Analysis* ou Análise dos Modos de Falha seus Efeitos e sua Criticidade), a qual pode ser vista na Figura A.1.

Item	Função	Falha Funcional	Modo de Falha	Efeito do Modo de Falha	Severidade (S)	Causas do Modo de Falha	Ocorrência (O)	Controles Atuais	Detecção (D)	NPR (S.O.D)	Ações Recomendadas	Responsável e Data de Término Programada	Resultados das Ações					
													Ações Adotadas	Severidade (S)	Ocorrência (O)	Detecção (D)	NPR (S.O.D)	

Figura A.1 – Planilha de FMECA adotada no Procedimento de Referência.

Fonte: adaptado de SAE J1739.

A FMECA é uma técnica analítica que tem como propósito identificar, priorizar e eliminar falhas potenciais de um sistema, projeto e/ou processo antes que estas atinjam o usuário final (Omdahl, 1988). Ela teve sua origem no departamento de defesa dos Estados Unidos (DOD – *Department of Defense*), em 1949, com a norma militar MIL-P-1629 (*Military Procedure MIL-P-1629: Procedures for Performing a Failure Mode, Effects and Criticality Analysis*). A FMECA se distingue da FMEA (*Failure Modes Effects and Analysis*) pelo fato de agregar um índice de criticidade que orienta a prioridade nas ações a serem executadas pela organização.

Os próximos parágrafos apresentam os conceitos que devem ser ponderados para o preenchimento de cada uma das colunas que compõem uma planilha de FMECA (Figura A.1).

#### A.1.1 Função

Aquilo que se deseja que o item/ativo/sistema faça dentro de um padrão de desempenho especificado. Ver Figura A.2.

#### Considerações Normalizadas e Bibliográficas:

- IEC 60300-3-11/1999 (Pg. 17 item 3.1.15) → Ação característica normal de um item.
- SAE JA1011/1999 (Pg. 04 item 3.13) e SAE JA1012/2002 (Pg. 06 item 3.13) → Aquilo que o proprietário ou usuário do ativo físico ou sistema deseja que o mesmo faça.

- SAE J1739/2002 (Pg. 31 item 5.2.9) → A descrição da função deve levar em conta normas aplicáveis de desempenho, de material, de processo, ambientais e de segurança.
- Moubray, 2001 (Pg. 22 item 2.1) → A descrição da função deve consistir de um verbo, um objeto e um padrão desejado de desempenho.

### Exemplo:

- Câmara de Extinção (Disjuntor SF<sub>6</sub>) → Conter o SF<sub>6</sub>, em uma faixa de pressão de 5,5 a 7 bar.
- Anel de Vedação “O-Ring” (Disjuntor SF<sub>6</sub>) → Manter o SF<sub>6</sub> dentro dos níveis de pureza especificados pela IEC 60376.

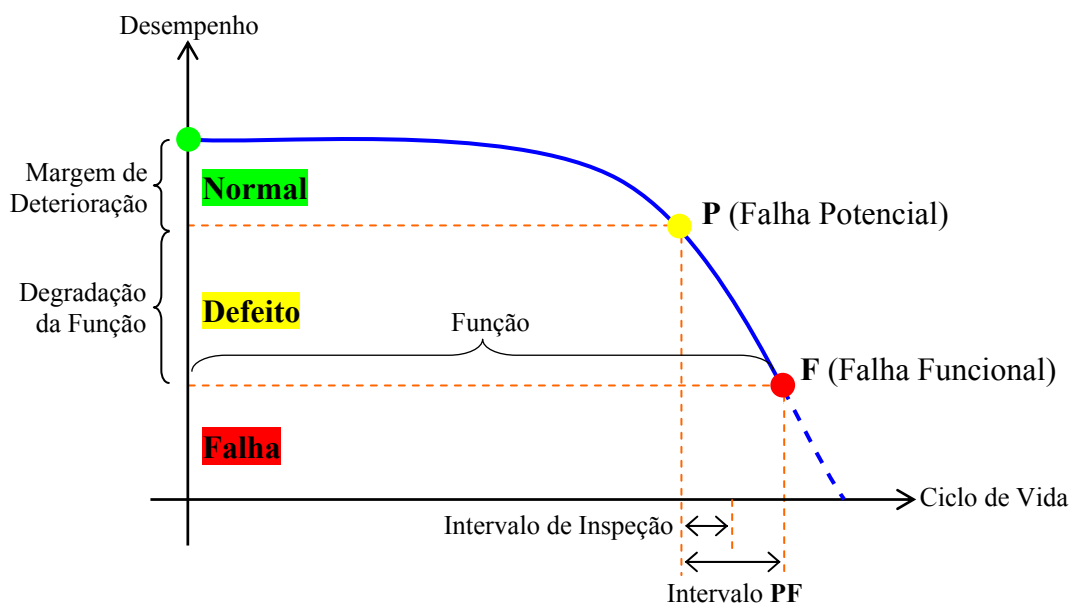


Figura A.2 – Estágios Evolutivos da Falha.

#### A.1.2 Falha Funcional

Incapacidade de um item/ativo/sistema executar uma função específica dentro dos padrões desejados de desempenho. Estado anormal da função do item/ativo/sistema. Ver Figura A.2.

#### Conceitos Correlatos:

- Falha Potencial → Condição identificável e mensurável que indica uma Falha Funcional pendente ou em processo de ocorrência.
- Categorias de Falha Funcional:
  - Evidente: Detectável pelo operador durante sua atividade normal.
  - Oculta: Não é detectável pelo operador durante sua atividade normal.



→ Múltipla: Combinação de falha oculta mais uma segunda falha ou evento que a torne evidente.

- Defeito → Desvio, além das características especificadas para um item/ativo/sistema, o qual é detectável e não causa perda total da função requerida.

#### Considerações Normatizadas e Bibliográficas:

- IEC 60300-3-11/1999 (Pg. 17 item 3.1.17) → Falha na qual um item não consegue desempenhar uma ou mais de suas funções requeridas.
- SAE JA1011/1999 (Pg. 04 item 3.14) e SAE JA1012/2002 (Pg. 06 item 3.14) → Um estado no qual um ativo físico ou sistema é incapaz de desempenhar uma função específica com o desejável nível de desempenho.
- Moubray, 2001 (Pg. 47 item 3.2) → Incapacidade de um ativo cumprir com a sua função com um padrão de desempenho aceitável pelo usuário.
- ONS Resolução 140/02 de 25/03/2002 (Pg. 24, termo 7.257) → Falha: Efeito ou consequência de uma ocorrência acidental em uma instalação ou equipamento que acarreta sua indisponibilidade operativa em condições não programadas, impedindo-o de funcionar, e, portanto, de desempenhar suas funções em caráter permanente ou em caráter temporário.

Falha MAIOR de um Disjuntor: falha completa de um disjuntor que acarreta a perda de uma ou de várias funções fundamentais e exige normalmente uma intervenção num prazo de 30 minutos.

Falha MENOR de um Disjuntor: falha de um disjuntor que acarreta a perda de uma ou de várias funções, mas que não originam falha maior.

#### Exemplo:

- Câmara de Extinção (Disjuntor SF<sub>6</sub>) → Não conter o SF<sub>6</sub>, em uma faixa de pressão de 5,5 a 7 bar.
- Anel de Vedação “*O-Ring*” (Disjuntor SF<sub>6</sub>) → Não manter o SF<sub>6</sub> dentro dos níveis de pureza especificados pela IEC 60376.

#### A.1.3 Modo de Falha

Evento ou fenômeno físico que provoca a transição do estado normal para o estado anormal (Figura A.2, ponto F). Durante o preenchimento da planilha de FMECA a pergunta que se responde para o modo de falha é “O quê causou a Falha Funcional?” (SAE JA1012, Pg. 14 item 8). Ver Figura A.3.

Considerações Normalizadas e Bibliográficas:

- IEC 60300-3-11/1999 (Pg. 17 item 3.1.12) → Um dos possíveis estados de falha de um item, para uma dada função requerida.
- SAE JA1011/1999 (Pg. 04 item 3.12) e SAE JA1012/2002 (Pg. 06 item 3.12 e Pg. 14 item 8) → Um evento ou condição física, que causa uma falha funcional.
- SAE J1739/2002 (Pg. 31 item 5.2.10) → Maneira como uma máquina/equipamento falha ao executar sua função.
- Moubray, 2001 (Pg. 53 item 4.1) → Qualquer evento que cause uma falha funcional.
- ONS Resolução 029/V2.0 de abril de 2003 (Pg. 12) → Modos de Falha – São as situações definidas como sendo os "defeitos" do sistema, tais como, sub-tensões, sobre-tensões, ilhamentos, sobrecargas, déficits de geração, etc.

Exemplo:

- Câmara de Extinção (Disjuntor SF<sub>6</sub>) → Trincas na porcelana.
- Flange do Contato Fixo (Disjuntor SF<sub>6</sub>) → Acabamento inadequado da ranhura do flange.

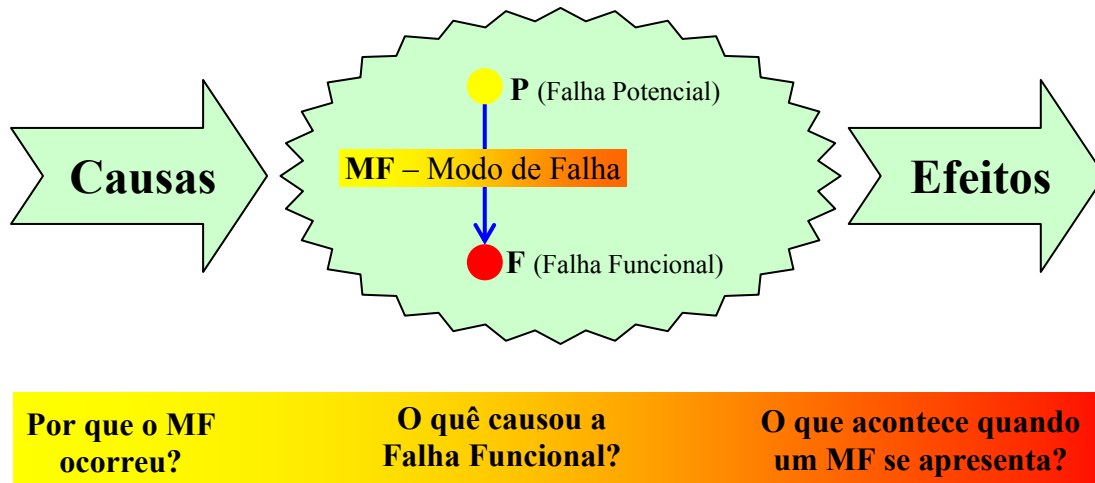


Figura A.3 – Síntese: Causas, Modo de Falha e Efeitos.

A.1.4 Efeitos do Modo de Falha

São os resultados para o sistema decorrentes da ocorrência de um modo de falha. Durante o preenchimento da planilha de FMECA a pergunta que se responde para o efeito do modo de falha é “O que acontece (item/ativo/sistema) quando um modo de falha se apresenta?”. Ver Figura A.3.

### Conceitos Correlatos:

Uma descrição típica de Efeito do modo de falha deve conter informações suficientes para avaliar os seguintes aspectos:

- Evidência da Falha → Como é observado o efeito.
- Impacto na Segurança → Que risco apresenta para as pessoas.
- Impacto Ambiental → Que danos traz ao meio ambiente.
- Reflexo Operacional → Como afeta a produção.
- Resultado Econômico → Qual seu impacto financeiro.
- Forma de Reparo → Como retornar a função ao normal após a falha.
- Características Compensatórias → Quais as características projetadas para reduzir o efeito.

### Considerações Normatizadas e Bibliográficas:

- IEC 60300-3-11/1999 (Pg. 17 item 3.1.11) → Efeito imediato de cada modo de falha nos itens funcionalmente significantes (Figura A.4) e nas funções requeridas destes itens.

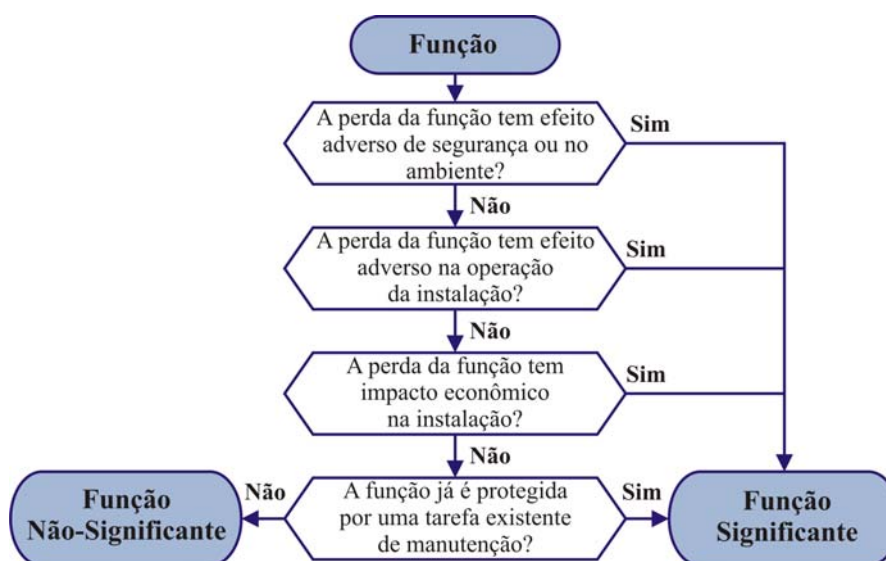


Figura A.4 – Identificação de Funções Significantes.

Fonte: adaptado de IEC 60300-3-11.

- SAE JA1011/1999 (Pg. 04 item 3.9) e SAE JA1012/2002 (Pg. 06 item 3.9 e Pg. 19 item 9) → Aquilo que acontece quando um modo de falha ocorre.
- SAE J1739/2002 (Pg. 31 item 5.2.11) → Trata-se do impacto do modo de falha no sistema, subsistema ou componente.
- Moubray, 2001 (Pg. 73 item 4.5) → Os efeitos descrevem o que acontece quando um modo de falha ocorrer.

Exemplo:

- Câmara de Extinção (Disjuntor SF<sub>6</sub>) → Vazamento de SF<sub>6</sub>.  
→ Redução da pressão interna do SF<sub>6</sub>.  
→ Abertura de arco elétrico nas partes condutoras internas.  
→ Impossibilidade de fechamento do disjuntor.
- Anel de Vedação “*O-Ring*” (Disjuntor SF<sub>6</sub>) → Aumento da umidade interna da câmara de extinção.  
→ Contaminação do SF<sub>6</sub> com subprodutos de reações internas.  
→ Perda das características dielétricas e de extinção do SF<sub>6</sub>.  
→ Descargas parciais.

## A.1.5 Severidade (S)

Refere-se à gravidade ou o quão severo são os Efeitos do modo de falha.

Considerações Normalizadas:

- SAE J1739/2002 (Pg. 32 item 5.2.12) → Índice associado ao mais alto grau de seriedade/gravidade do efeito do modo de falha.

Sugestão para Avaliação da Severidade:

A Tabela A.1 apresenta sugestões de critérios com seus respectivos Índices para avaliar a Severidade dos Efeitos do modo de falha (SAE J1739, 2002).

Tabela A.1 – Sugestões de Critérios para Avaliar a Severidade dos Efeitos do Modo de Falha.  
Fonte: SAE J1739, 2002 – Tabela 8, Pg. 34. (FMECA de Máquinas).

<b>Severidade (S) do Efeito do Modo de Falha</b>	<b>Impacto na Função devido à Severidade dos Efeitos do Modo de Falha</b>	<b>Classificação</b>
Perigoso Sem Aviso	Impacto na segurança, saúde ou meio ambiente. A falha ocorrerá sem aviso.	10
Perigoso Com Aviso	Impacto na segurança, saúde ou meio ambiente. A falha ocorrerá com aviso.	9
Muito Alto	Impacto muito alto. A Função é perdida e é necessário um longo período de tempo para restauração da normalidade.	8
Alto	Impacto alto. Parte da Função é perdida e é necessário um longo período de tempo até a restauração da normalidade.	7
Moderado	Impacto moderado. Parte da Função é perdida e é necessário um período de tempo moderado até a restauração da normalidade.	6
Baixo	Impacto baixo. A Função é prejudicada necessitando ser verificada.	5
Muito Baixo	Impacto moderado. Parte da função é prejudicada necessitando ser verificada.	4
Pequeno	Impacto reduzido. A falha demora algum tempo para ser reparada, mas não afeta a função.	3
Muito Pequeno	Impacto insignificante. A falha pode ser reparada rapidamente.	2
Nenhum	Não se verificam efeitos na segurança, saúde ou meio ambiente.	1

### A.1.6 Causas

As Causas descrevem por que o modo de falha do item/ativo/sistema ocorreu, resultando na falha funcional. Durante o preenchimento da planilha de FMECA a pergunta que se responde para as causas do modo de falha é “Por que o modo de falha ocorreu?”. Ver Figura A.3.

#### Considerações Normatizadas:

- SAE J1739/2002 (Pg. 33 item 5.2.14) → É um indicativo de fragilidade de projeto ou de processo que resulta no modo de falha.

### A.1.7 Ocorrência (O)

Refere-se à frequência com que as causas do modo de falha ocorrem ou o quão provável é a ocorrência dos cenários (causas do modo de falha – cadeia causal que resulta nos efeitos).

#### Considerações Normatizadas e Bibliográficas:

- SAE J1739/2002 (Pg. 33 item 5.2.15) → Probabilidade de que a causa da falha ocorra em um determinado período de tempo.

#### Sugestão para Avaliação da Ocorrência:

As Tabelas A.2 e A.3 apresentam sugestões de critérios com seus respectivos Índices para avaliar a Ocorrência das causas da falha (SAE J1739, 2002).

Tabela A.2 – Sugestões de Critérios para Avaliar a Ocorrência da Causa da Falha.  
Fonte: SAE J1739, 2002 – Tabela 5, Pg. 23. (FMECA de Processo).

<b>Probabilidade de Ocorrência (O) da Causa da Falha</b>	<b>Taxa de Falha (<math>\lambda</math>) Provável ao Longo do Ciclo de Vida</b>	<b>Classificação</b>
Muito Alta: Falhas Persistentes	$\geq 100$ por mil itens	10
	50 por mil itens	9
Alta: Falhas Frequentes	20 por mil itens	8
	10 por mil itens	7
Moderada: Falhas Ocasionalmente	5 por mil itens	6
	2 por mil itens	5
	1 por mil itens	4
Baixa: Relativamente Poucas Falhas	0,5 por mil itens	3
	0,1 por mil itens	2
Remota: Falha Improvável	$\leq 0,01$ por mil itens	1

Tabela A.3 – Sugestão de Critérios para Avaliar a Ocorrência da Causa da Falha.  
 Fonte: SAE J1739, 2002 – Tabela 8, Pg. 34. (FMECA de Máquinas).

<b>Critérios avaliar a Probabilidade de Ocorrência (O) da Causa da Falha</b> Obs.: Utilizar 1 dos 3 Critérios.			<b>Classificação</b>
<b>Número de Falhas em função do Tempo em Operação (horas)</b>	<b>Número de Falhas em função do Ciclo Operacional (ciclos)</b>	<b>Confiabilidade baseada no Tempo Requerido pelo Usuário [C(t) %]</b>	
1 em 1	1 em 90	$C(t) < 1\% \rightarrow MTBF \equiv 10\%$ do tempo em operação	10
1 em 8	1 em 900	$C(t) = 5\% \rightarrow MTBF \equiv 30\%$ do tempo em operação	9
1 em 24	1 em 36.000	$C(t) = 19\% \rightarrow MTBF \equiv 60\%$ do tempo em operação	8
1 em 80	1 em 90.000	$C(t) = 37\% \rightarrow MTBF$ igual ao tempo em operação	7
1 em 350	1 em 180.000	$C(t) = 61\% \rightarrow MTBF$ 2 vezes maior do que o tempo em operação	6
1 em 1.000	1 em 270.000	$C(t) = 78\% \rightarrow MTBF$ 4 vezes maior do que o tempo em operação	5
1 em 2.500	1 em 360.000	$C(t) = 85\% \rightarrow MTBF$ 6 vezes maior do que o tempo em operação	4
1 em 5.000	1 em 540.000	$C(t) = 90\% \rightarrow MTBF$ 10 vezes maior do que o tempo em operação	3
1 em 10.000	1 em 900.000	$C(t) = 95\% \rightarrow MTBF$ 20 vezes maior do que o tempo em operação	2
1 em 25.000	1 em mais de 900.000	$C(t) = 98\% \rightarrow MTBF$ 50 vezes maior do que o tempo em operação	1

#### A.1.8 Controles Atuais

São as medidas preventivas e de detecção que já tenham sido tomadas e/ou são regularmente utilizadas no item/ativo/sistema/processo para evitar a ocorrência das causas do modo de falha.

#### A.1.9 Detecção (D)

Refere-se à probabilidade de que as características de projeto e os procedimentos de verificação irão detectar as causas do modo de falha a tempo de prevenir uma falha funcional. Expressa o quão difícil é detectar os eventos da cadeia causal que resultam nos efeitos do modo de falha.

Quando esta análise está orientada para o processo, refere-se à probabilidade de que um conjunto de controles de processo tenha condições de detectar e isolar uma falha antes que esta se transfira para o processo subsequente ou para o cliente/consumidor final.

#### Considerações Normalizadas:

- SAE J1739/2002 (Pg. 35 item 5.2.17)  $\rightarrow$  É um índice associado ao melhor mecanismo de detecção disponível na máquina/processo.

### Sugestão para Avaliação dos Mecanismos de Detecção:

A Tabela A.4 apresenta sugestões de critérios com seus respectivos Índices para avaliar a probabilidade de Detecção das causas da falha (SAE J1739, 2002 – Tabela 9, Pg. 35).

Tabela A.4 – Sugestões de Critérios para Avaliar a Detecção da Causa da Falha.

Fonte: SAE J1739, 2002 – Tabela 9, Pg. 35. (FMECA de Máquinas).

<b>Chances de Detecção (D)</b>	<b>Critério para avaliar a Probabilidade de Detecção (D) da Causa da Falha</b>	<b>Classificação</b>
Quase Impossível	Os dispositivos de controle existentes não irão detectar uma causa/mecanismo potencial e subsequente modo de falha. Ou não existe um dispositivo de controle relacionado com esta causa/mecanismo.	10
Muito Remota	A possibilidade que os dispositivos de controle existentes detectem a causa/mecanismo potencial e subsequente modo de falha é muito remota.	9
Remota	A possibilidade que os dispositivos de controle existentes detectem a causa/mecanismo potencial e subsequente modo de falha é remota.	8
Muito Baixa	A possibilidade que os dispositivos de controle existentes detectem a causa/mecanismo potencial e subsequente modo de falha é muito baixa.	7
Baixa	A possibilidade que os dispositivos de controle existentes detectem a causa/mecanismo potencial e subsequente modo de falha é baixa.	6
Média	A possibilidade que os dispositivos de controle existentes detectem a causa/mecanismo potencial e subsequente modo de falha é moderada.	5
Moderadamente Alta	A possibilidade que os dispositivos de controle existentes detectem a causa/mecanismo potencial e subsequente modo de falha é moderadamente alta.	4
Alta	A possibilidade que os dispositivos de controle existentes detectem a causa/mecanismo potencial e subsequente modo de falha é alta.	3
Muito Alta	A possibilidade que os dispositivos de controle existentes detectem a causa/mecanismo potencial e subsequente modo de falha é muito alta.	2
Quase Certa	A possibilidade que os dispositivos de controle existentes detectem a causa/mecanismo potencial e subsequente modo de falha é quase certa.	1

#### A.1.10 NPR (S.D.O)

O NPR (Número de Prioridade de Risco) pode ser utilizado para comparar a criticidade de diferentes modos de falha e assim priorizar as ações corretivas para os casos mais críticos. É o produto dos índices de Severidade (S), Ocorrência (O) e Detecção (D):

$$\mathbf{NPR = Severidade \times Ocorrência \times Detecção}$$

#### A.2 MCC Aplicada ao Gasoduto Bolívia Brasil (GASBOL)

Este item aborda os aspectos técnicos e práticos que culminaram com a adoção da Manutenção Centrada na Confiabilidade (MCC) como forma de gestão da manutenção do Gasoduto Bolívia Brasil (GASBOL).

A Transportadora Brasileira Gasoduto Brasil Bolívia S.A. (TBG) iniciou em 2000 um programa de estudos baseado na metodologia de MCC com o objetivo de analisar suas principais e mais críticas instalações e sistemas segundo esta metodologia, visando garantir uma alta confiabilidade por meio da manutenção. Estes estudos permitiram aos participantes conhecer em profundidade os sistemas e dispositivos das instalações; mapear através da FMEA os principais modos de falha das funções dos diversos sistemas e dispositivos; avaliar as consequências das falhas e seu impacto sob o ponto de vista de segurança, meio ambiente e operação; determinar as atividades de manutenção (preventiva, preditiva e detectiva) necessárias à manutenção da confiabilidade; identificar oportunidades de melhorias de projeto da instalação visando o incremento de sua confiabilidade; identificar necessidades de implementação de procedimentos de operação e manutenção ou modificação nos existentes (RIBEIRO e ALVES, 2005).

A TBG estabeleceu inicialmente suas rotinas de manutenção preventiva e preditiva baseada nas práticas comuns adotadas por empresas similares, nas recomendações dos fabricantes de seus equipamentos e instalações, nas determinações das normas ASME (*American Society of Mechanical Engineers*), ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas), PETROBRAS, requisitos legais e experiência de seu corpo técnico (RIBEIRO e ALVES, 2005).

Em setembro de 1999, durante o 14º Congresso Brasileiro de Manutenção, promovido pela ABRAMAN (Associação Brasileira de Manutenção), Vizzoni *et al* (1999) apresentou um trabalho relatando a experiência do grupo de manutenção de Furnas Centrais Elétricas S.A. que realizou um estudo de MCC na Subestação de Adrianópolis no Paraná. Constata-se pela Tabela A.5 que as experiências em MCC no Brasil naquela época ainda eram poucas e muito recentes.

Tabela A.5 – Ferramentas para Promoção da Qualidade.

Fonte: VIZZONI *et al*, 1999.

Ferramentas para Promoção da Qualidade (% de Respostas)					
Ano	MCC	5S	CCQ	TPM	Outros
2001	17,35	37,90	11,42	14,61	18,72
1999	5,62	40,45	16,29	20,79	16,85
1997	2,89	46,24	12,14	18,50	20,23
1995	-	39,83	17,37	21,61	21,19

A partir deste trabalho, a TBG iniciou um projeto piloto para implantação da MCC na Estação de Entrega (EE) da REPLAN. Após os estudos iniciais para entendimento dos aspectos teóricos e práticos da implantação da MCC, procedeu-se conforme descrito a seguir (RIBEIRO e ALVES, 2005):

- Conhecimento das Instalações: nesta primeira etapa, todos os participantes, das diversas especialidades, apresentam a teoria de operação e funcionamento dos diversos sistemas e componentes abrangendo aspectos de automação, mecânica, segurança e operação. Nesta etapa todos os participantes equalizam o conhecimento sobre as instalações e de seu funcionamento;
- Definição dos Sistemas: após seu estudo, a instalação foi dividida em sistemas com identificação de suas entradas e saídas;



- Elaboração da Planilha de Informação: nesta etapa, a mais demorada, foram identificadas as diversas funções dos sistemas e seus componentes, as possíveis falhas, os modos de falha envolvidos e as conseqüências resultantes de cada falha;
- Aplicação do Diagrama de Decisão: a partir das conseqüências dos modos de falhas, aplicou-se o Diagrama de Decisão e identificou-se a relevância destas falhas sob o aspecto de segurança, impacto ao meio ambiente e da operação da instalação. Estes dados são os elementos iniciais de preenchimento da Planilha de Decisão;
- Elaboração da Planilha de Decisão: a metodologia determina que, conforme a relevância das conseqüências identificadas, estabeleçam-se as tarefas de manutenção necessárias para eliminar ou mitigar estas conseqüências. Onde as conseqüências não são relevantes pode-se optar por não executar nenhuma atividade preventiva, reparando ou substituindo o item quando este falhar. Por outro lado, onde a execução de atividades da manutenção não for suficiente, pode ser necessário, dependendo da relevância da conseqüência e dos custos envolvidos, modificar o projeto da função através da substituição ou melhoria dos componentes envolvidos. Esta planilha foi elaborada pelo grupo com o auxílio do Diagrama de Decisão;
- Montagem do Relatório Final: Ao término do estudo foi elaborado um relatório onde foram apresentados os descritivos de funcionamento da EE, o plano mestre de manutenção, a relação de melhorias (ou reprojatos) e demais recomendações e conclusões do estudo;

Segundo Ribeiro e Alves (2005), nas seis áreas estudadas foram identificados 309 modos de falha. Deste total, 107 (35%) eram falhas ocultas, ou seja, os componentes poderiam falhar e somente a percepção desta falha ocorreria se um outro evento (algumas vezes, de grandes conseqüências) ocorresse. Foram levantados 90 modos de falha que necessitariam serem verificados periodicamente (busca de falhas) a fim de se garantir a confiabilidade da EE. Foram determinados 68 modos de falha possíveis de serem evitados ou minimizados através de ações preventivas (restauração, troca, inspeção ou monitoramento).

Apesar da EE da REPLAN ser desabilitada, o estudo de MCC proporcionou uma evidência da importância da inspeção visual periódica, objetivando identificar situações anormais de operação que não são detectadas pela Central de Supervisão e Controle no Rio de Janeiro. O relatório deste estudo foi apresentado ao corpo gerencial que, a partir dos resultados alcançados e do depoimento dos participantes, decidiu estabelecer um programa de estudos das principais instalações do GASBOL (RIBEIRO e ALVES, 2005).

Ribeiro e Alves (2005) citam os principais benefícios alcançados a partir da implantação da MCC na TBG, relacionados a seguir:

- Compreensão por parte da equipe, do funcionamento e dos modos de falha dos sistemas envolvidos na análise, melhorando sua capacidade de análise e diagnóstico para detecção e

determinação das falhas resultando em tempos de parada de componentes e sistemas (ou da EE) menores;

- O fato de o próprio colaborador envolvido na manutenção participar na elaboração e determinação das atividades de manutenção da instalação gera um maior comprometimento do mesmo com o cumprimento e eficácia destas ações;
- As planilhas de informações geradas pelos grupos de trabalho constituem-se em uma fonte de informação importante, auxiliando na resolução de problemas de manutenção e servindo como documento de referência para treinamentos;
- O plano mestre de manutenção gerado a partir do estudo dos modos de falha, procura agregar valor ao processo de manutenção, evitando atividades que não possam ser garantidas quanto à sua efetividade;
- Como estratégia de manutenção, fica clara a preservação das funções da instalação e não do equipamento, pela realização de intervenções preventivas somente onde se justifica, racionalizando recursos e diminuindo intervenções;
- A metodologia permite mapear as funções que possuem falhas ocultas que possam acarretar conseqüências relevantes que de outra forma não seriam consideradas pelas metodologias de manutenção tradicionalmente executadas;
- Com o melhor conhecimento da instalação e de suas falhas, também é possível uma definição mais precisa dos sobressalentes críticos necessários à manutenção da disponibilidade do sistema;
- A aplicação da metodologia prevê que, onde não for possível minimizar ou mitigar as conseqüências relevantes através da aplicação isolada ou combinada de atividades de manutenção, modificações ou melhorias de projeto devem ser implementadas, para aumentar a confiabilidade do sistema;
- Sempre com a visão de preservar as funções da instalação, os estudos de MCC identificam onde existem necessidades de implementação de novos procedimentos operacionais e de manutenção ou modificação dos existentes, inclusive para incorporar atividades de busca de falhas.

Em estruturas de manutenção já consolidadas e com os planos de manutenção já determinados pelos métodos tradicionais (recomendações de fabricantes e fornecedores, determinações legais e normativas e experiência do corpo técnico), os resultados dos estudos de MCC são apresentados na forma de redução de quantidade de Homens/Hora empenhados em manutenção preventiva e conseqüentemente em redução dos custos de manutenção. Estas reduções podem alcançar até 40% (MOUBRAY, 2001).

No caso da TBG, os estudos de MCC foram realizados em instalações onde os planos de manutenção ainda não estavam implementados ou que ainda não haviam completado um ciclo. Esta forma de implantação é denominada “Base Zero”. Desta forma, os principais resultados apresentados são traduzidos por altos índices de confiabilidade e baixo número de falhas (RIBEIRO e ALVES, 2005).

# APÊNDICE B

## **SISTEMAS BASEADOS EM CONHECIMENTO**

Apresenta aspectos suplementares relacionados ao Capítulo 4



## SISTEMAS BASEADOS EM CONHECIMENTO

## B.1 MODELOS PARA DESENVOLVIMENTO DE SOFTWARE

a) Seqüencial Linear

O modelo seqüencial linear, cascata ou *waterfall*, também conhecido como ciclo de vida clássico, é o modelo mais antigo e o mais amplamente utilizado. Ele sugere uma abordagem seqüencial de atividades para o desenvolvimento do software com ciclos de realimentação, isto é, pode-se retomar a qualquer atividade anteriormente executada e reiniciar o processo a partir dela. O processo é modelado segundo um ciclo convencional de engenharia e segue o seguinte fluxo de atividades: (1) análise e definição de requisitos, (2) projeto, (3) geração e teste de código, (4) implantação e teste do sistema, e (5) operação e manutenção. Apesar de sua grande utilização, ele apresenta alguns problemas, como sua inflexibilidade na partição do projeto em estágios distintos e “estados de bloqueios” nos quais alguns membros da equipe necessitam esperar que outros membros completem suas tarefas para que eles possam iniciar as suas. Isso pode levar a atrasos no projeto que comprometam a produtividade, o que costuma ser impraticável nos dias atuais, pois, a grande concorrência força a produção de software em um curto intervalo de tempo (SOMMERVILLE, 2004 e PRESSMAN, 2004).

Segundo Gonzalez e Dankel (1993), as etapas do ciclo de vida, no desenvolvimento de programas computacionais, utilizando o modelo seqüencial linear, cascata ou *waterfall*, podem ser seguidas conforme a Figura B.1.

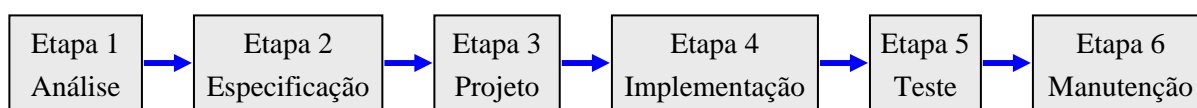


Figura B.1 – Etapas de Desenvolvimento de Software Utilizando o Modelo Seqüencial.

Fonte: GONZALES e DANKEL, 1993.

Segundo Rezende (2003), as características dos SBC's fazem com que alguns modelos de processo de desenvolvimento tenham difícil aplicação. O modelo seqüencial é um exemplo, uma vez que a natureza iterativa da obtenção de conhecimento, a complexidade da validação e dos testes e a complexidade de obtenção completa do comportamento desses sistemas no início do projeto são fatores determinantes da dificuldade de sua utilização. Para Gonzalez e Dankel (1993) muitas vezes a abrangência sobre o domínio do conhecimento é muito grande, o que torna muito complexo e rígido este modelo, não permitindo realimentações e mudanças de paradigma ao longo do ciclo de desenvolvimento do SBC.

b) Espiral

O modelo espiral combina os aspectos controlados e sistemáticos do modelo seqüencial linear com aspectos de prototipagem, possibilitando o desenvolvimento rápido de versões incrementais de software. Suas atividades são executadas seqüencialmente na forma de uma espiral, partindo de seu centro e girando no sentido horário, Figura B.2. A cada volta completa, uma nova interação é iniciada e um novo ciclo de tarefas é executado. A espiral é segmentada em regiões (de três a seis) seguindo a seguinte ordem (SOMMERVILLE, 2004 e PRESSMAN, 2004):

- Comunicação com o usuário: envolve atividades e tarefas para estabelecer a comunicação entre o desenvolvedor e o usuário;
- Planejamento: envolve atividades e tarefas necessárias para definir recursos, prazos e outras informações relacionadas ao projeto;
- Análise de risco: envolve atividades e tarefas para avaliar os riscos, tanto técnicos quanto gerenciais;
- Engenharia: envolve atividades e tarefas para construir uma ou mais representações da aplicação;
- Construção e liberação: envolve atividades e tarefas necessárias para construir, testar, instalar e fornecer apoio ao usuário;
- Avaliação pelo usuário: envolve atividades e tarefas para obter realimentação do usuário, com base na avaliação das representações do software criadas durante o estágio de engenharia e implementadas durante o estágio de instalação.

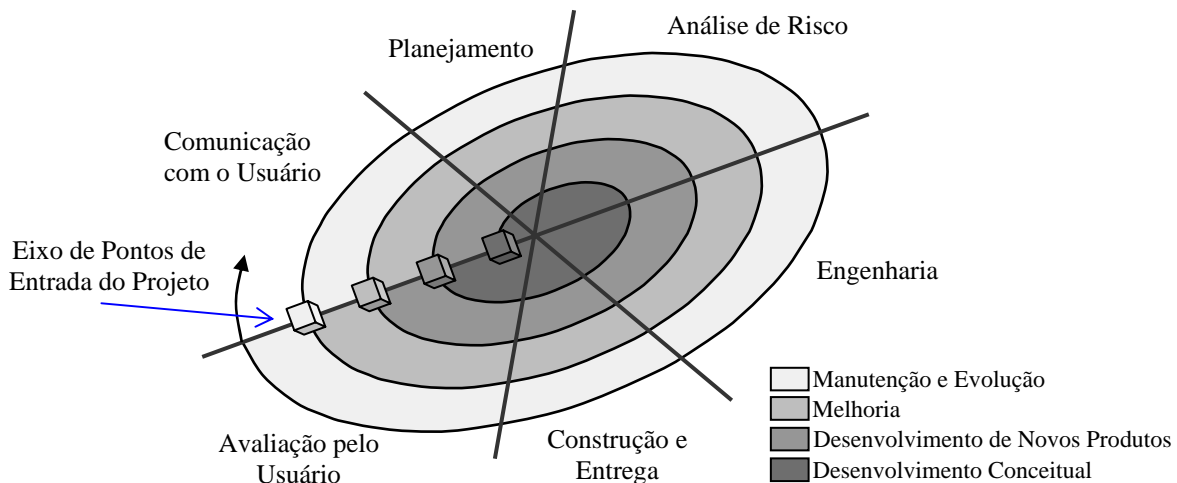


Figura B.2 – Etapas de Desenvolvimento de Software Utilizando o Modelo Espiral.

Fonte: PRESSMAN, 2004.

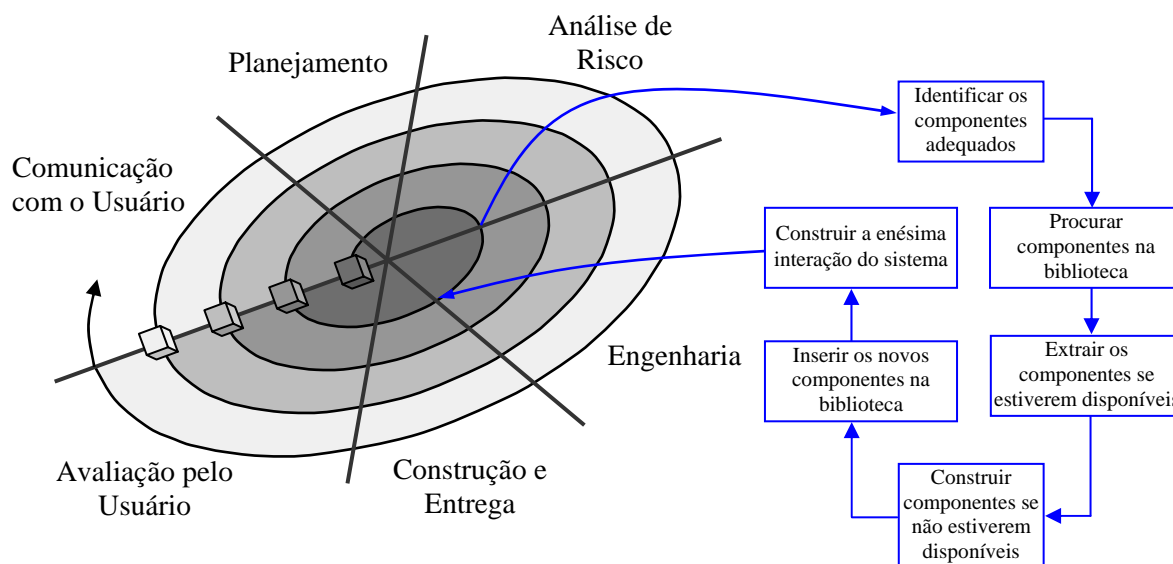
As voltas mais internas da espiral são dedicadas ao projeto de desenvolvimento conceitual do produto, cujo resultado final pode ser um primeiro protótipo ou apenas a modelagem do sistema. As próximas voltas são dedicadas ao desenvolvimento de novos atributos do produto cujos resultados são versões cada vez mais complexas do sistema. As voltas seguintes são dedicadas a melhoria do produto, cujo objetivo é efetuar ajustes finais no sistema e concluí-lo. Por fim, as demais voltas são

dedicadas à manutenção e evolução do produto. O início de cada projeto é marcado na espiral e nomeado ponto de entrada do projeto. Como se trata de uma espiral, normalmente o ponto de entrada de um projeto é o término de outro. Sendo assim, um eixo é traçado na espiral determinando o local em que os pontos de entrada serão marcados (SOMMERVILLE, 2004 e PRESSMAN, 2004).

### c) Baseado em Componentes

O modelo de desenvolvimento baseado em componentes, Figura B.3, busca desenvolver um sistema a partir de componentes previamente desenvolvidos. Caracterizado naturalmente por um processo evolucionário, necessita de uma abordagem interativa, o que lhe confere muitas das características do modelo espiral. Este modelo é sustentado principalmente pela orientação a objetos que enfatiza a criação de classes que encapsulam tanto os dados quanto os algoritmos para manipulá-los, e, se adequadamente projetadas e implementadas são reusáveis em diferentes aplicações (SOMMERVILLE, 2004 e PRESSMAN, 2004).

No modelo de desenvolvimento baseado em componentes, a atividade de engenharia começa com a identificação das classes adequadas. Isso é obtido pelo exame dos dados a serem manipulados pela aplicação e dos algoritmos a serem aplicados para efetuar a manipulação. Classes criadas em projetos anteriores de engenharia de software são armazenadas em uma biblioteca ou repositório de classes. Uma vez identificadas as classes adequadas, essa biblioteca é examinada para determinar se as mesmas já existem. Em caso afirmativo, são reusadas. Se uma classe apropriada não é encontrada, é então desenvolvida e inserida no repositório (SOMMERVILLE, 2004 e PRESSMAN, 2004).



B.3 – Desenvolvimento de Software com Modelo Baseado em Componentes.

Fonte: PRESSMAN, 2004.

### d) Modelo Geral para Desenvolvimento de SBC's

Dentro da seqüência de etapas percorridas durante a evolução e o desenvolvimento dos SBC's, Figura B.4, independente do modelo adotado, tem-se obrigatoriamente, distribuídas ao longo de todo o ciclo de desenvolvimento dos SBC's, a passagem pelas seguintes fases (REZENDE, 2003):

- 1) Planejamento do SBC - Nessa fase é identificado o domínio do conhecimento, selecionada a equipe de desenvolvimento do SBC e a ferramenta a ser utilizada no desenvolvimento do sistema. O domínio de conhecimento deve ser plenamente entendido por toda a equipe para uma melhor interação com o EH.
- 2) Aquisição do Conhecimento (AC) - Esta fase refere-se à identificação, conceituação e formalização do conhecimento. Tem como objetivo adquirir os conhecimentos que serão armazenados na Base de Conhecimento, ou seja, é a fase de execução do planejamento realizado na etapa anterior.
- 3) Implementação do SBC - Nesta fase é realizada a codificação do sistema através de linguagens ou ferramentas adequadas, documentado o sistema, gerado manuais e implementado a interface do SBC. Nesta fase o conhecimento adquirido deve ser representado formalmente. Para isso, utiliza-se a estrutura de Representação do Conhecimento (RC) selecionada na Fase 1.
- 4) Validação e Refinamento do SBC - Esta fase envolve a validação e a verificação do sistema, atividades complementares, necessárias para avaliar e assegurar a qualidade do SBC. Após a avaliação das características dinâmicas do SBC o sistema é refinado, corrigindo algum conhecimento incorreto ou ausente no modelo executável.

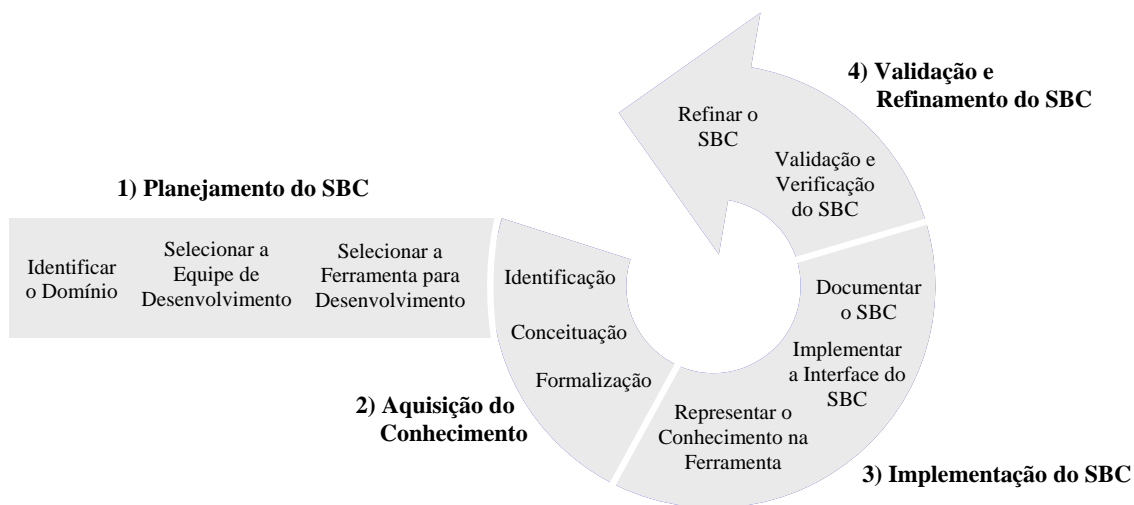


Figura B.4 – Processo de Desenvolvimento de um SBC.

Fonte: REZENDE, 2003.

Segundo Rezende (2003) é importante ressaltar que, idealmente, a Etapa 1 ocorre apenas uma vez ao longo do ciclo de vida do SBC, porém as Etapas 2, 3, e 4 compõem uma etapa contínua de melhoramento do sistema.

## B.2 AQUISIÇÃO E ELICITAÇÃO DO CONHECIMENTO – TÉCNICAS MANUAIS

### a) Baseadas em Análise de Protocolo

Para Rezende (2003), técnicas baseadas em entrevistas compartilham os seguintes problemas:



- Especialistas são valiosos para as empresas e, por conta disso, são muito requisitados e atarefados, não dispendo de tempo para o processo de AC;
- O entrevistado tende a se sentir avaliado no processo de entrevista, podendo acabar se inibindo e omitindo importantes partes do seu conhecimento;
- O especialista retrata seu trabalho em vez de executá-lo, podendo não se lembrar do conhecimento empregado, ou apresentar justificativas que não correspondam verdadeiramente ao conhecimento utilizado ao resolver o problema.

Métodos de acompanhamento visam entender o processo de raciocínio do especialista. O Engenheiro do Conhecimento (EC) usa essas técnicas para descobrir qual conhecimento está sendo usado e como ele está sendo usado pelo especialista em suas tarefas (REZENDE, 2003).

Na Análise de Protocolo, o EC pode utilizar uma amostra representativa de casos resolvidos e solicitar ao especialista que explique como os resolveu. Ou o especialista é solicitado a realizar uma tarefa real e, ao mesmo tempo, verbalizar o seu pensamento sob observação do EC que, mais tarde, deve interpretar, organizar e analisar o processo de decisão do especialista e transpô-lo para uma representação que possa ser revista pelo especialista. A Tabela B.1 mostra as vantagens e desvantagens deste método (REZENDE, 2003).

Tabela B.1 – Vantagens e Desvantagens da AC Baseada em Análise de Protocolo.  
Fonte: REZENDE, 2003.

<b>Vantagens</b>	<b>Desvantagens</b>
O especialista considera de modo consciente as heurísticas usadas no processo de decisão.	Muitas vezes, o especialista usa conhecimento subjetivo ou tácito na resolução dos problemas e não encontra palavras para verbalizá-lo.
O EC observa e analisa o comportamento do especialista, durante o processo de decisão.	O especialista pode se desviar da tarefa de resolver o problema para se concentrar na tarefa de buscar uma explicação para as suas decisões.
O especialista expressa o conhecimento utilizado no momento e no ambiente em que o está utilizando e as dúvidas podem ser esclarecidas mais tarde.	Não existe garantia que o EC selecionará tarefas que cubram todo o espectro de problemas necessário para a criação da base de conhecimento.

#### b) Brainstorming

A técnica conhecida como *Brainstorming*, consiste em reunir especialistas da mesma área e promover um debate para que eles forneçam idéias e sugestões para o projeto. O EC faz o registro dos fatos e estes, posteriormente, são analisados pelo grupo.

#### c) Tomada de Decisão

A técnica de Tomada de Decisão acontece em comum acordo entre os especialistas que se reúnem para deliberar sobre um determinado assunto. O objetivo é encontrar a melhor solução obtida através de simples votação.

#### d) Baseadas em Modelos

Segundo Rezende (2003), por muito tempo, as técnicas apresentadas anteriormente foram as dominantes dentro da área de Engenharia do Conhecimento. Embora até hoje elas sejam extremamente úteis, o seu uso exclusivo confere um caráter muito maior de arte, ao processo de AC, do que propriamente de engenharia.

A técnica de aquisição baseada em modelos é fortemente baseada no reuso de componentes de conhecimento, isto é, descrições estruturadas do conhecimento genérico envolvido na resolução do problema objetivando a formulação de um modelo geral do conhecimento de uma determinada aplicação (REZENDE, 2003).

Uma questão-chave a respeito da modelagem do conhecimento diz respeito ao tipo de conhecimento focado inicialmente na construção do modelo. Segundo a bibliografia pesquisada, algumas das alternativas são: Modelo de Domínio, Modelo de Tarefa e Modelo de Métodos de Resolução de Problemas.

##### d1) Modelo de Domínio

Descreve as entidades do domínio, suas relações e seu comportamento. O modelo do domínio descreve o conhecimento estático e genérico da aplicação, podendo ser utilizado por mais de um agente. No nível mais básico, o conhecimento do domínio é declarado por meio da ontologia do domínio, que descreve o conhecimento declarativo e estático daquele domínio, a ser acessado por todos os agentes que atuam sobre ele (ABEL, 2005).

O termo ontologia pode ser definido como uma especificação formal e explícita de um conjunto de conceitos compartilhados. Os conceitos, neste caso, referem-se àqueles selecionados como relevantes em um determinado domínio. Explícito significa que, o conjunto de conceitos utilizados e as restrições aplicadas são previamente e explicitamente definidas. Formal refere-se ao fato de que se espera que uma ontologia seja processável por computador, o que exclui definições em linguagem natural, por exemplo. Finalmente, uma ontologia é compartilhada porque descreve um conhecimento consensual, que é utilizado por mais de um indivíduo e aceito por um grupo (STUDER *et al*, 1998). Segundo Damski *et al* (1993) uma ontologia de domínio é definida através de:

- Um vocabulário de conceitos, ou termos do domínio.
- Os tipos que esses conceitos podem ter, ou seja, a tipologia do domínio, que definem não só os tipos de dados, mas as restrições de valores que os termos devem respeitar.
- As relações de classe e subclasse ou de particionamento dos conceitos, que irão formar as taxonomias<sup>1</sup> e partonomias<sup>2</sup> daquele domínio.

---

<sup>1</sup> Taxonomias é a maneira como se organiza classes e sub-classes dentro da ontologia.

<sup>2</sup> Partonomia é uma ligação semântica de como os conceitos podem ser organizados.

## d2) Modelo de Tarefa

Descreve genericamente quais as características do problema e das soluções. O modelo da tarefa expressa os objetivos da aplicação de uma forma precisa e sistemática e as atividades necessárias para atingi-los. Expressa como um objetivo pode ser atingido e como diversos objetivos são inter-relacionados (ABEL, 2005).

Segundo Schreiber (1992) uma tarefa é normalmente descrita através de dois componentes: a definição da tarefa, que expressa qual o objetivo a ser atingido (caráter declarativo), e o corpo da tarefa que especifica como atingir aquele objetivo (caráter procedimental). O modelo da tarefa descreve ainda como um objetivo pode contribuir para alcançar outro objetivo, permitindo a decomposição de uma tarefa em outras mais simples, construindo a estrutura de uma tarefa.

O modelo da tarefa, ao contrário do modelo do domínio, é específico para uma aplicação e tipo de problema. Nele, são especificados os dados de entrada, as ações de inferência possíveis e as condições para que o objetivo seja atingido (ABEL, 2005).

## d3) Modelo de Métodos de Resolução de Problemas

Os métodos de solução de problemas permitem modelar o componente dinâmico do conhecimento do domínio. É uma forma de relacionar uma tarefa e o modelo do domínio a fim de atingir determinado objetivo. Métodos de solução de problemas foram inspirados no processo de solução de problema de especialistas humanos. Eles não refletem, por exemplo, o método dedutivo que permite executar uma regra, mas sim o conhecimento de controle que diz como selecionar a regra adequada a cada momento e como combinar as deduções de um conjunto de regras (CLANCEY, 1989; BENJAMINS e FENSEL, 1998; STUDER *et al*, 1998).

Um método de solução de problemas é um modelo abstrato de inferência que pode ser reconhecido ou reaplicado em tarefas similares em diferentes domínios. Não é, porém, tão genérico ou equivalente aos métodos de inferência implementado nos sistemas especialistas de primeira geração, como encadeamento progressivo ou regressivo. Corresponde a uma generalização de um padrão de raciocínio específico, mas não é um raciocínio genérico que possa ser aplicado em diferentes classes de problemas (BENJAMINS e FENSEL, 1998).

Métodos de solução de problemas têm sido, isoladamente, o mais intenso tópico de pesquisa em Engenharia de Conhecimento recentemente. Consistem de um problema mal equacionado cientificamente, pela pobre compreensão dos mecanismos cognitivos de solução de problema. Sua compreensão e a geração de um modelo formal pode levar ao desenvolvimento de um conjunto de metodologias mais maduras para construção de sistemas que utilizem conhecimento (STERNBERG, 1994).

Entre as ferramentas de modelagem mais conhecidas podem ser citadas: Métodos Limitados a Papéis (McDERMOTT, 1988), Tarefas Genéricas (CHANDRASEKARAN, 1988), KADS - *Knowledge Acquisition and Design Structure* (WIELINGA *et al*, 1992) e

Protegé II (MUSEN *et al*, 1987). Elas se baseiam primordialmente na diferenciação do tipo de conhecimento envolvido na resolução de um dado problema. Contudo, cada uma delas considera um diferente conjunto de tipos de conhecimento como fundamento de modelagem. No KADS a implementação do sistema é responsabilidade do projetista, onde informações adicionais relativas a detalhes de implementação são acrescentadas ao modelo de conhecimento (REZENDE, 2003). Mais recentemente, Motta (1998) propôs uma nova técnica de modelagem, denominada TMDA (*Task / Method / Domain / Application*), que procura integrar consistentemente os tipos de conhecimento utilizados nas outras técnicas. TMDA se fundamenta na idéia de que uma base de conhecimento de um SBC pode ser caracterizada em termos da tarefa a ser resolvida, do método escolhido para resolver a tarefa, do domínio do problema e da aplicação. Heijst *et al* (1997) identificam genericamente dois tipos de modelagens adotadas pelas técnicas de aquisição baseadas em modelos Figura B.5.

- *Bottom-up*: refere-se ao processo de construção em que uma estrutura é imposta sobre um conhecimento já adquirido sobre a aplicação;
- *Top-down*: refere-se ao processo de refinamento onde um modelo abstrato é selecionado ou construído, e depois instanciado com conhecimento específico da aplicação.

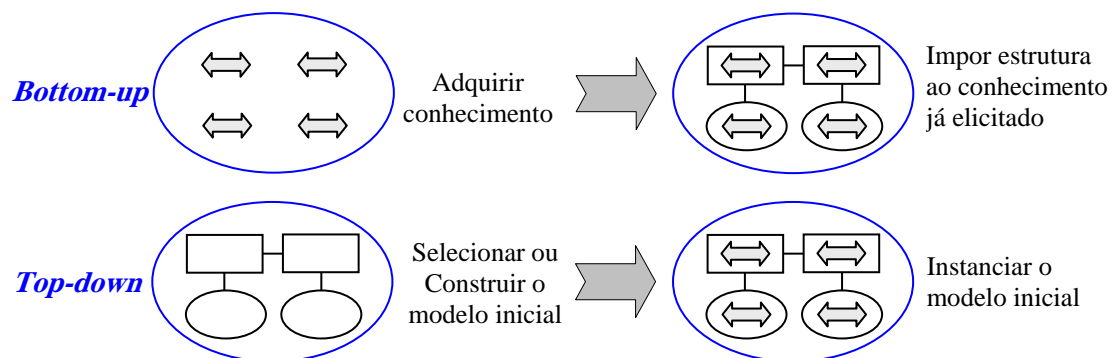


Figura B.5 – Técnicas de Modelagem *Bottom-up* e *Top-down*.

Fonte: HEIJST *et al*, 1997.

Pode-se dizer que as duas formas de modelagem usam algum tipo de modelo inicial do conhecimento, apesar de este modelo ser, no primeiro caso, bem fraco. A melhor forma de ver as duas interpretações é como um contínuo entre extremos que varia de um suporte de modelo inicial fraco a um suporte de modelo inicial forte (HEIJST *et al*, 1997).

Segundo Rezende (2003) na técnica *bottom-up*, o conhecimento pode ser adquirido, inicialmente, por meio do uso de algumas das técnicas de AC mencionadas até aqui. Em seguida, ele é trabalhado e complementado para formular os diferentes tipos de modelos de conhecimento. Estes são utilizados para formular o modelo genérico de resolução de problemas que, por fim, é adaptado para atender a aplicação específica. A técnica *top-down* tem sido o maior foco de pesquisa atualmente. Ela assume a existência de bibliotecas de modelos gerais do conhecimento que podem ser selecionados e integrados para produzir o modelo do conhecimento da aplicação. Este modelo geral de conhecimento estrutura a base e serve de guia para a AC, indicando quais informações necessitam serem obtidas das

fontes disponíveis (REZENDE, 2003). No processo de construção e refinamento de modelos, cinco atividades são executadas, como ilustrado na Figura B.6 (HEIJST *et al*, 1997):

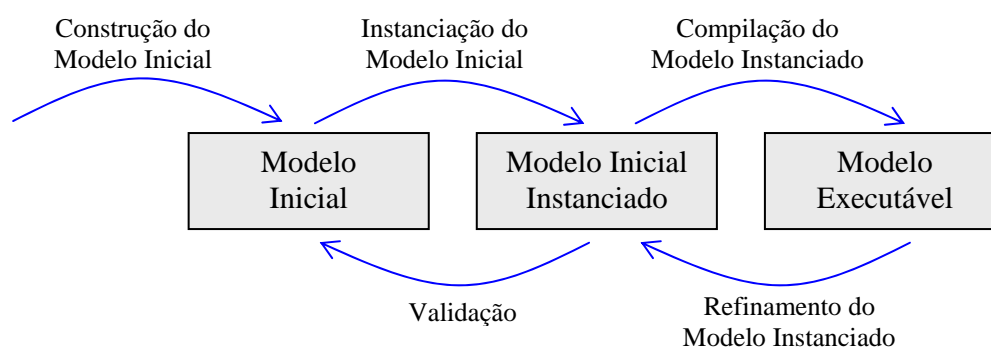


Figura B.6 – AC no Paradigma *Top-down*.

Fonte: HEIJST *et al*, 1997.

- Construção do Modelo Inicial: envolve a criação ou seleção de uma especificação abstrata do conhecimento, necessária à realização de uma tarefa particular em algum domínio. Modelos iniciais variam em quantidade de detalhes e em abrangência;
- Instanciação do Modelo: nessa fase, o modelo inicial é preenchido com o conhecimento de domínio para gerar uma base de conhecimento completa. Em geral, o conhecimento é representado em uma linguagem não executável;
- Compilação do Modelo: consiste em transformar o modelo inicial instanciado em uma base de conhecimento executável;
- Refinamento do Modelo: nessa fase, as características dinâmicas do SBC são validadas usando-se um conjunto de casos de teste. Um *feedback* é gerado no caso de algum conhecimento incorreto ou ausente no modelo executável;
- Validação: provê *feedback* a respeito da validade do modelo inicial, que pode levar a identificar partes que precisam ser adaptadas ou colocadas em uma biblioteca para reuso.

A principal vantagem das técnicas baseadas em modelos é induzir a construção de bases de conhecimento mais organizadas e, conseqüentemente, menos propensas a inconsistências, erros e incompletudes. A sua principal desvantagem é ainda demandar um grande esforço para a construção do SBC, uma vez que, além da tarefa de construção do modelo de conhecimento da aplicação, também é necessária uma etapa na qual o modelo é implementado na linguagem de programação adotada pelo SBC.

#### e) Técnica Delphi

Apesar do primeiro experimento utilizando *Delphi* ter sido realizado em 1948, ela se tornou popular somente após a publicação do primeiro artigo descrevendo a técnica, em 1963 (GUPTA e CLARKE, 1996). Para Gupta e Clarke (1996), *Delphi* é uma das técnicas mais populares para prognóstico no campo tecnológico e no industrial, onde se estima que 90% dos estudos fazem uso da

técnica. Ayyub (2001) vai além e qualifica *Delphi* como a técnica mais conhecida para elicitación de conhecimento de especialista.

As abordagens tradicionais de discussão em grupo são muito utilizadas a fim de possibilitar uma interação entre os participantes para que se alcance um consenso sobre o assunto. No entanto, o trabalho em grupo tem alguns inconvenientes, tais como: a presença de um participante dominante; a capacidade de persuasão de cada um; a tendência do participante querer ter a aprovação da equipe; a resistência de mudar de opinião depois de expô-la ao grupo (DALKEY, 1968); a pressão para se alcançar um consenso; e o ruído causado por material redundante ou irrelevante que ofusca materiais relevantes (DALKEY, 1967).

Dalkey (1967) constatou que, em questões que não se pode verificar a veracidade dos resultados, tipicamente as opiniões convergem durante as iterações e que, nos casos que se pode confirmar os resultados, as respostas tendem a se mover na direção da "resposta verdadeira". Após a execução de experimentos comparando os resultados obtidos em reuniões estruturadas e por meio da técnica *Delphi*, Dalkey (1967) observou que as respostas obtidas por meio de questionários foram mais acuradas que as obtidas nas discussões em grupo. Outra constatação importante neste experimento é que as respostas obtidas na segunda iteração dos questionários eram mais acuradas que na quarta, e última, iteração. Acredita-se que este efeito tenha sido causado pela fadiga dos participantes ou pelo fato de toda informação relevante ter vindo à tona na segunda iteração e as iterações posteriores se tornaram devaneios. No entanto, não ficou clara a causa deste efeito.

A técnica *Delphi* possui as seguintes características: reduz os efeitos dos aspectos indesejáveis das reuniões, decorrente da interação do grupo, destacando-se como características o anonimato, elicitando separadamente e de forma privada as respostas das questões preparadas; possibilita repetidas iterações do conhecimento elicitado; resolução das diferenças; controle da realimentação, reduzindo o ruído de informações menos relevantes; e obtenção de uma estatística das respostas que apresente a opinião do grupo de forma representativa (GUPTA e CLARKE, 1996; DALKEY, 1967).

Linstone e Turoff (2002) dividem os métodos de aplicação da técnica *Delphi* em dois grupos: *Delphi* convencional (lápiz-e-papel) e conferência *Delphi*. No primeiro, um pequeno grupo de mediadores elabora questionários para um grupo maior de respondentes. As respostas são, então, resumidas e, baseado nos resultados, elabora-se um novo questionário. Usualmente, os respondentes têm a oportunidade de avaliar as respostas do grupo pelo menos uma vez. Na conferência *Delphi* computadores são programados para fazer a compilação dos resultados, reduzindo a influência do grupo de moderadores. Isso traz algumas vantagens (Por Exemplo: a eliminação dos atrasos causados no processamento das informações em cada rodada do *Delphi*) contudo requer que as características da comunicação estejam bem definidas antes que a técnica seja aplicada, enquanto que no método convencional o grupo de monitores pode fazer ajustes em função das respostas obtidas.

É interessante salientar que Brown (1968), já destacava na década de sessenta que computadores poderiam ser utilizados para coletar as respostas dos especialistas; processar estas informações; computar medidas sobre as respostas do grupo; agregar informações relevantes e plausíveis de um banco de dados existentes; e realimentar o grupo para uma nova iteração.

Contudo, a técnica *Delphi* tem suas limitações e desvantagens. Ironicamente, algumas dessas desvantagens são também vantagens, por exemplo: apesar do anonimato procura reduzir a influência do grupo sobre o respondente, ele pode resultar num comprometimento individualizado e não refletir o consenso do grupo (GUPTA e CLARKE, 1996). A seguir, seguem alguns outros inconvenientes de se optar pela técnica *Delphi* (LINSTONE; TUROFF, 2002 e GUPTA; CLARKE, 1996): o mediador pode impor sua visão ou estruturar o *Delphi* de forma a permitir outras perspectivas do problema; o mediador pode ignorar e não explorar discordâncias, desencorajando a discussão o que pode acarretar em um consenso artificial; o resumo e a apresentação das respostas de forma inadequada pode dificultar, ou até inviabilizar, a aplicação da técnica; participantes podem inadvertidamente ou deliberadamente promover um resultado; ausência de critérios para distinguir um especialista de um leigo e ausência de evidências suficientes para julgar se a resposta de um especialista é mais confiável que de outro; e assumir que a técnica *Delphi* pode resolver todo tipo de problema e ignorar outras formas de comunicação.

### B.3 AQUISIÇÃO E ELICITAÇÃO DO CONHECIMENTO – TÉCNICAS AUTOMATIZADAS

#### a) Baseadas no Reuso do Conhecimento do Domínio

Um dos problemas com o uso de *shells* é que elas deixam sob encargo do EC ou do especialista toda a responsabilidade por fornecer o conhecimento da aplicação a ser desenvolvida. Para sanar esta limitação algumas ferramentas usam o conhecimento do domínio no qual são aplicadas para interrogar o EC ou especialista a respeito do novo conhecimento que está sendo incorporado no SBC. O fato de esta abordagem ser específica do domínio traz vantagens e desvantagens. Enquanto ela permite o sistema utilizar a terminologia usada pelo especialista e fazer questionamentos detalhados sobre o conhecimento do domínio, ela restringe a sua reutilização, uma vez que um novo domínio pode apresentar características bem distintas do domínio presente na base de conhecimento (REZENDE, 2003).

Um exemplo desta técnica de AC é o OPAL (*Object, Process and Actor Modelling Language*) que é uma ferramenta de AC desenvolvida para o uso em um domínio particular: o planejamento da terapia do câncer, que é feito por meio de complexos planos de tratamento denominados protocolos. Ele dispõe de conhecimento sobre as principais drogas para o tratamento de câncer, sobre a química do sangue e de como interagem entre si. O conhecimento do OPAL permite reduzir a elicitação de conhecimento ao preenchimento de formulários. A ferramenta dispõe de editor gráfico para redes de transição usadas para capturar os desvios e as iterações dos planos de tratamento.

#### b) Baseadas no Reuso de Modelos

Segundo Rezende (2003) muitos construtores de SBC, representam o conhecimento de uma maneira fortemente influenciada pela aplicação em desenvolvimento, sem se preocupar se esse

conhecimento pode ser usado por outros sistemas.

A partir desta constatação, os esforços se direcionaram a promoção do reuso de conhecimento através da confecção de bibliotecas de componentes reusáveis de conhecimento e da disponibilização de seus elementos para a composição de bases de conhecimento. Tais componentes são projetados levando em conta o objetivo de serem reusados, em múltiplas aplicações, o que por um lado exige maior rigor e esforço, mas por outro permite que o mesmo conhecimento só necessite ser representado uma única vez. Esta técnica tornou-se ainda mais utilizada quando a aquisição começou a ser vista como um processo de modelagem do conhecimento (REZENDE, 2003).

Para exemplificar esta técnica Swartout *et al* (1999) cita o EXPECT que é uma ferramenta de AC que oferece uma biblioteca de métodos de resolução de problemas a partir dos quais um SBC pode ser construído. Permite também a adição e extensão dos métodos existentes. Cada método tem acoplado uma ontologia que define os termos usados no método.

Outro exemplo é a metodologia KADS - *Knowledge Acquisition and Design Structure* (WIELINGA *et al*, 1992) que tem evoluído no sentido de oferecer editores para os seus diversos tipos de modelos, e disponibilizar o uso de bibliotecas de componentes reusáveis (ontologias, métodos de resolução de problemas e procedimentos de inferência) e de indicar como utilizar estas ferramentas na construção do SBC.

O PROTÉGÉ-II (PUERTA *et al*, 1996) amplia a abordagem PROTÉGÉ desvinculando-a de um método específico de resolução de problemas e fornecendo várias ferramentas de apoio à construção de SBC's, dentre as quais um editor de ontologias, um mecanismo de configuração de componentes e, em particular, uma ferramenta chamada DASH, que permite a geração de um sistema de AC específico para um domínio, a partir de uma ontologia deste domínio.

Motta (1998) propõe um modelo flexível para organizar e utilizar bibliotecas de componentes reusáveis, baseando-se em um paradigma de busca para criar um modelo genérico de resolução de problemas que é instanciado com o conhecimento específico da aplicação e configurado a partir de bibliotecas de métodos, do domínio e de ontologias de tarefas.

### c) Baseada em Ontologias Reusáveis

Rezende (2003) afirma que: uma forma comum, de criar componentes reusáveis, é por meio da confecção e disponibilização de ontologias de carácter genérico. Ontologias genéricas descrevem conceitos e relações que podem ser usados em diferentes Bases de Conhecimento. Elas podem descrever conceitos bem gerais como espaço, tempo, matéria, objeto, evento e ação, os quais são independentes de um problema, domínio ou método em particular. Podem também descrever os conceitos relacionados a um domínio genérico como medicina, engenharia, finanças ou automóveis, ou relacionados a uma tarefa genérica como diagnóstico ou planejamento, ou mesmo relacionados a um método genérico como gerar-e-testar ou propor-e-revisar.

Para Rezende (2003), os conceitos e as relações de uma ontologia podem ser definidos em diferentes níveis de formalidade, variando desde definições altamente informais, em linguagem



natural, até definições rigorosas em linguagens formais, como a lógica de primeira ordem. Para Motta (1998), pode-se ainda usar linguagens especificamente projetadas para a descrição de ontologias, a mais conhecida dentre estas é a Ontolingua (GRUBER, 1993).

Em geral, quanto mais formal a ontologia, maior o potencial de reuso computacional. Ontologias formais podem ser incorporadas a bases de conhecimento diretamente, quando expressas na própria linguagem de representação do SBC, ou por meio do uso de tradutores automatizados. Contudo, apesar de alguns experimentos bem sucedidos e do grande potencial de reduzir o ciclo de desenvolvimento de SBC's, existem algumas dificuldades para tornar o reuso eficiente. As ontologias disponíveis não são gerais o bastante, para serem usadas com pouco esforço de adaptação, o que pode acarretar uma preferência por construir uma nova ontologia a reusar uma existente. Outro problema é que a integração de ontologias, pois elas podem possuir vocabulários e visões conflitantes do mundo. Ontologias também não podem ser estacionárias, pois necessitam evoluir com o tempo (REZENDE, 2003).

#### d) AC Baseada no Reuso do Método de Resolução de Problemas

Algumas ferramentas baseiam-se no reuso de métodos genéricos de resolução de problemas. Em contraste com o uso de *shells*, que fornecem uma forma de representação e um mecanismo de inferência bastante geral, estas abordagens oferecem uma seqüência abstrata de etapas que devem ser realizadas para resolver uma determinada classe de problemas. Embora esta técnica seja mais específica (só se aplica a problemas que apresentem as características necessárias para a execução eficiente do método), ela fornece mais elementos para reuso, direcionando e facilitando a aquisição (REZENDE, 2003).

Um exemplo desta metodologia é o MOLE, um sistema automatizado de AC para problemas de classificação heurística que possui a capacidade de tolerar informações imprecisas, capacidade de adicionar, refinar e corrigir a base de conhecimento. O método de resolução de problemas adotado é o generalizar-diferenciar (*cover-and-differentiate*). O MOLE extrai informações relevantes do especialista na construção de um solucionador de problemas heurístico, o sistema está habilitado para retirar a ambigüidade sobre a base de conhecimento, ou seja, quando existirem várias hipóteses que explicam um determinado conceito, o MOLE escolherá a melhor explicação e gradativamente refinará a base de conhecimento. É utilizado na área de diagnóstico de motores, problemas siderúrgicos e ineficiências em usinas termoelétricas (ESHELMAN *et al*, 1988).

#### e) AC Baseada em Técnicas Provindas da Psicologia

A experiência do especialista é muitas vezes baseada em sua percepção e intuição. Por isso, ele pode ter dificuldade em verbalizar a sua linha de raciocínio. Para sobrepor esse tipo de limitação da AC e conseguir extrair o modelo mental do especialista sobre o domínio do problema, algumas técnicas de elicitação foram desenvolvidas. Essas técnicas têm sua origem na psicologia e utilizam uma abordagem denominada entrevista de classificação. Os princípios e as teorias da psicologia têm

sido aplicados na AC manual. Contudo, algumas destas técnicas são bem estruturadas e podem ser auxiliadas por computador. O método mais conhecido, e que utiliza técnicas provindas da psicologia, é o de Análise de Grades de Repertório (AGR) ou em inglês, *Repertory Grid* (REZENDE, 2003).

A AGR é baseada em um modelo de raciocínio humano (KELLY, 1955) denominado Teoria de Construção Pessoal. Nessa teoria, cada pessoa é vista como um “cientista”, capaz de prever e controlar eventos, formando teorias, testando hipóteses e analisando resultados de experimentos. O conhecimento e a percepção sobre o mundo (um domínio ou problema) são classificados e categorizados pelo indivíduo, formando um modelo de percepção pessoal. Baseado nesse modelo, cada pessoa é capaz de antecipar situações e atuar sobre essas antecipações. O modelo pessoal descreve o desenvolvimento e o uso do conhecimento do especialista em trabalho e é passível de ser implementado em um SBC (CARVALHO, 1995).

O sistema AQUINAS é um exemplo de ferramenta que entrevista especialistas utilizando o método de AGR. Primeiro, a ferramenta solicita ao especialista identificar soluções para o seu problema. Em seguida, a ferramenta pede que considere os atributos importantes para a sua tomada de decisão. Depois, para cada atributo é solicitado estabelecer uma escala bipolar, ou seja, uma escala com dois valores de atributos opostos. Finalmente, a ferramenta solicita ao especialista atribuir valores de 1 a 5 para cada atributo das soluções dentro de sua respectiva escala bipolar. O resultado fica registrado em uma grade de pontuações. Essa grade pode ser usada para recomendar, em situações nas quais é conhecida a importância de cada atributo, qual a melhor solução. O sistema AQUINAS é um sistema automatizado híbrido de aquisição e representação do conhecimento. Possui vários métodos para gerenciar a incerteza com diferentes ferramentas que modelam as tarefas básicas de AC e comparam o conhecimento de diferentes especialistas. A representação do conhecimento é através de regras de produção. Este sistema é utilizado pela Boeing desde 1983 (BOOSE e BRADSHAW, 1988).

#### f) Indução de Regras e Árvore de Decisão

A indução de regras se refere à detecção de tendências dentro de grupos de dados, ou de regras sobre os dados. As regras são, então, apresentadas aos usuários como uma lista “não encomendada”. A tradução das regras para um modelo aproveitável é feita pelo usuário ou por uma interface de árvore de decisão (REZENDE, 2003).

As árvores de decisão são uma evolução das técnicas que apareceram durante o desenvolvimento das disciplinas de aprendizado de máquinas. Elas cresceram a partir da aproximação de uma análise chamada Detecção de Interação Automática (DIA), desenvolvida na Universidade de Michigan. Essa análise tem a finalidade de realizar testes automáticos, com todos os valores do atributo, para identificar aqueles que são fortemente associados com o item de saída selecionado para o exame. Esses testes são realizados com o cálculo da entropia, que é um método bastante utilizado para a construção de árvores de decisão, pois revela o grau de desorganização de um atributo em relação ao item de saída. Os valores encontrados com forte associação são os

prognósticos chaves ou fatores explicativos, também chamados de regras sobre o dados. As árvores de decisão são utilizadas quase sempre em conjunto com a indução de regras, apresentando os resultados da indução de regras num formato com priorização. Logo, a regra mais importante é apresentada na árvore com o primeiro nó e as regras menos relevantes são representadas como nós subsequentes (REZENDE, 2003).

g) Knowledge Discovery in Data Base (KDD)

A Extração de Conhecimento de Bases de Dados ou o termo em inglês Knowledge Discovery in Data Base (KDD), como é mais utilizado, foi criado em 1989 para se referir ao amplo processo de descoberta de conhecimento em dados e, para enfatizar a aplicação de “alto nível” do método particular de Mineração de Dados (*Datamining*). O termo Mineração de Dados era usado, em geral, pelos estatísticos, analistas de dados e a comunidade de gerenciamento de sistemas de informação, ao passo que KDD era mais usado pelos pesquisadores em IA e Aprendizado de Máquina. O KDD mostra-se como uma ferramenta semi-automática que possibilita a análise de grandes conjuntos de dados, propondo-se como o descobridor de informação útil a partir de grandes bases de dados. A informação descoberta pode ser representada por regras, descrevendo propriedades dos dados, padrões que ocorrem freqüentemente, agrupamento de objetos na base de dados, etc... (FERNANDES, 2003).

O processo de KDD tem o objetivo de encontrar conhecimento a partir de um conjunto de dados para ser utilizado em um processo decisório. Portanto, um requisito importante é que esse conhecimento descoberto seja compreensível a humanos, além de útil e interessante para os usuários finais do processo, que geralmente são tomadores de decisão, de forma que ele forneça um suporte a esses usuários no processo de tomada de decisão. KDD é o processo de identificação de padrões válidos, novos, potencialmente úteis e compreensíveis embutidos nos dados (REZENDE, 2003). A Figura B.7 ilustra o processo KDD, que se caracteriza pelos seguintes passos (FERNANDES, 2003):

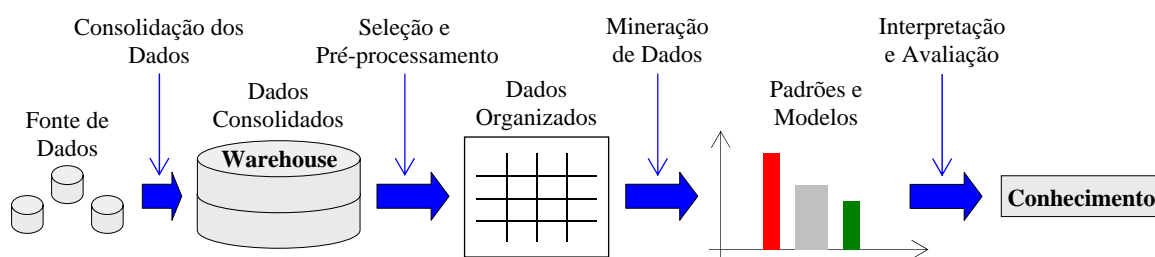


Figura B.7 – O Processo KDD.  
Fonte: adaptado de FERNANDES, 2003.

- Compreensão do domínio: é um pré-requisito para se extrair qualquer conhecimento útil, ou seja, o usuário de um sistema KDD deve ter uma certa compreensão sobre a área de aplicação antes que qualquer informação de valor possa ser obtida;
- Organização do conjunto de dados: também conhecida como Armazenamento de Dados ou *Datawarehouse*, envolve a seleção da fonte de dados, a integração dos dados heterogêneos, a

limpeza dos erros nos dados, a avaliação do ruído, o tratamento dos valores perdidos, etc...;

- Descoberta dos padrões: é o passo em que os padrões freqüentes e de interesse são levantados a partir dos dados.

#### h) AC Baseada em Aprendizado de Máquina

O objetivo desta técnica segundo Rezende (2003) é desenvolver métodos computacionais automáticos para AC. Um estudo mais aprofundado desta metodologia, pode ser visto em Carvalho (1995), que cita as seguintes abordagens para efetivá-la: Aprendizagem por Memorização, Aprendizagem por Aconselhamento, Aprendizagem por Indução, Aprendizagem por Explicações, Aprendizagem por Descoberta, Aprendizagem por Analogia e Aprendizagem por Redes Neurais.

### B.4 REPRESENTAÇÃO DO CONHECIMENTO (RC) – TÉCNICAS

#### a) Representação Lógica

A lógica matemática é uma linguagem formal. Diferentemente de linguagens naturais nas quais as regras gramaticais são imprecisas, nas linguagens formais sempre se pode dizer se uma seqüência de símbolos está de acordo com as regras para a construção de expressões (fórmulas) da linguagem (REZENDE, 2003).

A lógica matemática possui várias regras sintáticas de dedução, isto é, formas de realizar inferências dedutivas exclusivamente a partir do formato sintático das expressões da linguagem, sem se basear em quaisquer idéias extras ou intuitivas. O termo dedução automática refere-se ao comportamento de qualquer programa de computador que realiza inferências dedutivas a partir das leis da lógica matemática (RICH, 1993).

Existem vários tipos de lógicas usadas para a realização de dedução automática. O cálculo proposicional é a mais simples delas porque baseia-se apenas na existência de constantes e no uso de operadores lógicos. Contudo o cálculo proposicional apresenta várias limitações. Para isso, é necessário usar o cálculo de predicados ou lógica de primeira ordem. A lógica de primeira ordem possui um grande potencial expressivo para a RC e tem sido o instrumento preferido para a formalização do conhecimento durante o processo de desenvolvimento de um SBC. Várias extensões da lógica matemática, dentro da área de dedução automática, têm sido estudadas, tais como: lógicas não monotônicas, modais, temporais e descritivas. Essas extensões tornam o uso da lógica, mais adequado e fácil em determinados contextos (REZENDE, 2003).

#### b) Redes Semânticas

Uma rede semântica é um grafo rotulado e direcionado formado por um conjunto de nós representando os objetos (indivíduos, coisas, conceitos, situações em um domínio) e por um

conjunto de arcos representando as relações entre os objetos. Um arco é rotulado com o nome da relação que ele representa. Vários arcos podem ter o mesmo rótulo, entretanto cada objeto é representado por apenas um nó (RICH, 1993).

Objetos complexos muitas vezes podem ser decompostos em objetos mais simples. Essas decomposições produzem dois tipos de relações, ilustradas na Figura B.8:

- é um ou classe-de (*is-a*): as relações entre os objetos estão em uma taxonomia hierárquica;
- tem parte ou faz-parte (*part-of*): as relações objetos obedecem a um tipo de composição, ou seja, um objeto é componente de outro, não havendo nenhum tipo de herança.

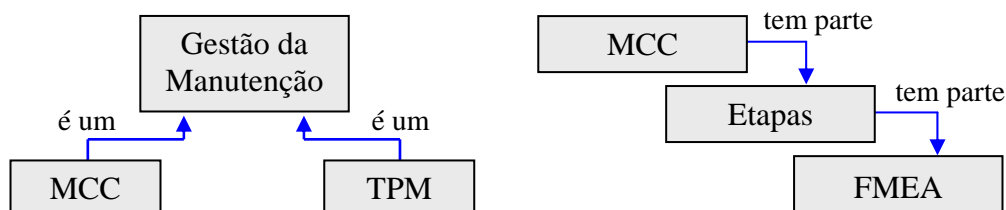


Figura B.8 – Exemplo de Redes Semânticas: Tipo é um e tem parte.

Fonte: do Autor.

Uma das propriedades mais importantes dessas relações é a transitividade, pois permite uma declaração concisa de propriedades nos objetos mais gerais. Mecanismos de inferência podem, então, ser utilizados para derivar essas propriedades para os objetos mais específicos. Esse procedimento é denominado Herança de Propriedades (REZENDE, 2003).

Um dos atrativos das redes semânticas como forma de RC é a possibilidade de visualização gráfica das estruturas de conhecimento e suas relações. Porém, muitas vezes, as representações gráficas impõem limitações expressivas que podem restringir o uso deste tipo de linguagem (REZENDE, 2003).

### c) *Frames*

Os *Frames* ou quadros, e sua variação, os roteiros ou *scripts*, foram introduzidos para permitir a expressão das estruturas internas dos objetos, mantendo a possibilidade de representar herança de propriedades como as redes semânticas. O *frame* é um termo usado para designar um agrupamento de conhecimentos relevantes a uma coisa, um indivíduo, uma situação ou um conceito. O *frame* possui um nome que identifica o conceito por ele definido e consiste de um conjunto de atributos, chamados *slots* (BITTENCOURT, 2001). Em geral, um *frame* consiste em um conjunto de atributos que, através de seus valores, descrevem as características do objeto representado pelo *frame*. Os valores atribuídos a estes atributos podem ser outros *frames*, criando uma rede de dependências entre os mesmos. Os *frames* são também organizados em uma hierarquia de especialização, criando uma outra dimensão de dependência entre eles. Os atributos também apresentam propriedades, que dizem respeito ao tipo de valores e às restrições de número que

podem ser associados a cada atributo. Essas propriedades são chamadas facetas (BITTENCOURT, 2001). A Figura B.9 mostra um exemplo de uma representação utilizando *frame*.

<i>Frame</i> : Compressores Volumétricos		<i>Super Frame</i> : Compressor	
Atributos	<i>Default</i>	Tipo	Observação
Número de Câmaras de Compressão	2	Número	
Número de Cilindros	2	Número	
Finalidade	Comprimir Gás	Símbolo	

↑ é um

<i>Frame</i> : Compressor Alternativo		<i>Super Frame</i> : Compressores Volumétricos	
Atributos	<i>Default</i>	Tipo	Observação
Partes	Pistão, Eixo, Biela	Lista de Símbolos	
Número de Estágios	2	Número	
Modo de Refrigeração	Ar	Símbolo	

Figura B.9 – Exemplo de *Frames*.

Fonte: do Autor.

Da representação mostrada na Figura B.9, pode-se concluir que um Compressor Alternativo é um tipo de Compressor Volumétrico, normalmente com 2 câmaras de compressão, 2 cilindros e tem a finalidade de comprimir gás, e possui alguns partes específicas um determinado número de estágios e um modo de refrigeração. As facetas dos atributos especificam os tipos de valores esperados e, se for o caso, procedimentos adequados para calcular o valor do atributo (campo observação).

Segundo Bittencourt (2001), da mesma maneira que as redes semânticas, os sistemas baseados no método de *frames* não são um conjunto homogêneo, no entanto, algumas idéias fundamentais são compartilhadas por estes sistemas. Uma dessas idéias é o conceito de herança de propriedades, o que permite a especificação de propriedades de uma classe de objetos através da declaração de que esta classe é uma subclasse de outra que goza da propriedade em questão. A herança pode ser um mecanismo de inferência muito eficiente em domínios que apresentem uma taxonomia natural de conceitos. Outra idéia comum aos sistemas baseados em *frames* é o raciocínio guiado por expectativas. Um *frame* contém atributos, e estes atributos podem ter valores típicos. Ao tentar instanciar um *frame* para que corresponda a uma dada ocorrência, o processo de raciocínio deve tentar preencher os valores dos atributos do *frame* com as informações disponíveis na descrição da ocorrência. Com esta característica o processo de raciocínio, sabe o que procurar para completar a informação necessária, e caso esta não esteja disponível, que valores pode tentar imputar aos atributos não preenchidos. Além dos valores *default*, um atributo pode ser associado a um procedimento, que deve ser executado quando certas condições forem satisfeitas, por exemplo: ao ser criado o atributo, ao ser lido o valor do atributo, ao ser modificado o valor do atributo, ou ao ser destruído o valor do atributo.

#### d) Objeto-Atributo-Valor

Conforme Durkin (1994), além das relações entre objetos, como redes semânticas, há situações que requerem uma descrição das características do objeto por meio de fatos. Estes fatos são declarações de um valor para um atributo particular do objeto. Este tipo de fato é conhecido como tríade Objeto-Atributo-Valor (OAV). A representação tríade OAV divide uma dada

declaração em três partes distintas: objeto, atributo e valor. O objeto representado em uma tríade OAV pode ser um item físico, tal como uma bomba ou válvula, ou um item abstrato tal como falha ou defeito. Atributo é uma característica do objeto que é importante no domínio do problema. O valor especifica a designação do atributo. O valor pode ser booleano, numérico ou não numérico. Normalmente os objetos a serem representados em um SBC apresentam mais de uma característica relevante. Nestas situações mais de um atributo com seus valores correspondentes caracterizam um objeto. Um exemplo é considerar a falha como objeto com seus atributos e valores, conforme mostrado na Tabela B.2. A representação OAV é útil para modelar as condicionais a serem combinadas com os fatos premissas, de uma regra.

Tabela B.2 – Exemplo de Representação Objeto – Atributo – Valor (OAV).

Fonte: do autor.

<b>Objeto</b>	<b>Atributo</b>	<b>Valor</b>
Falha	Modo	Pressão Alta na Descarga da ECOMP
Falha	Efeitos	1) Pressão alta a jusante da ECOMP 2) Desligamento da ECOMP
Falha	Causas internas	1) Falha na Válvula do Coletor de Descarga 2) Falha no Compressor
Falha	Componente de origem	Compressor
Falha	Tipo de comprometimento	Envolve segurança pessoal
Falha	Condições Monitoráveis	Desgaste, Quebra, Pressão, Vazão

#### e) Ontologias

De acordo com Chandrasekaran *et al* (1999), as teorias sobre inteligência artificial podem ser classificadas em duas grandes categorias: as teorias dos mecanismos e as teorias do conteúdo. As ontologias são teorias do conteúdo com relação às classes de objetos, às propriedades dos objetos e às relações dos objetos que são possíveis dentro de um domínio específico do conhecimento. Elas fornecem termos potenciais para descrever o conhecimento sobre o domínio.

Uma ontologia é uma descrição formal e explícita dos conceitos em um domínio de discurso (classes, às vezes chamadas de conceitos), propriedades de cada conceito descrevendo várias características e atributos do conceito (*slots*, às vezes chamados de papéis ou propriedades), e restrições sobre *slots* (facetas, às vezes chamadas de restrições do papel). Uma ontologia junto a um jogo de instâncias individuais e classes constitui uma base de conhecimento. Na realidade, é difícil demarcar onde termina uma ontologia e começa a base de conhecimento (CHANDRASEKARAN *et al*, 1999).

Em termos práticos, o desenvolvimento de uma ontologia inclui: definir as classes na ontologia, dispor as classes numa hierarquia taxonômica (subclasses - superclasses), definir os *slots*, descrever valores permitidos e preencher os mesmos com os valores para as instâncias (CASTILLO, 2003).

Uma das ferramentas para RC que utiliza ontologias para RC é o Protégé, que dispõe de uma interface gráfica, baseada em janelas, que permite ao usuário construir uma ontologia do domínio, formatar formulários para aquisição do conhecimento e então completar com o conhecimento do domínio. Sua plataforma pode ser estendida com outros programas aplicativos, adicionando capacidade de gerar diagramas gráficos das ontologias criadas e executar diretamente

em seu ambiente arquivos de regras para linguagens como o JESS (uma extensão do CLIPS para Java) que utiliza a base de conhecimento criada no Protégé. Podemos, então, criar uma base de conhecimentos definindo instâncias individuais destas classes, preenchendo a informação específica do valor dos *slots* e as restrições adicionais dos mesmos (CASTILLO, 2003).

O editor de ontologia Protégé permite uma integração do domínio de uma ontologia de classes descrevendo um tema determinado, a criação de uma ferramenta de AC para coletar o conhecimento, a entrada de instâncias específicas de dados e a criação de uma base de conhecimento, e finalmente a execução de aplicações. A ferramenta para a AC é desenhada para ser específica ao domínio, permitindo aos peritos do domínio estabelecer de maneira fácil e natural a base de conhecimento da área. O Protégé foi projetado para guiar os desenvolvedores e especialistas de domínio no processo de desenvolvimento do sistema, permitindo aos mesmos reutilizar as ontologias e os métodos para a resolução de problemas, encurtando o tempo requerido para isto (PROTÉGÉ, 2005).

## B.5 VERIFICAÇÃO E VALIDAÇÃO DE SBC

Historicamente, os primeiros critérios de avaliação, para descrever as características de qualidade desejáveis nos SBC's foram fornecidas por Gaschnig *et al* (1983) e serviram de base para avaliação dos primeiros SBC's e também, para trabalhos recentes que procuraram definir características de qualidade para os SBC's. Liebowitz (1988) propõe critérios para avaliação da qualidade de SBC's objetivando atualizar os conceitos de qualidade para SBC's reunindo as características propostas por Boehm *et al* (1978), para softwares convencionais e Gaschnig *et al* (1983), para SBC's. Marcot (1987) propõe critérios para a avaliação da base de conhecimento e fornece uma lista extensiva de critérios de validação e do porque a base de conhecimento deve ser validada. Guida e Spampinato (1989) desenvolveram um conjunto detalhado dos critérios para avaliar a adequação dos SBC's em domínios críticos. Estes critérios foram elaborados para avaliar a estrutura interna do SBC durante seu ciclo de vida. Mais recentemente, a pesquisa em critérios de qualidade para os SBC's começou a dirigir-se também para a qualidade do processo do desenvolvimento Giarratano e Riley (1998) desenvolveram uma lista dos critérios que abrangem características do processo de desenvolvimento e do produto de software, estes critérios, referidos como métricas, incluem características tais como manutenibilidade, portabilidade e compreensão do código, que refletem como o produto de software foi projetado e executado, isto é, seu processo de desenvolvimento. A verificação e a validação são atividades complementares, necessárias para avaliar e assegurar a qualidade dos SBC's (SMITH e KANDEL, 1993).

A validação determina a eficácia do sistema final com relação às necessidades do usuário final e ao mesmo tempo avalia se o SBC executa a tarefa desejada com um nível suficiente de perícia. A validação analisa as exigências explícitas e implícitas do sistema. As exigências explícitas são aquelas definidas na fase de planejamento e especificação do SBC, e que necessitam ser confirmadas e testadas. Nesta etapa valem os preceitos das normas para softwares convencionais ISO/IEC 9126 ou NBR 13596. As exigências implícitas analisam a habilidade do SBC se equiparar



a um EH na resolução de suas tarefas, estas características são únicas dos SBC's e não são válidos os preceitos das normas para softwares convencionais. Nesta etapa, utilizando-se da análise dinâmica, as respostas do SBC são confrontadas com as respostas do EH ou com soluções de casos anteriores, buscando ratificar a acurácia do SBC (SMITH e KANDEL, 1993).

As atividades de verificação e validação devem estar presentes em todas as etapas de desenvolvimento do SBC. O julgamento do SBC por parte do EH deve ser isento de preconceitos ou receios, devendo ficar claro o fato do SBC tratar-se de uma ferramenta de apoio e não um substituto do EH. Para eliminar a subjetividade, ganhar tempo e evitar atividades tediosas, ferramentas automáticas podem ser utilizadas, tanto na etapa de verificação quanto na etapa de validação do SBC (SMITH e KANDEL, 1993). Vermesan e Bench (1995), descrevem diversas ferramentas para verificação e validação automática de SBC, entre elas destaca-se: KRUST - Knowledge Refinement Using Semantic Trees: faz um refinamento da base de regras tentando evidenciar possíveis falhas nas regras do SBC; COVADIS: é uma ferramenta específica para a shell MORSE que testa a inconsistência da base de regras; CONKRET - Control Knowledge Refinement Tool: testa a funcionalidade das metaregras; IN-DEPTH: ferramenta para verificação incremental de SBC's.

## B.6 MODELAGEM DO CONHECIMENTO

A transição do Projeto Orientado a Objetos para a Programação Orientada a Objetos nem sempre é bem definida, numa tentativa de definir uma forma padronizada e unificada de modelagem foi criado a UML (*Unified Modeling Language*). A UML é uma linguagem de modelagem visual que utiliza vários tipos de diagramas para auxiliar o analista e o projetista a documentar parte ou todo o processo de software. Cada diagrama é uma apresentação gráfica de uma coleção de elementos de modelagem (símbolos gráficos), freqüentemente relacionados por arcos e vértices (relacionamentos), que ilustram partes distintas do software. Alguns desses diagramas são: diagrama de caso de uso, diagrama de classe, diagrama de seqüência, diagrama de colaboração, e diagrama de implantação (SOMMERVILLE, 2004 e PRESSMAN, 2004).

A UML possui também vários mecanismos que podem ser utilizados para facilitar a compreensão dos diagramas, como estereótipos, restrições e valores atribuídos. Esses mecanismos também podem ser utilizados para estender a sintaxe e a semântica da linguagem, possibilitando a criação de novos elementos de modelagem e notações. A grande vantagem da UML com relação a outros métodos é que ela não é um método em si, mas sim, uma linguagem para representação de um sistema e pode ser aplicada de maneira independente em todas as fases do processo de desenvolvimento de software. Por se tratar de uma linguagem, a transição entre as fases de análise, projeto e codificação é natural, rápida, complementar e sem ambigüidade. Em UML, um sistema é representado por cinco “visões” diferentes, cada qual definida por um conjunto de diagramas (PRESSMAN, 2004):

- Visão de caso de uso: representa o sistema a partir da perspectiva do usuário;
- Visão de projeto: abrange as classes, interfaces e colaborações que definem o sistema como software;
- Visão de processo: representa os aspectos dinâmicos ou comportamentais do sistema;

- Visão de implementação: representa os componentes e arquivos utilizados para a montagem e fornecimento do sistema físico;
- Visão de implantação: representa o ambiente em que o sistema é executado (hardware e topologia).

Essas visões podem ser tratadas isoladamente, permitindo que os participantes do processo de desenvolvimento do software tratem aspectos específicos do sistema (PRESSMAN, 2004).

## B.7 CONFIABILIDADE DE SBC

Segundo Hollnagel (1989), a análise da confiabilidade de SBC deve levar em conta tanto a confiabilidade interna quanto a confiabilidade externa. A confiabilidade interna se ocupa das características intrínsecas do SBC: máquina de inferência, a representação do conhecimento, o tratamento de incertezas, etc. A confiabilidade externa se ocupa da interação com o usuário: a interface, a qualidade das respostas, etc. A confiabilidade externa depende claramente da confiabilidade interna, entretanto, mesmo que uma alta confiabilidade interna seja condição necessária para se obter alta confiabilidade externa, ela não é suficiente para garanti-la. Uma alta confiabilidade das partes individuais do SBC não produz necessariamente um bom resultado, o problema neste caso pode estar na desconfiança ou intolerância ao sistema, por parte do usuário.

Os SBC's são um poderoso instrumento para o manuseio de grandes quantidades de informação e conhecimento, características de sistemas complexos. Em função disso, os SBC's têm sido vistos como uma possível solução para o problema de redução do risco e aumento da confiabilidade durante o projeto, desenvolvimento e operação de sistemas, em razão do aumento da funcionalidade e performance proporcionadas. Estes aspectos são ratificados pelas seguintes características relacionadas aos SBC's (HOLLNAGEL, 1989):

- Aumentam o poder de raciocínio humano, em termos de complexidade e amplitude, auxiliando o usuário em situações de pressão e estresse;
- Aumentam a disponibilidade e a permanência do conhecimento, evitando perdas com ausências ou indisponibilidades do EH e reduzindo custos;
- Podem ajudar a reduzir a complexidade aparente do sistema através de interfaces amigáveis e explicação do raciocínio, podendo ser utilizado como tutor inteligente.
- Não são sensíveis a desvios de atenção ou esquecimentos, resultando, quando requisitado, em ações mais rápidas, completas, consistentes e imparciais;
- Em geral são mais eficientes que os EH no tratamento de incertezas e incompletudes do domínio, podendo incorporar múltiplas especialidades.

Paradoxalmente, apesar da alta confiabilidade dos SBC e de todas as vantagens citadas acima, os SBC's não representam uma solução universal para os problemas de análise, redução de riscos e ferramenta para aumento da confiabilidade de sistemas. O uso indiscriminado dos SBC's pode representar uma armadilha para o usuário desatento às limitações do SBC e em especial da base de conhecimento. Entre as principais limitações dos SBC's tem-se (HOLLNAGEL, 1989):

- Dificuldade de mapear conhecimento de senso comum, também chamado por alguns autores de conhecimento genérico;
- As respostas podem não estar sempre corretas. Existe também a possibilidade de que uma consideração mal feita se propague por todo o processo, gerando conclusões erradas;
- As técnicas de aprendizado de máquina ainda são limitadas, o que exige em muitos casos a presença do EC para aquisição e representação de novas porções de conhecimento além da manutenção do SBC;
- Os SBC's não possuem a criatividade inerente aos EH's na resolução de situações anormais e não modeladas na base de conhecimento.

Além dos aspectos citados acima, a confiabilidade dos SBC's é sensivelmente afetada pelo processo de aquisição e representação do conhecimento.

## B.8 FUZZYCLIPS COMO FERRAMENTA PARA DESENVOLVIMENTO DE SBC-FUZZY

Trabalhos envolvendo *SBC-Fuzzy* têm sido objeto de amplo estudo e interesse (LIEBOWITZ e WILCOX, 1997). Liebowitz (1988) destaca a tendência da utilização da teoria dos conjuntos *Fuzzy* em SBC's, principalmente em países como o Japão. Na Alemanha, as indústrias pesadas estão usando amplamente *SBC-Fuzzy* e obtendo excelentes resultados.

A análise da *shell FuzzyCLIPS (Fuzzy C Language Integrated Production Systems)* foi motivada devido ao fato de ser uma ferramenta pouco explorada no mercado e apresentar algumas facilidades na modelagem do raciocínio aproximado. Os principais benefícios derivados do uso de modelos *Fuzzy* em SBC's são:

- A capacidade de modelar problemas altamente complexos;
- Melhoria da modelagem cognitiva dos SBC's;
- Habilidade de modelar sistemas envolvendo vários especialistas;
- Redução da complexidade do modelo;
- Melhoria da capacidade de manipulação da "incerteza" e da "possibilidade" (COX, 1994).

O *FuzzyCLIPS* é uma *Shell* para desenvolvimento de SBC's baseados em Lógica *Fuzzy*. É uma versão estendida do *CLIPS 6.02 (software desenvolvido pelo Johnson Space Center — NASA, para desenvolvimento de Sistemas Especialistas)* e foi implementado pelo Laboratório de Sistemas de Conhecimento do *National Research Council*, no Canadá, para a representação e manipulação de fatos e regras *Fuzzy*. O *FuzzyCLIPS* modela o raciocínio exato, *Fuzzy*, e combinado, permitindo que termos *Fuzzy* e normais (*crisp*) sejam misturados livremente nas regras e fatos de um Sistema Especialista. A sua base de conhecimento está dividida em base de regras e base de fatos. As regras e fatos ficam armazenados em módulos independentes a fim de facilitar a manutenção do sistema.

A seguir são descritas as principais construções internas do *FuzzyCLIPS*, a forma de avaliação de regras, fator de certeza, métodos de desfuzzyficação e representação dos conjuntos *Fuzzy*. Apresenta-

se, ainda, as principais etapas de desenvolvimento de SBC's no FuzzyCLIPS e as limitações encontradas na linguagem. As principais construções internas no FuzzyCLIPS são (FERNANDES, 2001):

- Defglobal* → Define e inicializa as variáveis globais do sistema.
- Defemplate* → Define as variáveis linguísticas e seus respectivos conjuntos *Fuzzy*.
- Deffunction* → Define as funções criadas pelo usuário.
- Defrule* → Define as regras que são usadas pelo sistema.
- Deffacts* → Define os fatos que inicializarão o sistema.

A avaliação das regras no FuzzyCLIPS depende de vários fatores. Entre estes fatores destaca-se: as variáveis *Fuzzy* são encontradas ou não no antecedente ou consequente da regra; se uma regra contém múltiplos antecedentes ou consequentes; se um fato *Fuzzy* sendo declarado, tem a mesma variável *Fuzzy* que um fato *Fuzzy* já existente. Assim, o FuzzyCLIPS trabalha com dois tipos de regras: simples e compostas. A forma de avaliação das regras é realizada conforme descrito na Tabela B.3 (FERNANDES, 2001):

Tabela B.3 – Tipos de Regras no FuzzyCLIPS.  
Fonte: adaptado de FERNANDES, 2001.

Tipos de Regras	Antecedente	Consequente	Comentário
Simple	<i>Crisp</i>	<i>Crisp</i> ou <i>Fuzzy</i>	Apresenta antecedente <i>Crisp</i> , independente do consequente.
Simple	<i>Fuzzy</i>	<i>Crisp</i>	Apresenta antecedente <i>Fuzzy</i> e consequente <i>Crisp</i> .
Simple	<i>Fuzzy</i>	<i>Fuzzy</i>	Antecedentes e consequentes são <i>Fuzzy</i> .
Compostas	<i>Fuzzy</i> e <i>Crisp</i>	<i>Fuzzy</i>	Antecedente possui objetos <i>Crisp</i> e <i>Fuzzy</i> , porém, o consequente é <i>Fuzzy</i> .
Compostas	<i>Fuzzy</i> e <i>Crisp</i>	<i>Crisp</i>	Antecedente possui objetos <i>Crisp</i> e <i>Fuzzy</i> , porém, o consequente é <i>Crisp</i> .
Compostas	<i>Fuzzy</i> e <i>Crisp</i>	<i>Fuzzy</i> e <i>Crisp</i>	Antecedente possui objetos <i>Crisp</i> e <i>Fuzzy</i> , porém, o consequente é <i>Fuzzy</i> e <i>Crisp</i> .

No FuzzyCLIPS é possível estabelecer um valor limiar para o fator de certeza tal que uma regra será disparada somente se o seu valor de fator de certeza calculado é maior ou igual ao valor do limiar. Esta característica pode ser útil na prevenção de um encadeamento de regras com certeza muito baixa e pouca contribuição lógica a partir do disparo, aumentando a velocidade do tempo de execução. O padrão é não ter limiar do fator de certeza, e as regras serem disparadas como usuais. O cálculo do Fator de Certeza (FC) é:  $FC_{regra} \times \min(FC_1, \dots, FC_n)$ ; onde  $FC_{regra}$  é o FC para a regra e  $FC_i$  são os FC's para os fatos que unificam os  $n$  padrões no lado esquerdo de uma regra.

No FuzzyCLIPS, o usuário tem a opção de escolher entre COG (Centro de Gravidade) e MOM (Média dos Máximos) para desfuzzificar um conjunto *Fuzzy*. Para isto, basta usar uma das duas funções descritas à seguir.

- (moment-defuzzify ? variável)*;      centro de gravidade
- (maximum-defuzzify ? variável)*;      média dos máximos

Os conjuntos *Fuzzy* podem ser representados no FuzzyCLIPS através de quatro formas diferentes: notação *Singleton*, e números *Fuzzy* do tipo S, Z e P.

```

(deftemplate universe 0 10 (      ;declaração de variável linguística e limites do universo de discurso
  (ruim ( 0 0) ( 0 1) ( 1 1) ( 2 0)) ;termo primário “ruim” descrito na notação de Singleton
  (baixa ( 1 0) ( 2 1) ( 3 1) ( 4 0)) ;termo primário “baixa” descrito na notação de Singleton
  (boa ( 3 0) ( 4 1) ( 6 1) ( 7 0)) ;termo primário “boa” descrito na notação de Singleton
  (alta ( 6 0) ( 7 1) ( 8 1) ( 9 0)) ;termo primário “alta” descrito na notação de Singleton
  (ótima ( 8 0) ( 9 1) ( 10 1) ( 10 0)) ;termo primário “ótima” descrito na notação de Singleton
)) ;fim do deftemplate Fuzzy “universe”

```

Frequentemente é útil descrever uma função de pertinência usando um conjunto *Fuzzy* de uma das funções S, P ou Z. Os parâmetros destas funções podem ser escolhidos, dependendo da aplicação. Os nomes usados sugerem o formato das funções, mostradas no exemplo abaixo:

```

(deftemplate Tx “temperatura água” 5 65 Celsius
  ((frio (z 10 26))
  (ok (PI 2 36))
  (quente (s 37 60))

```

Para construir um SBC no FuzzyCLIPS, algumas etapas devem ser desenvolvidas:

Definição das Variáveis Globais: As variáveis que serão utilizadas por várias funções e módulos no sistema, bem como as variáveis manipuladas pelas funções de interface, devem ser definidas e inicializadas no início do programa através da construção *defglobal*.

Definição das Funções Criadas pelo Usuário: Todas as funções criadas pelo usuário ou EC para interface com usuário, cálculos, etc..., são definidas através da construção *deffunction* logo após a definição das variáveis globais.

Definição dos Conjuntos Fuzzy Utilizados pelo Sistema: Todas as variáveis linguísticas utilizadas no sistema tem seus conjuntos *Fuzzy* determinados através da construção *deftemplate*. Aqui também define-se o universo de discurso das variáveis linguísticas.

Regra de Startup: Este passo consiste em determinar a regra que iniciará a execução do programa. Esta regra é diferenciada das outras pela ausência de antecedente. Dentro do consequente desta regra deve constar os módulos onde se encontram as regras e as chamadas das funções a serem usadas durante a execução do sistema.

```

(defrule startup =>
  (load “teste1.clp”)
  ....)

```

Definição das Regras: As regras a serem utilizadas pelo sistema devem ser definidas através da construção *defrule*. Estas regras podem ser definidas no corpo do programa principal (se forem em pequeno número), mas geralmente são definidas em módulos separados, os quais são carregados pela regra de *startup*.

O FuzzyCLIPS não apresenta uma interface amigável. Para contornar esta situação, os programadores podem contar com a ferramenta o wxCLIPS, desenvolvida pelo AIAI – *Artificial Intelligence Applications Institute*, da Universidade de Edinburgh, Reino Unido, em 1994. O desenvolvimento de tal ferramenta foi motivado pela necessidade de suprir uma deficiência dos programas feitos em CLIPS ou FuzzyCLIPS, a interface do usuário. O wxCLIPS pode ser considerado em dois aspectos: uma biblioteca de funções CLIPS/FuzzyCLIPS, para acessar as

facilidades do wxWindows; e um ambiente de desenvolvimento de aplicações wxWindows, usando as funções CLIPS/FuzzyCLIPS. A biblioteca pode ser usada por qualquer programa C++; wxCLIPS é então, uma simples interface de desenvolvimento para Windows que usa a biblioteca de funções CLIPS/FuzzyCLIPS. O wxCLIPS possui um ambiente de desenvolvimento básico, que consiste em uma janela com menus, uma janela para entrada de dados e uma janela para os textos de saída. Durante a compilação dos programas, as mensagens de erro são escritas na janela de saída. Usando o wxCLIPS, pode-se criar *frames*, cada um com seus próprios menus. Dentro de um *frame* pode-se criar uma ou mais subjanelas. Estas sub-janelas podem ser *panels*, *canvases* e subjanelas de texto. *Panels* são usados para conter os *panel items*, tais como botões, itens para entrada de texto, *box* de listas, etc... O *box* de diálogo é uma forma especial de *panel*, que contem seu próprio *frame*, sendo assim, ao invés de criar um *frame* e um *panel*, basta criar um *box* de diálogo e inserir os *panel items* necessários. *Canvases* são usados para desenhar figuras com qualquer formato. As subjanelas de texto são usadas para exibir arquivos texto ou editar os programas. Não há necessidade de criar um *box* de diálogo ou manipular todos os botões, e outros eventos manualmente. Há um certo número de funções que desempenham todas estas tarefas, tais como: get-text-from-user, message-box, get-choice, fíle-selector, etc... Tais funções bloqueiam o fluxo de execução do programa no ponto onde foram chamadas, até que o usuário responda às solicitações. A Figura B.10 exibe algumas das opções de interface que o wxCLIPS fornece.

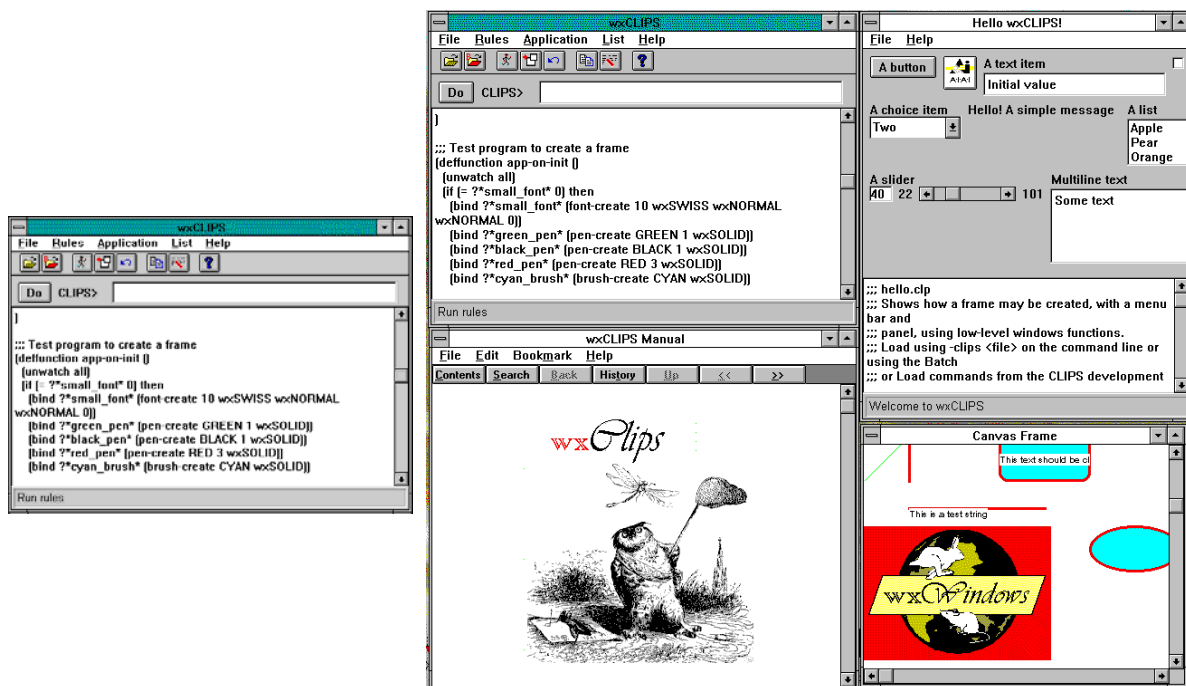


Figura B.10 – Exemplos de Interfaces do wxCLIPS.

Fonte: adaptado de FERNANDES, 2001.

Há uma única função obrigatória a todos os programas que são executados no wxCLIPS: *app-on-init*. Se uma aplicação define uma função com este nome, a interface wxCLIPS do usuário pode inicializar a aplicação e estabelecer todas as variáveis de ambiente, arquivos e funções que serão usadas no decorrer da execução.

# APÊNDICE C

## QUESTIONÁRIOS

Apresenta os Questionários utilizados para Aquisição de Conhecimento e  
Validação do DALF-MCC

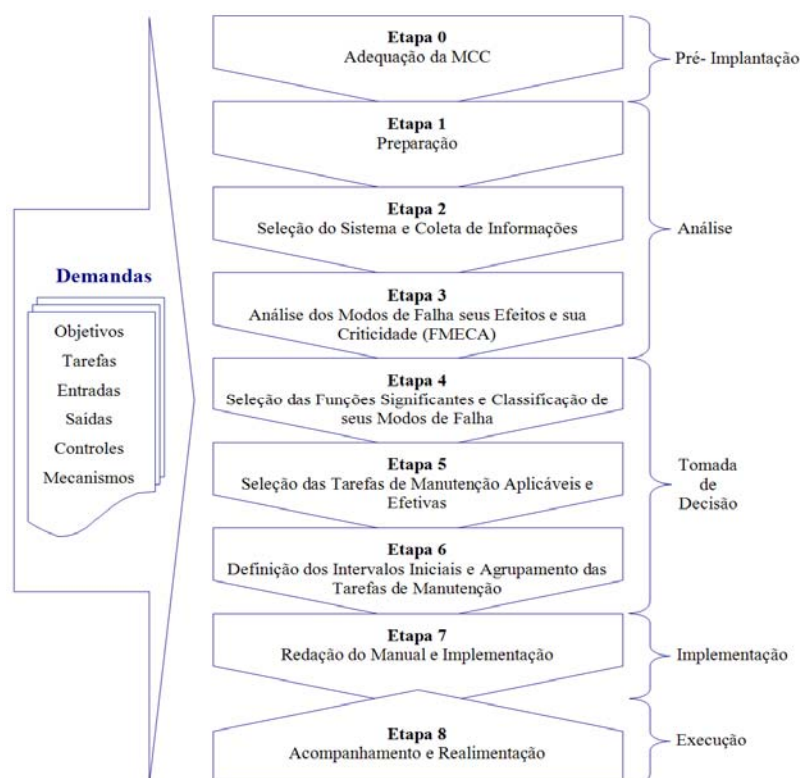






### Questionário para Aquisição de Conhecimento

As respostas às questões abaixo servirão para nortear o desenvolvimento de um Sistema Baseado em Conhecimento (SBC) *Fuzzy* para auxiliar a implantação e a auditoria da MCC, ponderando as características e objetivos da empresa, as necessidades da planta e os fatores críticos para o sucesso de um programa de MCC. O objetivo é minimizar os riscos de insucesso da MCC ao longo de todo o seu ciclo de vida. Para os problemas apresentados pela empresa/sistema o SBC *Fuzzy*, sempre que possível, apontará soluções que contornem tais problemas, tentando desta forma minimizar os fatores de insucesso. As questões abaixo foram elaboradas com base na Figura abaixo.



#### Procedimentos de Referência para Implantação da MCC.

**Rigoni:** Existe uma Etapa de Pré-Implantação onde é verificada e ratificada a Adequação da MCC para aquela determinada empresa/sistema?

**Iony:** A metodologia MCC em princípio aplica-se a qualquer empresa/sistema, variando apenas o nível e estratégia de implantação. O nível e estratégia de implantação são definidos nas etapas de identificação das instalações, sistemas e funções que serão avaliados. Estes itens podem variar desde equipamentos isolados com seus sistemas e funções internas, até empresas inteiras, com seus macro sistemas e macro funções.



**Rigoni:** Para evitar problemas ao longo de todo o ciclo de vida da MCC, quais as características/atributos que a empresa/sistema deveria ter antes de iniciar os procedimentos de implantação?

**Iony:** Duas características são necessárias para o sucesso da implantação da MCC: (a) know-how interno ou contratado para suportar a metodologia; e (b) clara definição prévia dos objetivos e níveis de aplicação da metodologia.

**Rigoni:** Quais os procedimentos de preparação para a implantação da MCC que deveriam ser observados para não causar transtornos para a equipe de implantação? Quais as soluções para estes problemas? Se for possível e/ou aplicável, como um *SBC-Fuzzy* poderia auxiliar este processo?

**Iony:** É indispensável a definição, por parte da gestão da empresa, de um patrocinador interno à organização com poder de mobilização dos recursos necessários. Para isto, é necessário a aprovação, pela organização, de um plano de implantação da MCC, constando no mínimo da alocação de recursos, orçamentação, objetivos, metas, cronograma, etc. Um sistema Fuzzy poderia ser estruturado para sugerir este plano, através de questões objetivas dirigidas ao decisor da empresa.

**Rigoni:** Quais os problemas que comumente aparecem durante a Etapa de Seleção do Sistema e Coleta de Informações? Quais as soluções para estes problemas? Se for possível e/ou aplicável, como um *SBC-Fuzzy* poderia auxiliar este processo?

**Iony:** O erro grave na seleção do sistema e coleta de informações seria selecionar uma instalação ou sistema para o qual a equipe não tem conhecimento ou disponibilidade de recurso para conduzir a análise. A análise criteriosa e o dimensionamento prévio dos recursos garantirão o sucesso desta etapa. Um sistema Fuzzy que contivesse regras de identificação e dimensionamento de recursos montadas por especialistas em MCC poderia ajudar a evitar estes problemas.

**Rigoni:** Quais os problemas que comumente aparecem durante a Etapa de Análise dos Modos de Falha seus Efeitos e sua Criticidade (FMECA)? Quais as soluções para estes problemas? Se for possível e/ou aplicável, como um *SBC-Fuzzy* poderia auxiliar este processo?

**Iony:** Um erro comum na etapa de FMEA é o aprofundamento da análise de modos e causas de falha além do necessário para a definição de uma política de manutenção. É comum o especialista no processo desejar identificar a causa profunda do modo de falha, na tentativa de mudar o projeto para



eliminá-la definitivamente. Isto muda o foco do FMEA da manutenção para o projeto, desvirtuando os objetivos da análise. Um sistema Fuzzy que contivesse regras para delimitar o nível de detalhamento da FMEA, montadas por especialistas em MCC, poderia ajudar a evitar estes problemas.

**Rigoni:** Quais os problemas que comumente aparecem durante a Etapa de Seleção e Caracterização das Funções Significantes? Quais as soluções para estes problemas? Se for possível e/ou aplicável, como um SBC-*Fuzzy* poderia auxiliar este processo?

**Iony:** O erro mais comum na etapa de Etapa de Seleção e Caracterização das Funções Significantes é o esquecimento da função do usuário na escolha da função. A este cabe a decisão sobre a significância da função, e não ao mantenedor. É comum o especialista no processo julgar que pode identificar a função significativa de um sistema sem ouvir a opinião do usuário ou proprietário. Um sistema Fuzzy que contivesse questões específicas para o usuário sobre a significância das funções poderia ajudar a evitar estes problemas.

**Rigoni:** Quais os problemas que comumente aparecem durante a Etapa de Seleção das Tarefas de Manutenção Aplicáveis e Efetivas? Quais as soluções para estes problemas? Se for possível e/ou aplicável, como um SBC-*Fuzzy* poderia auxiliar este processo?

**Iony:** Um erro comum na etapa de Etapa de Seleção das Tarefas de Manutenção Aplicáveis e Efetivas é escolha de uma atividade motivada pela disponibilidade de competência e recursos na empresa para sua execução, sem considerar a necessidade ou justificativa para prevenir ou remediar um modo de falha. A associação correta do mecanismo de falha com as potencialidades e custo/benefício da atividade recomendada deve guiar o processo de escolha. Um sistema Fuzzy que contivesse questões específicas para o usuário sobre a aplicabilidade e efetividade de cada atividade sugerida poderia ajudar a evitar estes problemas.

**Rigoni:** Quais os problemas que comumente aparecem durante a Etapa de Definição dos Intervalos Iniciais e Agrupamento das Tarefas de Manutenção? Quais as soluções para estes problemas? Se for possível e/ou aplicável, como um SBC-*Fuzzy* poderia auxiliar este processo?

**Iony:** Na Etapa de Definição dos Intervalos Iniciais e Agrupamento das Tarefas de Manutenção é possível que a empresa não possua dados ou know-how interno para escolher uma periodicidade ótima de forma matemática. Também é comum a ausência de um objetivo quantificável e claro do que será otimizado na manutenção. Na ausência de dados, pode-se implantar um processo de



exploração de idade, associado a um plano de coleta de informações sobre cada manutenção e modo de falha, e a definição precisa do objetivo da manutenção. Um sistema Fuzzy que contivesse métodos de otimização lingüística, com parâmetros difusos definidos por especialistas, poderia sugerir intervalos ótimos (no sentido difuso) de manutenção e evitar estes problemas.

**Rigoni:** Quais os problemas que comumente aparecem durante a Etapa de Redação do Manual e Implementação da MCC? Quais as soluções para estes problemas? Se for possível e/ou aplicável, como um SBC-*Fuzzy* poderia auxiliar este processo?

**Iony:** Na Etapa de Redação do Manual e Implementação da MCC é possível que a equipe responsável pela análise já tenha se dispersado, dificultando a elaboração do Manual. Um planejamento e gestão adequados do processo é a solução para este problema. É recomendável o uso de softwares especializados de MCC que publiquem automaticamente o manual depois de concluída a etapa de análise e decisão, e automaticamente integre as decisões tomadas ao sistema de gestão da manutenção (CMMS). Um sistema Fuzzy que contivesse regras de estruturação do manual, com parâmetros definidos por especialistas, poderia ajudar sugerir a estruturar o manual e evitar estes problemas.

**Rigoni:** Quais os problemas que comumente aparecem durante a Etapa de Acompanhamento e Realimentação do Programa de MCC? Quais as soluções para estes problemas? Se for possível e/ou aplicável, como um SBC-*Fuzzy* poderia auxiliar este processo?

**Iony:** Na Etapa de Acompanhamento e Realimentação do Programa de MCC é possível que a empresa não sistematize como rotina da manutenção, a re-análise de cada modo de falha não incluído na MCC. É recomendável o uso de softwares especializados de MCC que verifiquem automaticamente se cada modo de falha reportado na rotina da manutenção foi avaliado na MCC, reprogramando sua análise. Um sistema Fuzzy integrado ao software de MCC e ao de gestão da manutenção (CMMS), com regras de decisão sobre aprovação de cada modo de falha reportado, ou sua programação para análise pela MCC, poderia ajudar a evitar estes problemas.



### Questionário para Validação do DALF-MCC

#### METODOLOGIA PARA IMPLANTAÇÃO DA MANUTENÇÃO CENTRADA NA CONFIABILIDADE: uma abordagem fundamentada em Sistemas Baseados em Conhecimento e Lógica *Fuzzy*.

O objetivo deste questionário é validar a ferramenta computacional denominada DALF-MCC (Diagnóstico Auxiliado por Lógica *Fuzzy* para a Manutenção Centrada na Confiabilidade), a qual faz parte da metodologia proposta para avaliação dos pré-requisitos e auditoria das etapas de implantação da MCC.

Responda aos questionamentos marcando a alternativa que melhor expresse sua opinião sobre o quesito a ser avaliado e, se necessário, faça os comentários que julgar procedentes para validar a ferramenta proposta (DALF-MCC).

Para facilitar a análise, o presente questionário de validação foi dividido em 2 partes, a saber: i) análise da interface com o usuário e, ii) análise do processo de inferência, o qual inclui os questionamentos e respostas para o usuário, além dos aspectos gerais inerentes a aplicação e concepção do DALF-MCC.

#### Análise da Interface:

1. A Tela Início DALF-MCC esclarece adequadamente os objetivos do software?

Sim                       Não                       Parcialmente

Comentários:

2. A Tela Empresa do DALF-MCC, que serve para cadastramento da empresa, é clara, não suscitando dúvidas sobre seu preenchimento?

Sim                       Não                       Parcialmente

Comentários:

3. A Tela Parametrização *Fuzzy* do DALF-MCC é clara e possibilita a concepção de conjuntos *Fuzzy* adequados ao processo de inferência que se propõe estabelecer?

Sim                       Não                       Parcialmente

Comentários:



4. A Tela de Análise dos Pré-Requisitos e Auditoria do DALF-MCC possui interface amigável e intuitiva?

Sim       Não       Parcialmente

Comentários:

5. A Tela de Resultados e Conclusões do DALF-MCC apresenta os resultados da Análise de forma clara, objetiva e organizada?

Sim       Não       Parcialmente

Comentários:

6. A Tela Apoio a Implementação do DALF-MCC é clara e não levanta dúvidas, sobre como acessar, ou a utilidade das ferramentas apresentadas, para auxílio à implementação da MCC?

Sim       Não       Parcialmente

Comentários:

### **Análise do Processo de Inferência:**

1. O DALF-MCC abrange todas as etapas do processo de implantação da MCC?

Sim       Não       Parcialmente

Comentários:

2. Os Critérios e seus Quesitos avaliados em cada etapa, para análise dos pré-requisitos, refletem as reais necessidades de um processo de implementação da MCC?

Sim       Não       Parcialmente

Comentários:

3. Os Critérios e seus Quesitos avaliados em cada etapa, para sua auditoria, avaliam de forma correta a execução da etapa e refletem as reais exigências de um processo de auditoria da MCC?

Sim       Não       Parcialmente

Comentários:



4. O relatório final da análise apresenta de forma clara, objetiva, organizada e correta os resultados e conclusões do processo de inferência, apontando os fatores críticos para o sucesso do programa de MCC, tanto para o caso da avaliação dos pré-requisitos quanto para o caso da auditoria?

Sim                       Não                       Parcialmente

Comentários:

5. As informações presentes no relatório final da análise são suficientes para nortear o processo de melhoria interna da empresa/sistema, com o objetivo de aumentar sua aderência às necessidades da MCC?

Sim                       Não                       Parcialmente

Comentários:

6. O texto dos questionamentos e dos relatórios é claro, adequado e de fácil entendimento?

Sim                       Não                       Parcialmente

Comentários:

7. O texto do arquivo de ajuda (*help*) é claro, de fácil entendimento e contribui satisfatoriamente para a resolução das dúvidas?

Sim                       Não                       Parcialmente

Comentários:

### Aspectos Gerais:

1. O DALF-MCC avalia a empresa/sistema segundo uma abordagem holística, ou seja, envolvendo os aspectos técnicos e gerenciais que afetam a implantação da MCC?

Sim                       Não                       Parcialmente

Comentários:



2. As ferramentas propostas para a fase de implementação, sugeridas para as etapas 3, 4 e 5, são adequadas e podem auxiliar o processo de implementação das referidas etapas?

Sim       Não       Parcialmente

Comentários:

3. A aplicação do DALF-MCC, na fase anterior (análise de pré-requisitos) e posterior (auditoria) a implementação de cada etapa, pode fomentar o diálogo entre a equipe de implementação da MCC, na perspectiva de mudar sua atitude diante das práticas utilizadas?

Sim       Não       Parcialmente

Comentários:

4. Que procedimentos você sugere para facilitar a aplicação do DALF-MCC, ao longo do processo de implantação da MCC.

Comentários:

5. Em sua opinião, o DALF-MCC contribui com algo novo e que pode de fato auxiliar o processo de implantação da MCC?

Sim       Não       Parcialmente

Comentários:

**Para comentários adicionais utilize o verso ou folhas suplementares.**

**OBRIGADO PELA SUA COLABORAÇÃO**



# **APÊNDICE D**

## **INSTALAÇÃO E EXECUÇÃO DO DALF-MCC**

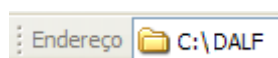
Apresenta os procedimentos para Instalação e Execução do DALF-MCC



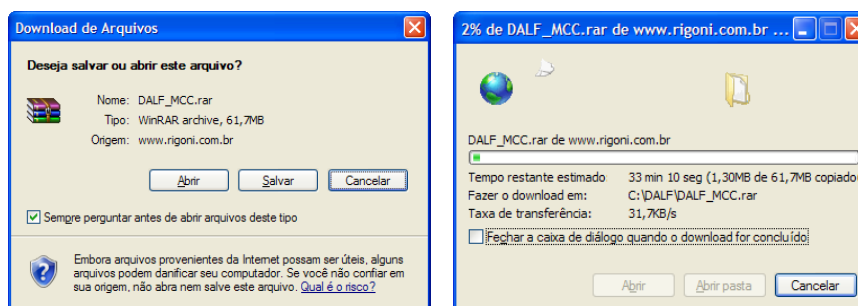
## Instalação do DALF-MCC

### Diagnóstico Auxiliado por Lógica *Fuzzy* para a Manutenção Centrada na Confiabilidade

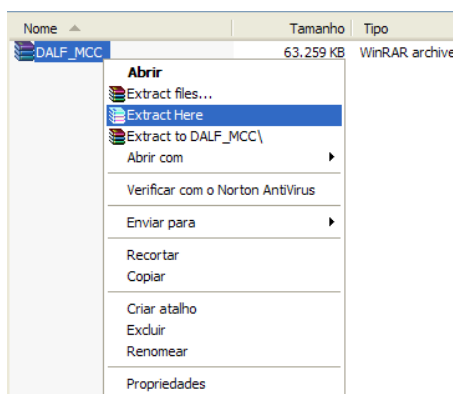
- 1) Crie um Diretório (Pasta) com o nome DALF no drive C:\ .



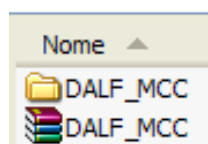
- 2) Faça o *download* do programa DALF-MCC, disponível em: [www.rigoni.com.br/DALF\\_MCC.rar](http://www.rigoni.com.br/DALF_MCC.rar) salvando, o mesmo, no Diretório (Pasta) criado em (1).



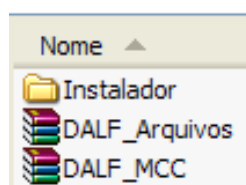
- 3) Descompacte o programa DALF-MCC, salvo conforme item (2), no Diretório (Pasta) criado conforme item (1). *Click* com o Botão Direito do Mouse sobre o Arquivo DALF\_MCC.rar e escolha a opção *Extract Here*.



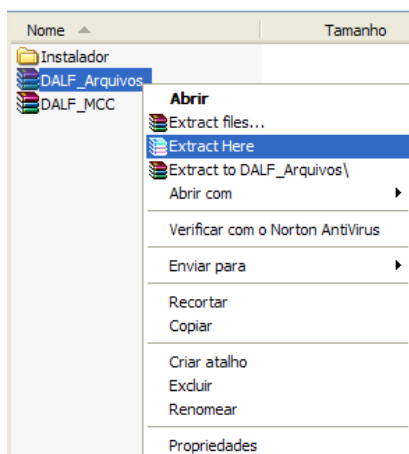
- 4) Após descompactar o Arquivo DALF\_MCC.rar o Diretório (Pasta) C:\DALF assume a configuração abaixo:



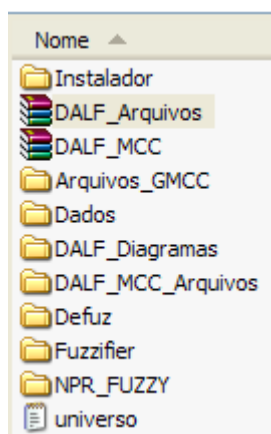
- 5) Transfira o conteúdo do Diretório (Pasta) DALF\_MCC para C:\DALF criado em (1). Após concluir esta operação *delete* o Diretório (Pasta) DALF\_MCC. Nesta etapa do processo o Diretório (Pasta) C:\DALF assume a configuração abaixo:



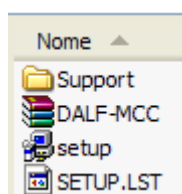
- 6) Descompacte o conteúdo de C:\DALF\DALF\_Arquivos.rar dentro do mesmo Diretório (Pasta) em que se encontra ou seja C:\DALF. *Click* com o Botão Direito do Mouse sobre o Arquivo DALF\_MCC.rar e escolha a opção *Extract Here*.



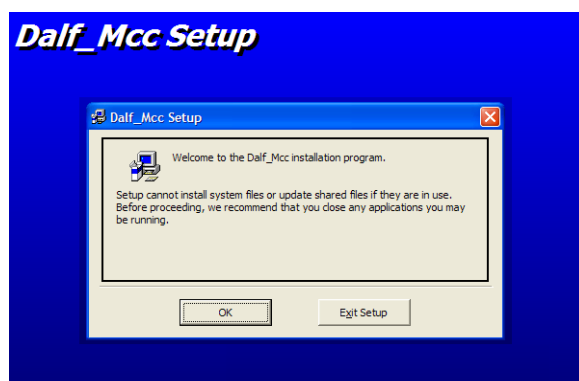
- 7) Nesta etapa do processo o Diretório (Pasta) C:\DALF assume a configuração abaixo:



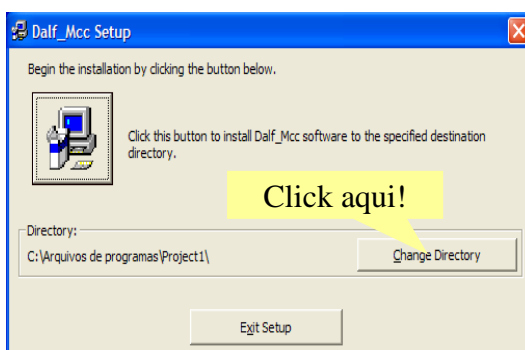
- 8) Execute o Arquivo setup.exe presente no Diretório (Pasta) C:\DALF\Instalador



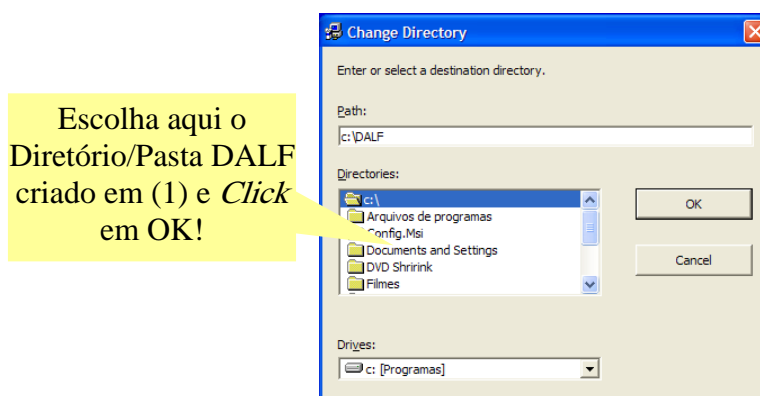
- 9) Na Tela que será exibida, conforme abaixo, *click* na Opção OK.



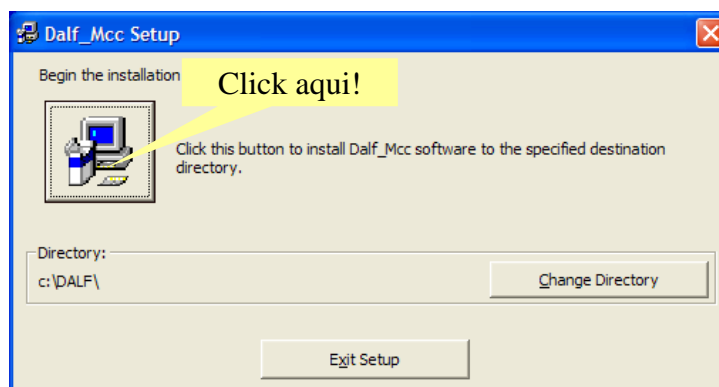
- 10) Na Tela seguinte escolha a Opção *Change Directory* para alterar o Diretório (Pasta) de destino da instalação



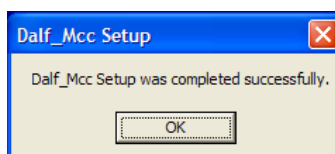
- 11) Na tela seguinte escolha o Diretório (Pasta) C:\DALF criado em (1)



- 12) Na Tela seguinte *click* no Botão de Instalação, conforme abaixo e siga as instruções do instalador (tipicamente não é necessária nenhuma intervenção, pois o processo é automático):



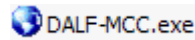
- 13) Concluído o processo de instalação *click* no Botão OK, conforme abaixo:



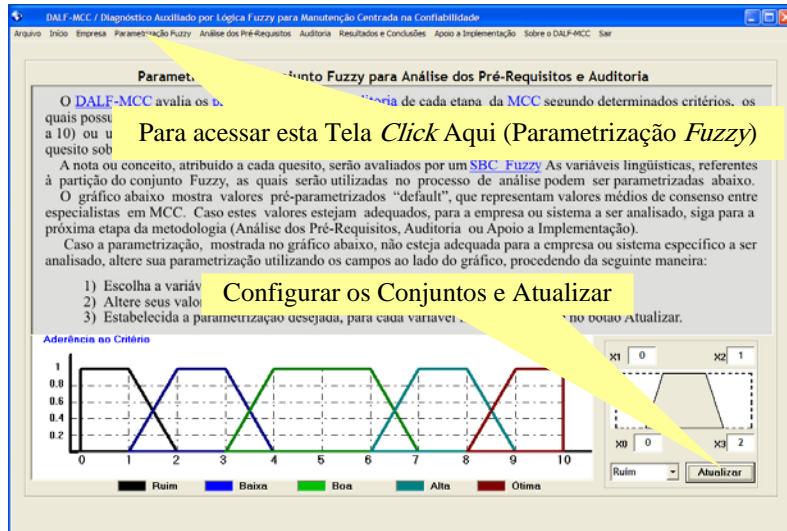
## Execução do DALF-MCC

### Diagnóstico Auxiliado por Lógica *Fuzzy* para a Manutenção Centrada na Confiabilidade

- 1) Execute o Arquivo: DALF-MCC.exe, o qual se encontra no Diretório (Pasta) C:\DALF criado em (1)



- 2) Na Tela de Parametrização *Fuzzy* configure os Conjuntos *Fuzzy* de acordo com sua preferência e *Click* em Atualizar. Caso os Conjuntos já estejam de seu agrado, apenas *Click* em Atualizar.

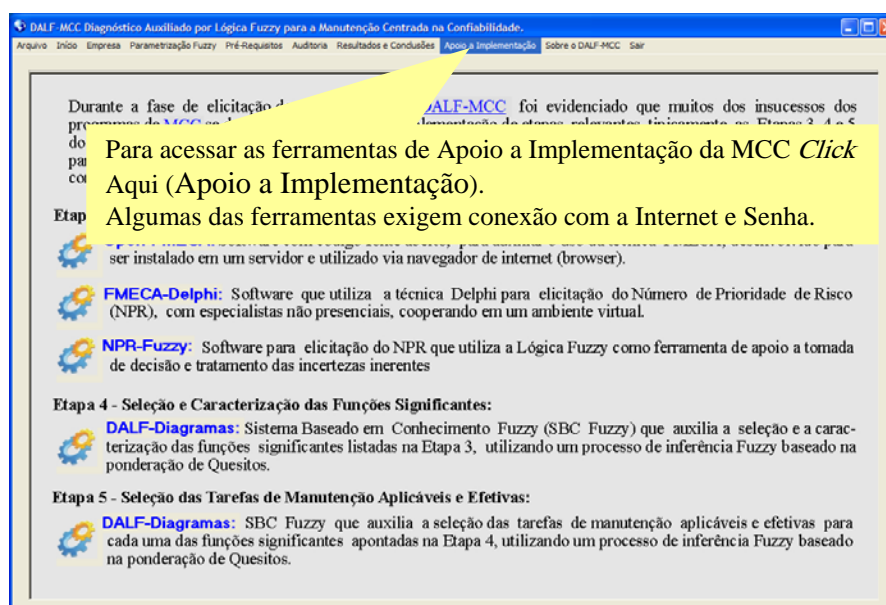


- 3) Para proceder à ponderação dos Pré-Requisitos ou Auditoria escolha no Menu correspondente a Etapa que queira avaliar. Estando na Etapa desejada avalie todos os seus Quesitos. Concluída a ponderação dos Quesitos, *Click* no Botão Avaliação do Critério. Proceda da mesma forma para todos os Critérios da Etapa selecionada. Concluído a avaliação dos Critérios *Click* no Botão Avalia Etapa “n” onde “n” é o Número da Etapa escolhida.

- 4) Após Avaliar a Etapa o Relatório da análise pode ser acessado através do no Menu Resultados e Conclusões. Obs.: Somente as Etapas Avaliadas terão seu respectivo Relatório disponível.



- 5) As ferramentas complementares de Apoio a Implementação da MCC podem ser acessadas através do Menu Apoio a Implementação.



### Senhas:

OpenFMECA:            Login = aluno      Senha = aluno

FMECA-Delphi:        Login = rigoni        Senha = rigoni

Obs.: Mais detalhes da Execução do DALF-MCC e suas Ferramentas Complementares estão explicitados nos Capítulos 5, 6, 7 e Apêndice G deste trabalho.





# **APÊNDICE E**

## **PUBLICAÇÕES**

Apresenta as principais Publicação inerentes a este Trabalho



## E.1 CONGRESSOS E REVISTAS

RIGONI, Emerson; SILVA, Jonny Carlos da. **Sistema Especialista de Apoio a Manutenção de Sistemas Automatizados**. 2º Congresso Mundial de Manutenção e 19º Congresso Brasileiro de Manutenção organização ABRAMAN, 2004.

RIGONI, Emerson; SILVA, Jonny Carlos da. **Hybrid Knowledge Based System: A Decision Support Proposal for Natural Gas Compressor Station Maintenance and Operation**. 18th International Congress of Mechanical Engineering, COBEM, 2005.

RIGONI, Emerson; DIAS, Acires; SILVA, Jonny Carlos da. **Knowledge Based System for Management of Critical Factors Related to Reliability Centered Maintenance**. 19th International Congress of Mechanical Engineering. COBEM, 2007.

RIGONI, Emerson; DIAS, Acires; SILVA, Jonny Carlos da. **Sistema Baseado em Conhecimento para Gerenciamento dos Fatores Críticos da Manutenção Centrada na Confiabilidade**. XX Congresso Pan-Americano de Engenharia Naval, Transporte Marítimo e Engenharia Portuária, COPINAVAL, 2007.

RIGONI, Emerson; DIAS, Acires; CALIL, Luis Fernando P.; ANDRADE, Bernardo L.R.; SAKURADA, Eduardo Yuji; KAGUEIAMA, Heitor Azuma. **Proposta de uma Abordagem para Elaboração de FMECA Virtual**. XX Congresso Pan-Americano de Engenharia Naval, Transporte Marítimo e Engenharia Portuária, COPINAVAL, 2007.

RIGONI, Emerson. **Sistema Baseado em Conhecimento para Implantação da Manutenção Centrada na Confiabilidade**. 15º Seminário Brasileiro de Planejamento e Informatização da Manutenção e 14º Seminário Brasileiro de Manutenção Preditiva e Inspeção de Equipamentos, Organização Excelência Consultoria e Treinamento, 2008.

RIGONI, Emerson. **A Gestão do Conhecimento para Implantação da Manutenção Centrada na Confiabilidade**. Revista Indústria em Foco, 2008.

RIGONI, Emerson; Dias, Acires; Silva, Jonny Carlos da. **Sistema Baseado em Conhecimento para Implantação da Manutenção Centrada na Confiabilidade**. 19º Congresso Brasileiro de Manutenção Organização ABRAMAN, 2008.

RIGONI, Emerson; DIAS, Acires; SILVA, Jonny Carlos da. **Implantação da Manutenção Centrada na Confiabilidade com Auxílio de um Sistema Especialista Fuzzy**. V Congresso Nacional de Engenharia Mecânica – CONEM, 2008.

## E.2 ORIENTAÇÃO DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

GOBER, Cristiano José; SILVA, Luís Carlos Santos da; SANTOS, Rogério José dos. **Aplicação de Ferramentas Computacionais para Definição de uma Metodologia de Gestão da Manutenção**. 2008, 132f. Trabalho de Conclusão de Curso – Curso Superior de Tecnologia em Gestão Comercial Elétrica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2008.



# APÊNDICE F

## **QUESITOS E CRITÉRIOS DO SBC-*FUZZY*DESENVOLVIDO**

Apresenta os Quesitos e Critérios que compõem o Processo de Inferência  
do DALF-MCC



**QUESITOS E CRITÉRIOS DO SBC-FUZZY DESENVOLVIDO****F.1 ANÁLISE DOS PRÉ-REQUISITOS DA MCC**

Os próximos itens detalham os Quesitos ( $Q_n$ ), a serem ponderados pelo usuário, para avaliação de cada Critério ( $C_n$ ). A desfuzzyficação dos conjuntos *Fuzzy* formados pela agregação dos critérios avaliados resulta na avaliação da Etapa “n”. Tais Critérios e seus respectivos Quesitos se referem a Análise dos Pré-Requisitos.

**F.1.1 Pré-Requisitos\_Etapa 0**

**Critério 1 (C1) – Disponibilidade da Informação/Recursos:**

- Q1 → Todas as Entradas, Controles e Mecanismos da Etapa 0 (Adequação da MCC), do procedimento de referência para implantação da MCC, estão disponíveis.
- Q2 → Existe uma documentação consistente das ações de manutenção.
- Q3 → Os sistemas candidatos a implantação da MCC possuem uma documentação técnica adequada.
- Q4 → O planejamento estratégico da empresa, com relação à manutenção, está documentado de forma auditável.

**Critério 2 (C2) – Condição e Desempenho Atual da Manutenção:**

- Q1 → O percentual de Manutenção Preditiva (baseada na condição) é maior do que o de Manutenção Preventiva (baseada no tempo) ou Corretiva.
- Q2 → O desempenho atual da manutenção é satisfatório e homogêneo em todo o sistema fabril, contando com uma equipe adequadamente preparada para o desempenho de sua função.
- Q3 → Historicamente o número de operadores, no chão de fábrica, é pequeno quando comparado a sistemas similares.
- Q4 → Os custos diretos e indiretos devidos à manutenção são altos com o sistema atual de gestão da manutenção quando comparados a outros sistemas similares.

**Critério 3 (C3) – Sistema Computacional de Suporte:**

- Q1 → Para auxiliar a implantação do programa de MCC, um sistema computacional de automação de escritório estará disponível com as seguintes funcionalidades: desenho técnico, processamento de texto, banco de dados e planilhas eletrônicas.
- Q2 → Existe um sistema de gestão da informação integrado, implantado na empresa, que atende de forma satisfatória às necessidades do setor/equipe de manutenção.
- Q3 → A gestão da manutenção conta com um sistema computacional adequadamente dimensionado para o tamanho da empresa e do sistema que se quer implantar a MCC.
- Q4 → O sistema computacional de gestão da manutenção é de uso amigável, toda a equipe possui

treinamento adequado para utilizá-lo e sua utilização faz parte da rotina de trabalho da equipe de manutenção.

- Q5 → O sistema computacional de gestão da manutenção permite integração com softwares específicos de implantação e gestão da MCC. Caso contrário, conta com no mínimo as seguintes funcionalidades: inclusão de novas tarefas com períodos customizados; controle estatístico da manutenção; e agrupamento de tarefas de manutenção de forma otimizada.

#### Critério 4 (C4) – Cultura da Manutenção/Empresa:

- Q1 → O setor e/ou equipe de manutenção atual registra suas ações de forma suficientemente detalhada para suportar uma análise estatística de tais ações.
- Q2 → A manutenção tem função estratégica dentro da empresa e ocupa um lugar de destaque na estrutura organizacional.
- Q3 → A equipe e/ou setor de manutenção, em suas diferentes categorias profissionais, são motivados, cooperativos e conscientes de seu papel estratégico dentro de empresa.
- Q4 → Outras metodologias de gestão da manutenção foram previamente adotadas e/ou estudadas e culminaram com a adoção da MCC, por ser de custo/benefício mais vantajosa.
- Q5 → O atual programa de manutenção é continuamente atualizado e auditado por pessoal interno ou externo à empresa ou setor de manutenção.

#### Critério 5 (C5) – Gerenciamento Estratégico da Manutenção:

- Q1 → Existe um orçamento para viabilizar a implantação da MCC e que supra as seguintes necessidades: treinamento de pessoal dentro da filosofia da MCC; disponibilidade de recursos humanos; implantação de ações preditivas; e implementação de sistemas computacionais de suporte a MCC, caso necessário.
- Q2 → As decisões referentes às estratégias de gestão da manutenção estão em conformidade e tem suporte por outros setores da empresa, o que caracteriza o bom relacionamento institucional.
- Q3 → Os níveis gerenciais vêem a manutenção como investimento e não como um custo.
- Q4 → A MCC é visualizada como parte de um processo geral/global de gerenciamento da manutenção, com métodos e técnicas, podendo coexistir outras metodologias de gestão da manutenção em paralelo ou integradas à MCC.
- Q5 → Grande parte da manutenção é terceirizada, entretanto, seus controles, registros e demais itens de gestão estão a cargo da empresa ou seu representante.

#### F.1.2 Pré-Requisitos\_Etapa 1

##### Critério 1 (C1) – Disponibilidade da Informação/Recursos:

- Q1 → Todas as Entradas, Controles e Mecanismos da Etapa 1 (Preparação), do procedimento de referência para implantação da MCC, estão disponíveis.
- Q2 → A etapa anterior foi Auditada com relação ao nível de conformidade com os requisitos do procedimento de referência.  
Obs.: Neste quesito responda com a Nota obtida na Auditoria da Etapa 0 (Adequação da MCC).
- Q3 → Levando em conta o tamanho e a complexidade dos sistemas candidatos à implantação da MCC, o software de apoio à equipe de implementação atende a todas as necessidades – seja ele um software comercial específico para MCC ou, genérico de gestão da manutenção



aliado a softwares de automação de escritório.

- Q4 → Os itens/componentes dos sistemas candidatos a implantação da MCC possuem uma identificação única e inequívoca (etiqueta - *tag*).

#### Critério 2 (C2) – Formação da Equipe:

- Q1 → A empresa designou um patrocinador interno para auxiliar a implantação da MCC, com poder para mobilização financeira e de pessoal.

A empresa possui internamente e/ou contratará consultores externos com conhecimento comprovado da metodologia MCC para atuarem como facilitadores do processo de implementação.

- Q2 → Todos os interessados nos sistemas candidatos à implantação da MCC, incluindo os clientes internos e externos à empresa, estão disponíveis e dispostos a colaborar com o processo de implantação.

- Q3 → Os níveis gerenciais estão envolvidos e comprometidos com a equipe de implementação da MCC.

- Q4 → Existe pessoal habilitado, conhecedor da metodologia MCC e com competência equivalente, para eventuais substituições de membros da equipe de implementação.

#### Critério 3 (C3) – Planejamento:

- A condução do processo de implantação do programa de MCC seguirá uma metodologia de Q1 → Gestão de Projetos. Ex.: PMBOK (*Project Management Body of Knowledge*) do PMI (*Project Management Institute*).

A implantação da MCC faz parte dos objetivos e metas do planejamento estratégico da empresa e por isto terá um status prioritário para os níveis gerenciais além de contar com níveis compatíveis de organização e alocação de responsabilidades, assim como recursos humanos e financeiros.

- Q2 → A equipe de implementação terá redução de sua carga normal de trabalho para participar do projeto de implementação da MCC. Isto resultará em disponibilidade tanto para reuniões programadas quanto para atividades desenvolvidas entre as reuniões, disponibilidade esta acordada com a alta gerência.

#### Critério 4 (C4) – Estratégia de Implementação:

- Q1 → A equipe conhece o contexto operacional, cultural, histórico e político da empresa/sistema para balizar os objetivos e resultados esperados e delinear a estratégia de implementação.

Um projeto piloto de implementação da MCC já foi conduzido pela empresa e seus resultados práticos e de amadurecimento na metodologia MCC serão utilizados no processo de implementação.

- Q2 → Existem programas de MCC, similares em contexto e domínio de conhecimento, que servirão de benchmarking inclusive para auxiliar no dimensionamento de recursos para a implementação.

### F.1.3 Pré-Requisitos\_Etapa 2

#### Critério 1 (C1) – Disponibilidade da Informação/Recursos:

Q1 → Todas as Entradas, Controles e Mecanismos da Etapa 2 (Seleção do Sistema e Coleta de Informações), do procedimento de referência para implantação da MCC, estão disponíveis.

A etapa anterior foi Auditada com relação ao nível de conformidade com os requisitos do

Q2 → procedimento de referência.

Obs.: Neste quesito responda com a Nota obtida na Auditoria da Etapa 1 (Preparação).

Os dados confiabilísticos e da manutenibilidade dos sistemas candidatos à implantação da

Q3 → MCC estão disponíveis e suportam uma análise estatística que permita formular índices para avaliar o desempenho atual e perspectivas futuras para a manutenção.

Com relação aos custos diretos e indiretos dos sistemas candidatos à implantação da MCC, os seguintes dados estão disponíveis e suportam uma análise quantitativa: custos com

Q4 → manutenção, impacto no processo produtivo devido à indisponibilidade e sua relação com outros sistemas do processo produtivo.

A equipe de implementação domina as questões técnicas, de segurança e ambientais que afetam ou se vinculam aos sistemas candidatos à implantação da MCC.

Q5 →

A empresa possui, para qualquer um dos sistemas candidatos à implantação da MCC, recursos financeiros e humanos para: implementar a MCC conforme o procedimento de

Q6 → referência; aquisição de equipamentos e treinamento para aumento de tarefas preditivas; monitoramento e acompanhamento estatístico do sistema e das ações de manutenção para realimentação do programa.

#### Critério 2 (C2) – Estratégia de Seleção:

A equipe de implementação tem uma clara definição do escopo e abrangência do programa de MCC. Assim, para os sistemas candidatos, os quais serão submetidos à análise, há

Q1 → conhecimento técnico e gerencial além de recursos financeiros e de pessoal, compatíveis com o tamanho e a importância dos sistemas candidatos, para suportar as análises requeridas pela MCC.

Entre os sistemas candidatos à implantação da MCC existe algum que possui similaridade com outros, pertencentes à empresa ou não, onde a MCC já foi implementada e cujos dados estão disponíveis para um embasamento inicial da análise.

Q2 →

Todos os sistemas candidatos têm uma relação forte com a disponibilidade do sistema global e economia do processo produtivo e/ou tem implicações de segurança ou meio ambiente.

Q3 →

A documentação de engenharia disponível dos sistemas candidatos à implantação da MCC permite uma clara definição das fronteiras dos sistemas e agrupamento de componentes/subsistema por especialidades técnicas.

Q4 →

A equipe de implantação tem pleno conhecimento do contexto operacional dos sistemas candidatos à implantação da MCC e sua influência no desempenho, disponibilidade e economia do processo produtivo, assim como na segurança e meio ambiente.

Q5 →

#### F.1.4 Pré-Requisitos\_Etapa 3

#### Critério 1 (C1) – Disponibilidade da Informação/Recursos:

Todas as Entradas, Controles e Mecanismos da Etapa 3 (Análise dos Modos de Falha, seus

Q1 → Efeitos e sua Criticidade – FMECA), do procedimento de referência para implantação da MCC, estão disponíveis.

- A etapa anterior foi Auditada com relação ao nível de conformidade com os requisitos do procedimento de referência.
- Q2 → Obs.: Neste quesito responda com a Nota obtida na Auditoria da Etapa 2 (Seleção do Sistema e Coleta de Informações)
- Q3 → Existe uma estrutura computacional ou ferramenta equivalente para agilizar, organizar e garantir a participação de toda a equipe de implantação na concepção da FMECA e ao mesmo tempo possibilite a criação de ambientes virtuais para flexibilizar as reuniões.
- Q4 → Existe uma documentação de engenharia consistente do sistema que será analisado, incluindo proteções, instrumentação, monitoramento e controle.
- Q5 → Existe uma documentação/histórico consistente das falhas funcionais e dos controles atuais para detectar e/ou prevenir as causas dos modos de falha.
- Q6 → Existe uma análise prévia das causas raízes do modo de falha (FTA – *Fault Tree Analysis* – Análise da Árvore de Falhas) e dos seus efeitos (ETA – *Event Tree Analysis* – Análise da Árvore de Eventos), a qual será utilizada para embasar a FMECA. Senão, serão utilizadas análises de sistemas similares devidamente adaptadas ao contexto operacional em questão.

#### Critério 2 (C2) – Competências e Habilidades da Equipe:

- Q1 → A equipe que executará o FMECA (Análise dos Modos de Falha, seus Efeitos e sua Criticidade) conta com representantes da operação, manutenção, fornecedores, fabricante do sistema analisado e consumidores/clientes da empresa.
- Q2 → A equipe que executará o FMECA (Análise dos Modos de Falha, seus Efeitos e sua Criticidade) recebeu treinamento específico e conhece os termos utilizados, seus significados e a forma correta de preenchimento das planilhas de FMECA.
- Q3 → O tamanho da equipe, suas competências e habilidades e seu envolvimento e interesse com o sistema a ser analisado estão adequados para o número de modos de falha e conseqüente tempo de dedicação esperados para o FMECA.
- Q4 → Os índices e critérios para avaliação da criticidade (Severidade, Ocorrência e Detecção) foram customizados e aprovados pela empresa e seus interessados “*stakeholders*” e estão documentados de forma auditável. Caso este pré-requisito ainda não tenha sido satisfeito, a equipe de implantação o fará antes do início da condução da FMECA.
- Q5 → A equipe de implantação está preparada para avaliar tanto as causas e efeitos do modo de falha internos à empresa quanto os externos os quais, de alguma forma, afetam o sistema a ser analisado ou a empresa.

#### F.1.5 Pré-Requisitos\_Etapa 4

#### Critério 1 (C1) – Disponibilidade da Informação/Recursos:

- Q1 → Todas as Entradas, Controles e Mecanismos da Etapa 4 (Seleção das Funções Significantes e Classificação de seus Modos de Falha), do procedimento de referência para implantação da MCC, estão disponíveis.
- Q2 → A etapa anterior foi Auditada com relação ao nível de conformidade com os requisitos do procedimento de referência.  
Obs.: Neste quesito responda com a Nota obtida na Auditoria da Etapa 3 (Análise dos Modos de Falha, seus Efeitos e sua Criticidade – FMECA).
- Q3 → A relação das funções do item/sistema, as quais já estão atualmente protegidas por tarefas de manutenção estão disponíveis para a análise da equipe de implantação.

Os critérios para avaliação dos impactos de segurança, ambientais, econômicos e operacionais, foram aprovados pelos níveis gerenciais da empresa e pelos usuários/operadores do sistema e estão documentados de forma auditável. Caso este pré-requisito ainda não tenha sido satisfeito, a equipe de implantação o fará antes do início da condução desta etapa.

A equipe de implementação conta com representantes que são usuários/operadores do sistema sob análise. Caso contrário, estes podem ser convocados especificamente para esta etapa após um treinamento prévio em MCC para atestar: a significância das funções, e a evidência ou não dos modos de falha, seus efeitos ou as falhas funcionais a eles associadas.

#### F.1.6 Pré-Requisitos\_Etapa 5

Critério 1 (C1) – Disponibilidade da Informação/Recursos:

Todas as Entradas, Controles e Mecanismos da Etapa 5 (Seleção das Tarefas de Manutenção Aplicáveis e Efetivas), do procedimento de referência para implantação da MCC, estão disponíveis.

A etapa anterior foi Auditada com relação ao nível de conformidade com os requisitos do procedimento de referência.

Obs.: Neste quesito responda com a Nota obtida na Auditoria da Etapa 4 (Seleção das Funções Significantes e Classificação de seus Modos de Falha).

Os critérios para avaliação da aplicabilidade e efetividade das ações de manutenção foram aprovados pelos níveis gerenciais da empresa e pelos usuários/operadores do sistema e estão documentados de forma auditável. Caso este pré-requisito ainda não tenha sido satisfeito, a equipe de implantação o fará antes do início da condução desta etapa.

A equipe de implementação conta com representantes da manutenção e usuários/operadores do sistema sob análise ou caso contrário estes podem ser convocados especificamente para esta etapa, após um treinamento prévio em MCC, para atestar a aplicabilidade e a efetividade das ações de manutenção.

Os custos e recursos do setor de manutenção estão disponíveis, destacando-se: custo por hora trabalhada dos mantenedores, equipamentos disponíveis para ações preditivas e/ou localizados para ações específicas com seus respectivos custos para a empresa, recursos logísticos, humanos e financeiros do setor de manutenção.

Critério 2 (C2) – Conhecimento da Falha:

A maneira como a falha evolui (mecanismo da falha) é conhecida para todos os modos de falha relacionados às funções significantes.

A rotina operacional do item/sistema, no qual a MCC será implantada, é conhecida pela equipe de implantação.

A equipe de implantação conhece o impacto na segurança e no meio ambiente relacionado à perda das funções significantes do item/sistema, no qual a MCC será implantada. As normas de segurança e ambientais do referido item/sistema também estão disponíveis.

#### F.1.7 Pré-Requisitos\_Etapa 6

Critério 1 (C1) – Disponibilidade da Informação/Recursos:

Todas as Entradas, Controles e Mecanismos da Etapa 6 (Definição dos Intervalos Iniciais e

Agrupamento das Tarefas de Manutenção), do procedimento de referência para implantação da MCC, estão disponíveis.

A etapa anterior foi Auditada com relação ao nível de conformidade com os requisitos do procedimento de referência.  
Q2 → Obs.: Neste quesito responda com a Nota obtida na Auditoria da Etapa 5 (Seleção das Tarefas de Manutenção Aplicáveis e Efetivas).

Existe uma documentação gerencial que permita inferir sobre o contexto e o ciclo operacional do sistema, os custos envolvidos e os riscos financeiros, de segurança, e para meio ambiente, de forma a ponderar a tomada de decisão referente aos intervalos e agrupamentos das ações de manutenção.  
Q3 →

As seguintes informações técnicas dos itens/componentes, relacionados às funções significantes, estão disponíveis para a equipe de implementação: curva de degradação, tempo de operação, tempo médio entre falhas, tempo para falhar e tempo de reparo.  
Q4 →

A equipe de implantação tem competência e habilidade para definir os aspectos a serem otimizados durante a definição dos intervalos iniciais e agrupamento das atividades de manutenção.  
Q5 →

#### F.1.8 Pré-Requisitos\_Etapa 7

##### Critério 1 (C1) – Disponibilidade da Informação/Recursos:

Todas as Entradas, Controles e Mecanismos da Etapa 7 (Redação do Manual e Implementação), do procedimento de referência para implantação da MCC, estão disponíveis.  
Q1 →

A etapa anterior foi Auditada, com relação ao nível de conformidade com os requisitos do procedimento de referência.  
Q2 → Obs.: Neste quesito responda com a Nota obtida na Auditoria da Etapa 6 (Definição dos Intervalos Iniciais e Agrupamento das Tarefas de Manutenção).

A equipe de implementação não irá se dispersar até concluir a redação do manual e implantar efetivamente o programa de MCC, no sistema de gestão da manutenção da empresa.  
Q3 →

Existe uma estrutura computacional para geração automática do manual da MCC, o qual deve contemplar todas as decisões e saídas das etapas conforme o procedimento de referência. Caso contrário, existe disponibilidade de pessoal para realização desta atividade.  
Q4 →

##### Critério 2 (C2) – Planejamento para Implementação:

Os recursos financeiros, humanos e os equipamentos necessários para implementação das tarefas de manutenção e controle do programa de MCC estão disponíveis, de forma a garantir sua realimentação e revisão.  
Q1 →

Existe uma estrutura interna ou externa à empresa (terceirizada) para treinamento dos mantenedores e operadores, com base no novo programa de gestão da manutenção proposto pela MCC.  
Q2 →

O sistema computacional de gestão da manutenção permite, de forma automática, a partir do software de implantação da MCC, a inclusão das tarefas e controles propostos pelo programa de MCC. Caso contrário, existe disponibilidade de pessoal para uma inclusão manual.  
Q3 →

## F.1.9 Pré-Requisitos\_Etapa 8

Critério 1 (C1) – Disponibilidade da Informação/Recursos:

Q1 → Todas as Entradas, Controles e Mecanismos da Etapa 8 (Acompanhamento e Realimentação), do procedimento de referência para implantação da MCC, estão disponíveis.

A etapa anterior foi Auditada, com relação ao nível de conformidade com os requisitos do procedimento de referência.

Q2 → Obs.: Neste quesito responda com a Nota obtida na Auditoria da Etapa 7 (Redação do Manual e Implementação da MCC).

Q3 → O manual da MCC foi divulgado para os mantenedores, operadores e alta gerência. Após sua divulgação, houve consenso de que o novo programa de manutenção da empresa traduz fielmente as atividades recomendadas pela MCC para aqueles sistemas onde esta foi implantada.

Critério 2 (C2) – Aderência da MCC:

Q1 → Os responsáveis pela fase de execução do programa de MCC têm claros os objetivos e interesses do programa, a ponto de criar índices que avaliem: o desempenho do programa de MCC; o desempenho da manutenção após a implementação do programa de MCC; e a aderência da empresa ao programa de MCC.

Q2 → O plano de manutenção gerado pela MCC foi incorporado na íntegra ao sistema de gestão da manutenção da empresa/sistema. Da mesma forma, os procedimentos técnicos de manutenção e operação do ativo/sistema, no qual a MCC foi implantada, foram alterados para se adequar as novas tarefas de manutenção apontadas pelo programa de MCC.

Q3 → Todos os procedimentos de manutenção e operação, apontados pela MCC, estão normatizados e há ações disciplinadoras ou corretivas, caso haja quebra de procedimentos.

Q4 → O sistema de gestão da manutenção e os recursos logísticos foram redimensionados para atender as novas necessidades ditadas pela MCC.

## F.2 AUDITORIA DA MCC

Os próximos itens detalham os Quesitos ( $Q_n$ ), a serem ponderados pelo usuário, para avaliação de cada Critério ( $C_n$ ). A desfuzzyficação dos conjuntos *Fuzzy* formados pela agregação dos critérios avaliados resulta na avaliação da Etapa “n”. Tais Critérios e seus respectivos Quesitos se referem a Auditoria.

## F.2.1 Auditoria\_Etapa 0

Critério 1 (C1) – Confiabilidade da Análise:

Os pré-requisitos desta etapa foram atendidos em um nível satisfatório ou, caso contrário, uma política de melhoramento dos fatores negativos foi planejada e implementada antes do início da etapa.

Q1 → Obs.: Neste quesito responda com a Nota obtida na análise dos Pré-Requisitos da Etapa 0 (Adequação da MCC).

Todas as decisões tomadas durante a Etapa 0 (Adequação da MCC) foram documentadas,  
 Q2 → atendem as exigências de Saída do procedimento de referência e tem consistência para uma auditoria futura.

Os questionamentos referentes à análise dos Pré-Requisitos e Auditoria da Etapa 0 (Adequação da MCC) foram ou estão sendo respondidos por membros da equipe de manutenção, operação, gerência e demais interessados ou afetados pelo programa de MCC ou pelos sistemas candidatos a sua implantação. A tomada de decisão se deu pela média ponderada das respostas individuais.  
 Q3 →

Normas, bibliografias e especialistas foram consultados para avaliar os benefícios e os desafios de um programa de MCC.  
 Q4 →

Programas similares de MCC foram consultados/estudados e poderão servir de benchmarking para o processo de implantação.  
 Q5 →

### F.2.2 Auditoria\_Etapa 1

#### Critério 1 (C1) – Confiabilidade da Análise:

Os pré-requisitos desta etapa foram atendidos em um nível satisfatório ou, caso contrário, uma política de melhoramento dos fatores negativos foi planejada e implementada antes do início da etapa.  
 Q1 →

Obs.: Neste quesito responda com a Nota obtida na análise dos Pré-Requisitos da Etapa 1 (Preparação).

Todas as decisões tomadas durante a Etapa 1 (Preparação) foram documentadas, atendem as exigências de Saída do procedimento de referência e tem consistência para uma auditoria futura.  
 Q2 →

Os questionamentos referentes à análise dos Pré-Requisitos e Auditoria da Etapa 1 (Preparação) foram ou estão sendo respondidos por membros da equipe de manutenção, operação, gerência e demais interessados ou afetados pelo programa de MCC ou pelos sistemas candidatos a sua implantação. A tomada de decisão se deu pela média ponderada das respostas individuais.  
 Q3 →

Todos os envolvidos no processo de implantação da MCC – equipe de manutenção, operação, gerência e demais interessados ou afetados pelo programa de MCC – entenderam, aceitaram e acreditam ser exequível o plano de implantação, o qual está documentado de forma auditável.  
 Q4 →

O contexto operacional, cultural, histórico e político da empresa/sistema foram considerados para balizar os objetivos e resultados esperados e delinear a estratégia que compõe o plano de implantação.  
 Q5 →

Os clientes, internos e externos, foram contemplados e/ou envolvidos, com algum grau de comprometimento, no processo de implementação da MCC.  
 Q6 →

#### Critério 2 (C2) – Recursos e Responsabilidades:

O papel dos atores da equipe de implantação da MCC está claro, acordado entre os participantes e documentado de forma auditável. As seguintes funções prioritárias estão claramente definidas: Comitê Gestor, Equipe de Análise e Facilitador.  
 Q1 →

Existe uma estrutura para gestão da informação e divulgação dos resultados e da cronologia da implantação da MCC, tanto para a equipe de implementação, como para os interessados ou afetados pelo programa de MCC.  
 Q2 →

O patrocinador interno entendeu e aceitou suas atribuições (mobilização de recursos  
 Q3 →

humanos e financeiros para o programa de MCC) e acredita ser possível desempenhá-las de forma adequada e com a brevidade exigida pelos procedimentos de implementação das etapas da MCC.

Q4 → Para compatibilizar o tamanho da equipe de implementação da MCC com a complexidade do sistema a ser analisado foram utilizados como modelos “*templates*”, sistemas similares em complexidade e domínio de conhecimento.

Critério 3 (C3) – Competências e Habilidades da Equipe:

Q1 → A equipe de implantação da MCC, de manutenção, gerentes e diretores participaram de treinamento na metodologia/filosofia da MCC.

Q2 → A equipe de implementação do programa de MCC tem conhecimento das técnicas e métodos de Gestão de Projetos. Ex.: PMBOK (*Project Management Body of Knowledge*) do PMI (*Project Management Institute*).

Q3 → Membros da equipe de implantação da MCC já participaram de um projeto piloto de contexto similar ao que se está pretendendo.

Q4 → Existe um procedimento, documentado de forma auditável, para troca de membros da equipe de implementação da MCC, que garanta a igualdade de conhecimento com relação aos demais membros da equipe, em qualquer etapa do processo de implementação.

Critério 4 (C4) – Certificação das Decisões:

Q1 → Todas as etapas, do procedimento de referência para implantação da MCC, foram consideradas no planejamento e concebidas nos moldes recomendados para gestão de projetos, com: inicialização, planejamento, execução, controle e encerramento. E envolvem as seguintes áreas de conhecimento: integração, escopo, tempo, custo, qualidade, recursos humanos, comunicação, risco e aquisições.

Q2 → O projeto, de implantação da MCC, é o único no qual a equipe de implementação está envolvida, além de suas atividades diárias na empresa.

Q3 → Os resultados práticos e de amadurecimento na metodologia MCC, obtidos no projeto piloto, foram contemplados no planejamento do processo de implantação da MCC.

Q4 → O plano, de implantação da MCC, está documentado de forma auditável, e foi divulgado para todos os clientes internos, externos e demais interessados e/ou afetados pelo programa de MCC, incluindo a alta gerência.

### F.2.3 Auditoria\_Etapa 2

Critério 1 (C1) – Confiabilidade da Análise:

Q1 → Os pré-requisitos desta etapa foram atendidos em um nível satisfatório ou, caso contrário, uma política de melhoramento dos fatores negativos foi planejada e implementada antes do início da etapa.

Obs.: Neste quesito responda com a Nota obtida na análise dos Pré-Requisitos da Etapa 2 (Seleção do Sistema e Coleta de Informações).

Q2 → Todas as decisões tomadas durante a Etapa 2 (Seleção do Sistema e Coleta de Informações) foram documentadas, atendem as exigências de Saída do procedimento de referência e tem consistência para uma auditoria futura.

Q3 → Os questionamentos referentes à análise dos Pré-Requisitos e Auditoria da Etapa 2 (Seleção do Sistema e Coleta de Informações) foram ou estão sendo respondidos por membros da



equipe de manutenção, operação, gerência e demais interessados ou afetados pelo programa de MCC ou pelos sistemas candidatos a sua implantação. A tomada de decisão se deu pela média ponderada das respostas individuais.

Q4 → A equipe de implementação utilizou critérios para avaliação dos sistemas candidatos que consideraram: as questões ambientais e de segurança, que permeiam um programa de MCC; e as conseqüências econômicas advindas para a empresa e seus processos produtivos.

Q5 → Foram utilizados os dados confiabilísticos e de manutenibilidade disponíveis para os sistemas candidatos e a escolha do sistema, ao qual a MCC será implantada, se deu a partir de uma abordagem quantitativa.

Critério 2 (C2) – Certificação dos Resultados:

Q1 → O sistema escolhido para ser submetido à análise da MCC, suas fronteiras e o nível de detalhamento que será adotado nas análises da equipe de implementação está definido, descrito e documentado de forma auditável.

Q2 → A equipe de implementação do programa de MCC possui representantes com competência em todas as áreas de conhecimento relacionadas aos sistemas candidatos e o sistema escolhido obteve o consenso do grupo.

Q3 → A empresa possui em seu quadro funcional especialistas com conhecimento técnico profundo sobre o sistema escolhido para ser submetido à análise da MCC.

Q4 → O escopo e seu nível de detalhamento estão adequados para o tamanho da equipe de implantação, considerando o número de modos de falha por item/componente e o tempo previsto para término da análise.

#### F.2.4 Auditoria\_Etapa 3

Critério 1 (C1) – Confiabilidade da Análise:

Q1 → Os pré-requisitos desta etapa foram atendidos em um nível satisfatório ou, caso contrário, uma política de melhoramento dos fatores negativos foi planejada e implementada antes do início da etapa.

Obs.: Neste quesito responda com a Nota obtida na análise dos Pré-Requisitos da Etapa 3 (Análise dos Modos de Falha, seus Efeitos e sua Criticidade - FMECA).

Q2 → Todas as decisões, tomadas durante a Etapa 3 (Análise dos Modos de Falha, seus Efeitos e sua Criticidade - FMECA) foram documentadas, atendem as exigências de Saída do procedimento de referência e tem consistência para uma auditoria futura.

Q3 → Os questionamentos referentes à análise dos Pré-Requisitos e Auditoria da Etapa 3 (Análise dos Modos de Falha, seus Efeitos e sua Criticidade - FMECA) foram ou estão sendo respondidos por membros da equipe de manutenção, operação, gerência e demais interessados ou afetados pelo programa de MCC ou pelo sistema escolhido para sua implantação. A tomada de decisão se deu pela média ponderada das respostas individuais.

Q4 → Existe um procedimento documentado e devidamente divulgado para os envolvidos com o sistema no qual a MCC será implantada, para atualização e correção da FMECA. Este procedimento aponta todas as razões e circunstâncias que motivam as atualizações e/ou correções.

Q5 → A FMECA possui uma conexão com um plano e/ou procedimento onde constem as ações a serem tomadas na ocorrência dos modos de falha.

Critério 2 (C2) – Itens, Funções e Falhas Funcionais:

- Q1 → Os itens, analisados na FMECA pertencem ao menor nível manutenível do sistema.
- Q2 → O contexto operacional da instalação foi definido e documentado de forma auditável.
- Q3 → Todas as funções do item/sistema (primárias / secundárias / de proteção, monitoramento e controle – SCADA e instrumentação) foram identificadas e documentadas de forma auditável e sua definição contém um verbo, um objeto e um padrão de desempenho (quantificado em cada caso possível).
- Q4 → Os padrões de desempenho, incorporados nas definições das funções, são níveis de desempenho desejados pelo proprietário ou usuário do item/sistema no seu contexto operacional.
- Q5 → Todos os estados de falha associados às funções foram identificados de forma completa, são compatíveis com a função e foram documentados de forma auditável.

#### Critério 3 (C3) – Modos de Falha:

- Q1 → Todos os modos de falha, razoavelmente prováveis de causar cada falha funcional, foram identificados e documentados de forma auditável. O método usado para decidir o que constitui um modo de falha “razoavelmente provável” foi aceito pelo proprietário ou usuário do item/sistema e documentado de forma auditável.
- Q2 → Os modos de falha foram identificados a um nível de causalidade que torna possível identificar uma política apropriada para gerenciamento da falha.
- Q3 → Foram incluídos na lista de modos de falha aqueles que: tenham ocorrido anteriormente; estão atualmente sendo prevenidos por programas existentes de manutenção; ainda não ocorreram, mas que são julgados como razoavelmente prováveis de ocorrer (factíveis) no contexto operacional. Todos os casos foram documentados de forma auditável.
- Q4 → Foram incluídos, na lista de modos de falha, qualquer evento ou processo que possa causar uma falha funcional, incluindo deterioração, defeitos de projeto, e erros humanos se causados por operadores ou mantenedores.
- Q5 → Foram levados em consideração os modos de falha externos aos domínios e/ou controle da empresa, por exemplo: modos de falha devido a fornecedores e problemas logísticos.

#### Critério 4 (C4) – Efeitos e Causas da Falha:

- Q1 → A descrição dos efeitos inclui o que aconteceria se nenhuma tarefa específica fosse realizada para antecipar, prevenir, ou detectar a falha. Estas informações estão documentadas de forma auditável.
- Q2 → A descrição dos efeitos inclui todas as informações necessárias para avaliar se a consequência da falha: é evidente ou, no caso de falhas ocultas, o que acontece se uma falha múltipla ocorrer; pode provocar a morte ou ferir alguém; pode provocar um efeito adverso ao meio ambiente; pode afetar adversamente a operação ou a produção. Estas informações estão documentadas de forma auditável.
- Q3 → A descrição dos efeitos inclui todas as informações necessárias para avaliar se, como consequência da falha, existe a possibilidade de causar danos físicos e o que deve ser feito para restaurar a função do sistema após a falha. Estas informações estão documentadas de forma auditável.
- Q4 → A descrição das causas da falha revela porque o modo de falha do item/sistema ocorreu. Estas informações estão documentadas de forma auditável.

### F.2.5 Auditoria\_Etapa 4

#### Critério 1 (C1) – Confiabilidade da Análise:

- Os pré-requisitos desta etapa foram atendidos em um nível satisfatório ou, caso contrário, uma política de melhoramento dos fatores negativos foi planejada e implementada antes do início da etapa.
- Q1 → Obs.: Neste quesito responda com a Nota obtida na análise dos Pré-Requisitos da Etapa 4 (Seleção das Funções Significantes e Classificação de seus Modos de Falha).
- Todas as decisões tomadas durante a Etapa 4 (Seleção das Funções Significantes e Classificação de seus Modos de Falha) foram documentadas, atendem as exigências de Saída do procedimento de referência e tem consistência para uma auditoria futura.
- Q2 → Os questionamentos referentes à análise dos Pré-Requisitos e Auditoria da Etapa 4 (Seleção das Funções Significantes e Classificação de seus Modos de Falha) foram ou estão sendo respondidos por membros da equipe de manutenção, operação, gerência e demais interessados ou afetados pelo programa de MCC ou pelo sistema escolhido para sua implantação. A tomada de decisão se deu pela média ponderada das respostas individuais.
- Q3 → A imagem da empresa e/ou os danos para os usuários, clientes ou terceiros foram contemplados no processo de tomada de decisão.
- Q4 →

#### Critério 2 (C2) – Certificação dos Resultados:

- As conseqüências de cada modo de falha estão classificadas formalmente, sendo que, os modos de falha ocultos estão separados dos evidentes e há uma distinção clara entre eventos que tenham conseqüências de segurança e/ou ambientais daqueles com conseqüências econômicas e/ou operacionais. Esta classificação está documentada de modo auditável.
- Q1 → A avaliação das conseqüências das falhas é realizada como se nenhuma tarefa específica estivesse sendo realizada para antecipar, prevenir ou detectar a falha.
- Q2 → Todas as funções apontadas como significantes afetam de modo adverso um ou outro dos seguintes aspectos: segurança, meio ambiente, operação, economia do processo produtivo e/ou a função já é protegida por alguma atividade de manutenção.
- Q3 → As funções tidas como não significantes, as quais não seguirão na análise do grupo de implantação da MCC, foram documentadas de forma auditável.
- Q4 →

### F.2.6 Auditoria\_Etapa 5

#### Critério 1 (C1) – Confiabilidade da Análise:

- Os pré-requisitos desta etapa foram atendidos em um nível satisfatório ou, caso contrário, uma política de melhoramento dos fatores negativos foi planejada e implementada antes do início da etapa.
- Q1 → Obs.: Neste quesito responda com a Nota obtida na análise dos Pré-Requisitos da Etapa 5 (Seleção das Tarefas de Manutenção Aplicáveis e Efetivas).
- Todas as decisões tomadas durante a Etapa 5 (Seleção das Tarefas de Manutenção Aplicáveis e Efetivas) foram documentadas, atendem as exigências de Saída do procedimento de referência e tem consistência para uma auditoria futura.
- Q2 → Os questionamentos referentes à análise dos Pré-Requisitos e Auditoria da Etapa 5 (Seleção das Tarefas de Manutenção Aplicáveis e Efetivas) foram ou estão sendo respondidos por membros da equipe de manutenção, operação, gerência e demais interessados ou afetados
- Q3 →

pelo programa de MCC ou pelo sistema escolhido para sua implantação. A tomada de decisão se deu pela média ponderada das respostas individuais.

- Q4 → A escolha das atividades de manutenção mais adequadas foi guiada pela associação do mecanismo da falha com as potencialidades e custo benefício das ações de manutenção adotadas e não unicamente pela disponibilidade de competências e recursos internos da empresa.

#### Critério 2 (C2) – Seleção e Programação das Tarefas:

- Q1 → A seleção das políticas de gestão de falhas é conduzida como se nenhuma tarefa específica estivesse sendo executada atualmente, para antecipar, prevenir ou detectar a falha. Além disto, todo o processo de seleção está documentado de modo auditável.

- Q2 → O processo de seleção da gestão da falha considera o fato de que: a probabilidade condicional de alguns modos de falha aumenta com a idade; a de outros não muda com a idade; e a de alguns diminui com a idade.

- Q3 → Todas as tarefas programadas são tecnicamente viáveis e atrativas (aplicáveis e efetivas) e se duas ou mais atividades enquadram-se nesta situação, a atividade selecionada é aquela mais efetiva em termos de custos.

- Q4 → No caso de um modo de falha evidente, que tenha conseqüências de segurança ou ambiental, a tarefa programada (se existente) reduz a probabilidade do modo de falha a um nível que é tolerável ao proprietário ou usuário da instalação.

- Q5 → No caso de um modo de falha oculto, onde a falha múltipla associada tenha conseqüências de segurança ou ambiental, a tarefa programada (se existente) reduz a probabilidade do modo de falha oculto a um valor cuja probabilidade da falha múltipla associada é tolerável ao proprietário ou usuário da instalação.

- Q6 → No caso de um modo de falha evidente, que não tenha conseqüências de segurança ou ambiental, os custos diretos e indiretos de execução da tarefa programada (se existente) são menores que os custos diretos e indiretos do modo de falha, quando medidos em períodos comparáveis de tempo.

- Q7 → No caso de um modo de falha oculto, onde a falha múltipla associada, não tenha conseqüências de segurança ou ambiental, os custos diretos e indiretos de execução da tarefa programada (se existente) são menores que os custos diretos e indiretos da falha múltipla mais o custo de reparo do modo de falha oculto, quando medidos em períodos comparáveis de tempo.

#### Critério 3 (C3) – Serviço Operacional e Inspeção Preditiva:

- Q1 → As tarefas classificadas como sendo de serviço operacional, reduzem a taxa de deterioração funcional e o risco à segurança e de perda da operação, além de ter custo reduzido.

- Q2 → Existe uma falha potencial claramente definida, para cada Inspeção Preditiva programada.

- Q3 → Existe um intervalo PF identificável (ou período de desenvolvimento da falha), para cada Inspeção Preditiva programada.

- Q4 → O intervalo da tarefa é menor que o menor intervalo PF provável, para cada Inspeção Preditiva programada.

- Q5 → É fisicamente possível realizar a tarefa a intervalos menores que o intervalo PF, para cada Inspeção Preditiva programada.

- Q6 → O menor tempo entre a descoberta de uma falha potencial e a ocorrência da falha funcional (o intervalo PF menos o intervalo da tarefa) é suficiente para que a ação determinada seja

tomada para evitar, eliminar ou minimizar as conseqüências do modo de falha, para cada Inspeção Preditiva programada.

#### Critério 4 (C4) – Restauração e Substituição Preventiva:

- Q1 → Existe uma idade claramente definida (preferivelmente demonstrável), na qual ocorre um aumento na probabilidade condicional do modo de falha considerado, para cada Restauração Preventiva programada.
- Q2 → Uma proporção elevada de ocorrências do modo de falha considerado ocorre após uma determinada idade, o que reduz a probabilidade de falha prematura a um nível que é tolerável pelo proprietário ou usuário da instalação, para cada Restauração Preventiva programada.
- Q3 → A tarefa restaura a resistência à falha (condição) do componente a um nível que é tolerável pelo proprietário ou usuário da instalação, para cada Restauração Preventiva programada.
- Q4 → Existe uma idade claramente definida (preferivelmente demonstrável), na qual ocorre um aumento na probabilidade condicional do modo de falha em consideração, para cada Substituição Preventiva programada.
- Q5 → Uma proporção elevada de ocorrências do modo de falha considerado ocorre após uma determinada idade, o que reduz a probabilidade de falha prematura a um nível que é tolerável pelo proprietário ou usuário da instalação, para cada Substituição Preventiva programada.

#### Critério 5 (C5) – Inspeção Funcional e Manutenção Combinada:

- Q1 → A determinação do intervalo da tarefa de inspeção leva em conta, para cada Inspeção Funcional programada, a necessidade de reduzir a probabilidade da falha múltipla do sistema protegido a um nível que é tolerável pelo proprietário ou usuário da instalação (não aplicável a modos de falha evidentes).
- Q2 → A tarefa de inspeção confirma que todos os componentes cobertos pela descrição do modo de falha estão funcionando, para cada Inspeção Funcional programada (não aplicável a modos de falha evidentes).
- Q3 → A tarefa de Inspeção Funcional e o processo de seleção do intervalo associado levam em conta qualquer probabilidade de que a tarefa por si só pode deixar a função oculta em um estado de falha, para cada Inspeção Funcional programada (não aplicável a modos de falha evidentes).
- Q4 → É fisicamente possível realizar a tarefa nos intervalos especificados, para cada Inspeção Funcional programada (não aplicável a modos de falha evidentes).
- Q5 → No caso das atividades classificadas como sendo de manutenção combinada, nenhuma atividade de manutenção isolada consegue identificar e/ou corrigir a falha, somente uma combinação de tarefas.
- Q6 → No caso das atividades classificadas como sendo de manutenção combinada, o custo de tais atividades é inferior ao custo da falha, além disto, reduzem a taxa de deterioração funcional e o risco à segurança e de perda da operação.

#### Critério 6 (C6) – Mudança de Projeto e Reparo Funcional:

- Q1 → Os procedimentos adotados pelo programa de MCC tenta extrair o desempenho desejado do sistema, tal como está configurado e operado atualmente, pela aplicação de tarefas

programadas apropriadas.

Q2 → Quando as tarefas programadas não foram aplicáveis e efetivas, com falha oculta, e com falha múltipla associada com consequência de segurança e ambiental, foi proposto uma Mudança de Projeto que reduziu a probabilidade da falha múltipla a um nível tolerável para o proprietário ou usuário da instalação.

Q3 → Quando as tarefas programadas não foram aplicáveis e efetivas, com modo de falha evidente e consequência de segurança ou ambiental, foi proposto uma Mudança de Projeto que reduziu a probabilidade do modo de falha a um nível tolerável para o proprietário ou usuário da instalação.

Q4 → Quando as tarefas programadas não foram aplicáveis e efetivas, com modo de falha oculto e falha múltipla associada sem consequência de segurança e ambiental, as Mudanças de Projeto propostas são atrativas em termos de custo na opinião do proprietário ou usuário da instalação.

Q5 → Quando as tarefas programadas não foram aplicáveis e efetivas, com modo de falha evidente, e sem consequência de segurança e ambiental, as Mudanças de Projeto propostas são atrativas em termos de custo na opinião do proprietário ou usuário da instalação.

Q6 → Reparos Funcionais são utilizados nos seguintes casos: falha oculta sem uma atividade programada apropriada, e com falha múltipla associada sem consequência de segurança ou ambiental; ou falha evidente sem uma atividade programada apropriada e com modo de falha associado sem consequência de segurança ou ambiental.

#### F.2.7 Auditoria\_Etapa 6

##### Critério 1 (C1) – Confiabilidade da Análise:

Os pré-requisitos desta etapa foram atendidos em um nível satisfatório ou, caso contrário, uma política de melhoramento dos fatores negativos foi planejada e implementada antes do início da etapa.

Q1 → Obs.: Neste quesito responda com a Nota obtida na análise dos Pré-Requisitos da Etapa 6 (Definição dos Intervalos Iniciais e Agrupamento das Tarefas de Manutenção).

Q2 → Todas as decisões tomadas durante a Etapa 6 (Definição dos Intervalos Iniciais e Agrupamento das Tarefas de Manutenção) foram documentadas, atendem as exigências de Saída do procedimento de referência e tem consistência para uma auditoria futura.

Q3 → Os questionamentos referentes à análise dos Pré-Requisitos e Auditoria da Etapa 6 (Definição dos Intervalos Iniciais e Agrupamento das Tarefas de Manutenção) foram ou estão sendo respondidos por membros da equipe de manutenção, operação, gerência e demais interessados ou afetados pelo programa de MCC ou pelo sistema escolhido para sua implantação. A tomada de decisão se deu pela média ponderada das respostas individuais.

Q4 → Os intervalos de manutenção foram otimizados com base nos dados estatísticos de confiabilidade e manutenibilidade do item/sistema. O equacionamento matemático, utilizado no processo decisório, é logicamente robusto e foi disponibilizado e/ou aprovado pelo proprietário ou usuário da instalação.

Q5 → As decisões tomadas contemplaram critérios heurísticos, dos operadores e mantenedores, preliminares a análise e em nenhum caso estes critérios heurísticos foram negligenciados, sem uma justificativa de consenso entre o grupo de implantação e os demais envolvidos ou afetados pelo programa de MCC.

Q6 → Todas as ações corretivas foram revisadas e os critérios que levaram a sua decisão ratificaram sua escolha como a ação de manutenção mais adequada para o modo de falha em questão.

Q7 → As tarefas de manutenção foram agrupadas, levando em conta o ciclo operacional do sistema, de modo a minimizar o impacto na sua disponibilidade.

#### Critério 2 (C2) – Abrangência da Análise:

Q1 → O contexto operacional e os riscos para a segurança, meio ambiente e financeiros, decorrentes da perda da função, estão documentados de forma auditável e foram levados em conta no processo de tomada de decisão (especialmente no caso de adiamento de ações preventivas).

Q2 → Um programa de exploração da idade do item/sistema foi proposto para todos os casos em que as tarefas de manutenção não puderam ser associadas a curvas de degradação, dados históricos ou conhecimento heurístico prévio que justificasse seus intervalos iniciais.

Q3 → O planejamento estratégico da empresa ratifica as decisões tomadas referentes aos agrupamentos e intervalos iniciais de manutenção, principalmente no que diz respeito a: disponibilidade de pessoal, material, peças sobressalentes e equipamentos.

Q4 → O setor e/ou os responsáveis pelos sobressalentes e terceirizações foram comunicados das novas necessidades e prazos para disponibilização de peças, materiais, equipamentos e serviços definidos pelo programa de MCC a ser implantado.

#### Critério 3 (C3) – Impacto das Decisões:

Q1 → As atividades de manutenção relacionadas com a preservação da segurança e do meio ambiente não tiveram seu período de execução estendido além do limite de garantia do padrão mínimo de segurança estabelecido pela MCC, inclusive nas inspeções funcionais, quando uma falha múltipla afetar a segurança.

Q2 → As atividades de manutenção com impactos apenas operacionais ou econômicos, se necessário, tiveram seu período de execução ajustado com as demais atividades após uma avaliação de custo benefício. Incluindo inspeções funcionais de itens com falhas múltiplas sem impacto na segurança ou meio ambiente.

Q3 → As atividades de manutenção de restauração e substituição preventiva não foram proteladas além do limite de vida útil estabelecido pela MCC.

Q4 → As atividades de manutenção de inspeção preditiva, quando necessário, tiveram seu período de execução ajustado, dentro do período PF, com as demais atividades após uma avaliação de custo/benefício.

Q5 → O tamanho da equipe de manutenção foi levado em consideração para estipular as frequências e o agrupamento das tarefas de manutenção.

### F.2.8 Auditoria\_Etapa 7

#### Critério 1 (C1) – Confiabilidade da Análise:

Q1 → Os pré-requisitos desta etapa foram atendidos em um nível satisfatório ou, caso contrário, uma política de melhoramento dos fatores negativos foi planejada e implementada antes do início da etapa.

Obs.: Neste quesito responda com a Nota obtida na análise dos Pré-Requisitos da Etapa 7 (Redação do Manual e Implementação).

Q2 → Todas as decisões tomadas durante a Etapa 7 (Redação do Manual e Implementação) foram documentadas, atendem as exigências de Saída do procedimento de referência e tem consistência para uma auditoria futura.

Q3 → Os questionamentos referentes à análise dos Pré-Requisitos e Auditoria da Etapa 7 (Redação

do Manual e Implementação) foram ou estão sendo respondidos por membros da equipe de manutenção, operação, gerência e demais interessados ou afetados pelo programa de MCC ou pelo sistema escolhido para sua implantação. A tomada de decisão se deu pela média ponderada das respostas individuais.

Q4 → As questões técnicas, humanas, gerenciais, ambientais e de segurança, relacionadas ao desempenho da manutenção e do programa de MCC, estão contempladas e documentadas de forma auditável, no manual da MCC, na seção referente aos objetivos e propósitos do programa.

Q5 → A fase implementação da MCC foi encerrada conforme as boas práticas da Gestão de Projetos. Ex.: PMBOK (Project Management Body of Knowledge) do PMI (Project Management Institute).

#### Critério 2 (C2) – Organização para Execução do Programa de MCC:

Q1 → As tarefas de manutenção estão claramente estabelecidas, descritas, documentadas de forma auditável e pactuadas entre a equipe de manutenção e a alta gerência da empresa ou gestores do ativo/sistema.

Q2 → O manual do programa de MCC estabelece procedimentos e recomendações, documentados de forma auditável, para: garantir a revisão e a realimentação do programa com dados confiabilísticos e de manutenibilidade; e consolidar os dados estatísticos e taxas de degradação da função, inclusive para aquelas falhas não previstas pelo programa de MCC.

Q3 → Todas as tarefas e controles propostos pela MCC, que resultaram em mudança de projeto na maneira de operar o ativo/sistema ou nos procedimentos rotineiros da equipe de manutenção/operação, foram implementadas adequadamente e incorporadas ao sistema de gestão da manutenção e na rotina dos operadores e mantenedores.

Q4 → Todos os operadores e mantenedores receberam treinamento adequado com base no novo programa de manutenção proposto pela MCC e estão aptos a desenvolver e documentar suas atividades e relatar possíveis inconsistências do programa de MCC para futuras revisões.

#### F.2.9 Auditoria da Etapa 8

##### Critério 1 (C1) – Confiabilidade da Análise:

Q1 → Os pré-requisitos desta etapa foram atendidos em um nível satisfatório ou, caso contrário, uma política de melhoramento dos fatores negativos foi planejada e implementada antes do início da etapa.

Obs.: Neste quesito responda com a Nota obtida na análise dos Pré-Requisitos da Etapa 8 (Acompanhamento e Realimentação).

Q2 → Todas as decisões tomadas durante a Etapa 8 (Acompanhamento e Realimentação) foram documentadas, atendem as exigências de Saída do procedimento de referência e tem consistência para uma auditoria futura.

Q3 → Os questionamentos referentes à análise dos Pré-Requisitos e Auditoria da Etapa 8 (Acompanhamento e Realimentação) foram ou estão sendo respondidos por membros da equipe de manutenção, operação, gerência e demais interessados ou afetados pelo programa de MCC, ou pelo sistema escolhido para sua implantação. A tomada de decisão se deu pela média ponderada das respostas individuais.

Q4 → Existe entendimento, apoio e comprometimento com o programa de MCC, envolvendo: equipe de manutenção, operação e alta gerência, e neste último caso, incluindo suporte financeiro.

Q5 → A gestão da informação e do conhecimento está contemplada e adequadamente tratada e se



mostrou satisfatória, ao longo da execução do programa de MCC.

Critério 2 (C2) – Melhorias e Mudanças Internas:

- Q1 → Os índices de desempenho da manutenção, assim como, os índices de aderência do programa de MCC estão sendo acompanhados e realimentam o programa de MCC.
- Os resultados do programa de MCC estão aceitáveis para a empresa, equipe de manutenção, operadores e interessados e/ou afetados pelo programa de MCC. O que leva a acreditar que as expectativas de todos foram atendidas.
- Q2 →
- Q3 → A estratégia das ações de manutenção, para o sistema no qual a MCC foi implementada, mudou após a implantação da MCC.
- Q4 → Aumentou a importância dada ao registro dos dados de confiabilidade e manutenibilidade do sistema no qual a MCC foi implementada.
- O programa de MCC tem recebido melhoramentos contínuos, entre os quais: treinamentos para a equipe de manutenção; modernização de equipamentos para as ações de manutenção, especialmente preditivas; e investimentos para coleta e processamento de dados para a manutenção.
- Q5 →

Critério 3 (C3) – Planejamento e Controle:

- Q1 → As frequências individuais das tarefas de manutenção estão compatíveis com o tamanho da equipe.
- As análises feitas ao longo do processo de implantação da MCC se confirmaram, caso contrário, as realimentações e revisões do programa estão sendo conduzidas de acordo com o planejamento inicial.
- Q2 →
- Os desvios do planejamento inicial da MCC estão sendo monitorados para garantir sua atualização e otimização dos resultados. Entre os principais itens monitorados estão: reparos funcionais não previstos; modificações no projeto das instalações e/ou sistemas; disponibilidade de novas técnicas e/ou informações; custo benefício; e alterações no contexto operacional.
- Q3 →
- Os sistemas computacionais, de apoio a manutenção e a MCC, se mostraram adequados ao tamanho e complexidade do sistema no qual a MCC foi implantada. Esta adequação se refere tanto as funcionalidades de uso geral da equipe/setor de manutenção quanto às específicas da MCC.
- Q4 →



# APÊNDICE G

## IMPLEMENTAÇÃO COMPUTACIONAL

Apresenta a implementação computacional do DALF-MCC e suas ferramentas complementares com relação às funcionalidades e detalhes da interface com o usuário



## IMPLEMENTAÇÃO COMPUTACIONAL

## G.1 DALF-MCC

Este item apresenta aspectos complementares àqueles mostrados no Capítulo 6, referentes ao DALF-MCC (Diagnóstico Auxiliado por Lógica *Fuzzy* para a Manutenção Centrada na Confiabilidade).

## G.1.1 Processo de Fuzzyficação e Desfuzzyficação

Os objetivos deste item são: explicitar como o DALF-MCC determina quais os termos primários do conjunto *Fuzzy*, referentes a uma determinada variável lingüística, serão afetados pela atribuição de uma nota a um determinado quesito, ou seja, uma fuzzyficação; e como ocorre a conversão de um conjunto *Fuzzy*, resultante de um processo de agregação, em uma nota (valor *crisp*), ou seja, uma desfuzzyficação.

No DALF-MCC, o usuário pode parametrizar os termos primários (Ruim, Baixa, Boa, Alta ou Ótima) que compõem uma variável lingüística, a qual será utilizada no processo de inferência de qualquer uma das maneiras mostradas na Figura G.1.

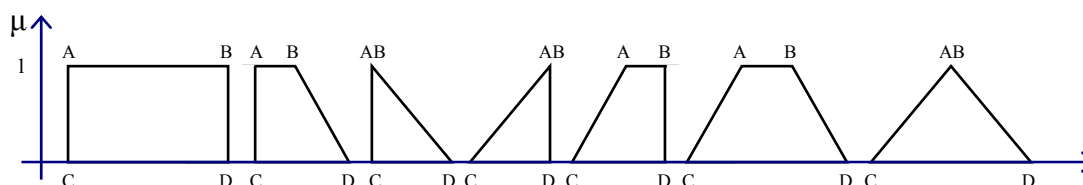


Figura G.1 – Possíveis Configurações dos Termos Primários no DALF-MCC.

Para exemplificar o processo de fuzzyficação e desfuzzyficação, será tomando como exemplo, a atribuição de uma nota 1,8 ao quesito Q1 (Estratégia de Manutenção) do Critério C2 (Condição e Desempenho Atual da Manutenção) pertencente à Etapa 0 (Adequação da MCC), com a parametrização dos termos primários conforme mostrado na Figura G.2.

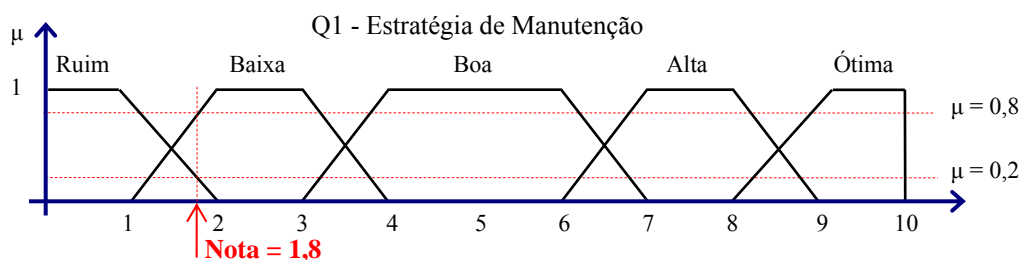
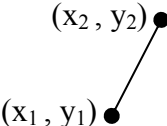


Figura G.2 – Exemplo de Ponderação para Et\_0\_C\_2\_Q\_1.

Os termos primários, afetados pela atribuição da nota (1,8), dependem da função de pertinência dos mesmos, neste caso, a equação da reta suporte dos pontos que compõe cada um dos termos primários de Q1 (laterais, núcleo e suporte dos paralelogramos que representam cada termo primário). Nesta equação de reta, respeitando-se seu intervalo de existência, substitui-se a nota atribuída (1,8) e encontra-se o valor correspondente ao grau de pertinência da nota ao termo primário que, neste caso, corresponde ao ponto de corte ( $\alpha$ -cut) proporcionado pela referida nota.

A equação de uma reta que passa por 2 pontos  $[(x_1, y_1)$  e  $(x_2, y_2)]$  é dada por:



$$y - y_1 = \frac{(y_2 - y_1)}{(x_2 - x_1)} \cdot (x - x_1) \quad \text{ou} \quad y = \frac{(y_2 - y_1)}{(x_2 - x_1)} \cdot (x - x_1) + y_1 \quad \text{G.1}$$

Com base na Figura G.2, os seguintes pontos compõem os termos primários utilizados neste exemplo: (Ruim (0 0) (0 1) (1 1) (2 0)) / (Baixa (1 0) (2 1) (3 1) (4 0)) / (Boa (3 0) (4 1) (6 1) (7 0)) / (Alta (6 0) (7 1) (8 1) (9 0)) e (Ótima (8 0) (9 1) (10 1) (10 0)). Tomando como referência a Equação G.1 e substituindo os pontos 2 a 2, com o cuidado de verificar o intervalo de existência de cada função de pertinência (reta suporte), têm-se as seguintes equações relativas à função de pertinência de cada termo primário:

Ruim: Para  $0 \leq x \leq 1$  tem-se:  $y = 1$

Para  $1 < x \leq 2$ , adotando-se os pontos (1 1) (2 0) tem-se:  $y = 2 - x$

Baixa: Para  $1 \leq x < 2$ , adotando-se os pontos (1 0) (2 1) tem-se:  $y = x - 1$

Para  $2 \leq x \leq 3$  tem-se:  $y = 1$

Para  $3 < x \leq 4$ , adotando-se os pontos (3 1) (4 0) tem-se:  $y = 4 - x$

Boa: Para  $3 \leq x < 4$ , adotando-se os pontos (3 0) (4 1) tem-se:  $y = x - 3$

Para  $4 \leq x \leq 6$  tem-se:  $y = 1$

Para  $6 < x \leq 7$ , adotando-se os pontos (6 1) (7 0) tem-se:  $y = 7 - x$

Alta: Para  $6 \leq x < 7$ , adotando-se os pontos (6 0) (7 1) tem-se:  $y = x - 6$

Para  $7 \leq x \leq 8$  tem-se:  $y = 1$

Para  $8 < x \leq 9$ , adotando-se os pontos (8 1) (9 0) tem-se:  $y = 9 - x$

Ótima: Para  $8 \leq x < 9$ , adotando-se os pontos (8 0) (9 1) tem-se:  $y = x - 8$

Para  $9 \leq x \leq 10$  tem-se:  $y = 1$

Substituindo a nota 1,8 nos intervalos de existência afetados por ela, tem-se:

Ruim: Para  $1 < x \leq 2$ :  $y = 2 - x$ . Portanto com Nota = 1,8 tem-se:  $y = 0,2$

Baixa: Para  $1 \leq x < 2$ :  $y = x - 1$ . Portanto com Nota = 1,8 tem-se:  $y = 0,8$

Portanto, a nota 1,8 afeta ou pertence ao termo primário Ruim com um Grau de Pertinência ( $\mu$ ) = 0,2, e ao termo primário Baixa com um Grau de Pertinência ( $\mu$ ) = 0,8. Este procedimento caracteriza a fuzzyficação, cujo resultado impacta o processo de implicação que irá determinar os conseqüentes das regras durante a inferência *Fuzzy*.

O processo inverso do anterior, ou seja, a determinação de um valor numérico (*crisp*) a partir de um conjunto *Fuzzy*, resultante de uma agregação, caracteriza a desfuzzyficação, para a qual o DALF-MCC se utiliza da Equação G.2.

$$S = \frac{\sum_{\forall C_i \in U_C} x_{C_i} \cdot (A_{C_i})}{\sum_{\forall C_i \in U_C} (A_{C_i})} \quad \text{G.2}$$

Onde:

- S é o valor numérico de saída (valor *crisp*);
- $A_{C_i}$  é a área de cada subconjunto *Fuzzy*, que compõe um conjunto *Fuzzy* C, resultante de um processo de agregação, em um universo de discurso U;
- $x_{C_i}$  é o baricentro geométrico de cada elemento  $A_{C_i}$ ;

Para o cálculo da área de cada subconjunto *Fuzzy* presente na Equação G.2, o DALF-MCC utiliza a Equação G.3, incluída na Figura G.3, para todos os casos permitidos de parametrização dos termos primários.

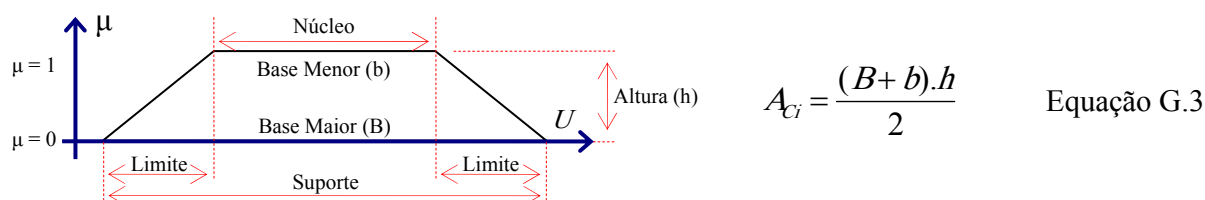


Figura G.3 – Determinação da Área  $A_{C_i}$  da Equação G.2.

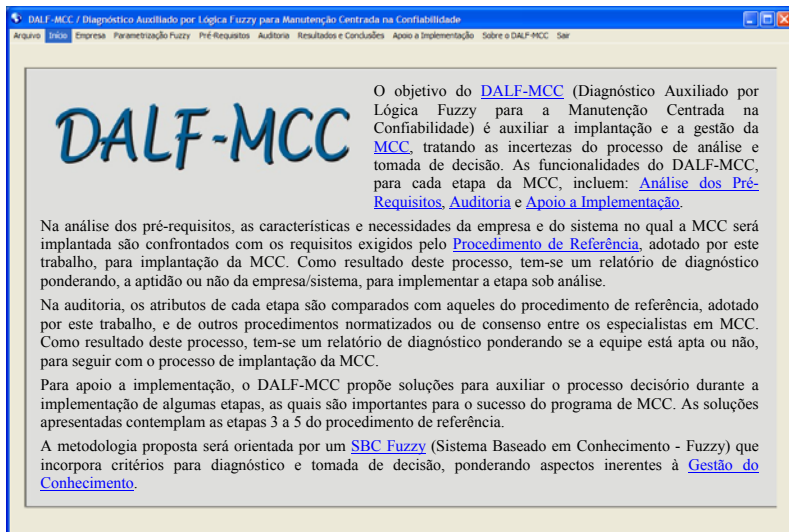
A Equação G.3 se aplica a todas as parametrizações possíveis feitas pelo usuário, tais como: retângulos, quadrados, trapézios regulares ou irregulares e triângulos ( $b = 0$ ). Incluindo termos primários cortados ( $0 < \alpha\text{-cut} \leq 1$ ) resultantes de um processo de fuzzyficação.

### G.1.2 Interface com o Usuário

O propósito deste item é elucidar os principais aspectos da interface com o usuário do DALF-MCC, a qual estrutura e conduz a metodologia proposta, tanto na fase de análise dos pré-requisitos quanto na fase de auditoria.

A tela inicial do DALF-MCC (Menu Início), mostrada na Figura G.4, aborda seus aspectos gerais e objetivos. Nesta tela estão disponíveis *hiperlinks*, que dão acesso a área de ajuda.

A ajuda trata-se de um arquivo HTML, com *hiperlinks* internos, o qual esclarece os principais conceitos inerentes à metodologia proposta, seu domínio de conhecimento e os pontos passíveis de dúvidas por parte do usuário.



Informações para o usuário com *hiperlinks* para arquivo de ajuda em HTML.

O arquivo de ajuda detalha os principais conceitos e termos utilizados no DALF-MCC.

Figura G.4 – Tela Inicial do DALF-MCC (Menu Início).

Na tela de identificação e caracterização da empresa do DALF-MCC (Menu Empresa), mostrada na Figura G.5, o usuário pode inserir os dados gerais da empresa, as datas e os responsáveis pelos estudos, anterior e atual, desenvolvidos pelo DALF-MCC bem como as observações gerais que julgue necessárias. Estes dados irão compor o relatório final do DALF-MCC (cabecalho do relatório), tanto para a fase de análise dos pré-requisitos quanto para a fase de auditoria.

Dados gerais da Empresa.

Data e Responsáveis pelo estudo atual e anterior.

Observações gerais que o usuário julgar necessárias.

Informações e instruções para o usuário.

Figura G.5 – Tela de Identificação e Caracterização da Empresa (Menu Empresa).

Para incorporar a incerteza por imprecisão (léxica), ambos, critérios e quesitos, serão tratados como variáveis lingüísticas *Fuzzy*, cujos termos primários compõem a avaliação de cada etapa (pré-requisitos e auditoria). Estas variáveis lingüísticas são configuradas na tela de Parametrização *Fuzzy* do DALF-MCC (Figura G.6).



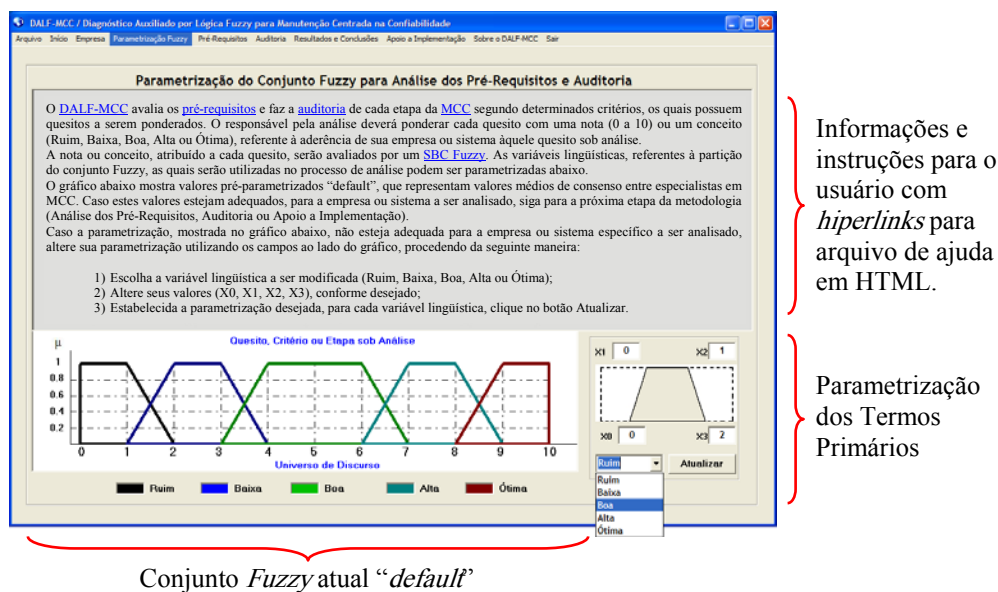


Figura G.6 – Tela de Parametrização (Menu Parametrização Fuzzy).

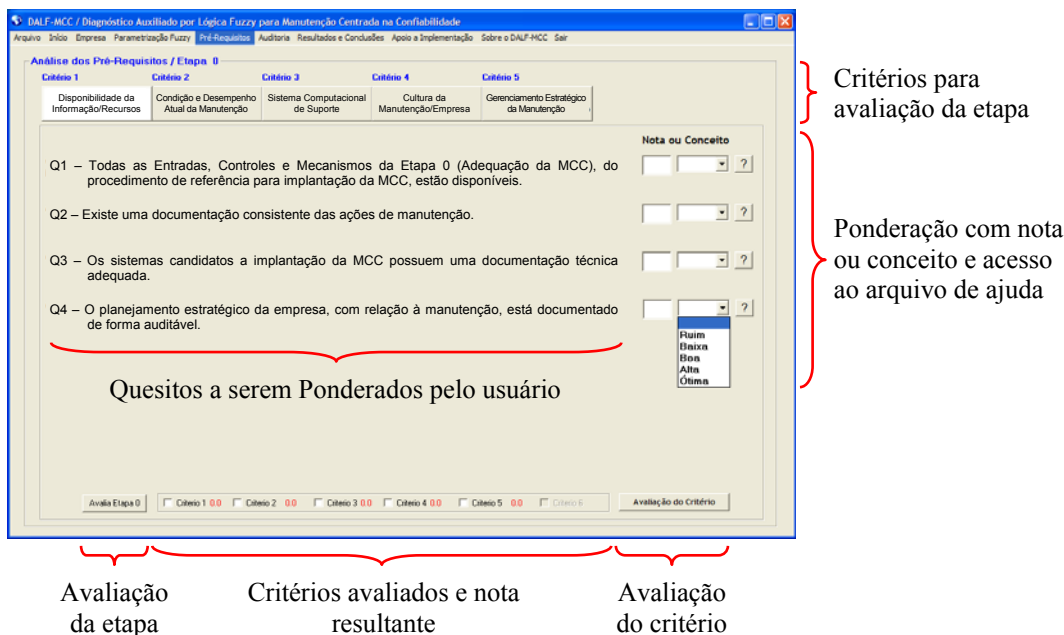
Os dados inseridos na tela de Parametrização *Fuzzy* são utilizados para a ponderação de todos os quesitos, os quais compõem os critérios que servirão de base para avaliação dos pré-requisitos e auditoria de todas as etapas do procedimento de implantação da MCC. Para proceder à modificação dos termos primários o usuário deve: escolher a variável linguística a ser modificada (Ruim, Baixa, Boa, Alta ou Ótima); alterar seus valores (X0, X1, X2, X3), conforme desejado; e, uma vez estabelecida a parametrização desejada para cada termo primário, clicar no botão atualizar. Conforme enfatizado no Capítulo 5 o processo de parametrização deve ser conduzido por um especialista em MCC e no domínio da aplicação. O conhecimento/experiência deste especialista servirá de base para a definição das funções de pertinência, as quais definirão os termos primários e, assim duas situações poderão ocorrer:

1. A parametrização é concebida de forma condizente com o domínio da aplicação e, neste caso, a ponderação dos quesitos irá, indiretamente, retratar o grau de maturidade e aderência da empresa quando comparada com outras do mesmo domínio de aplicação;
2. A parametrização retrata o consenso entre o(s) especialista(s) e os membros da equipe de implementação, levando em conta as especificidades da aplicação.

Em ambas as situações a parametrização deve ser conhecida pelos usuários para que a ponderação dos quesitos retrate, da maneira mais íntegra possível, a realidade da empresa/sistema.

Na tela de ponderação dos pré-requisitos (Figura G.7) e auditoria (Figura G.8) o usuário atribui uma nota ou um conceito para cada quesito submetido a análise, sendo que: a nota deve estar dentro do universo de discurso configurado na tela de parametrização *Fuzzy* (no DALF-MCC o universo de discurso poderá assumir qualquer intervalo entre 0 e 10); e o conceito poderá ser qualquer um dos termos primários *Fuzzy* disponíveis (Ruim, Baixa, Boa, Alta ou Ótima). A conjugação de nota e conceito possibilita ao usuário utilizar-se do mecanismo que lhe seja mais

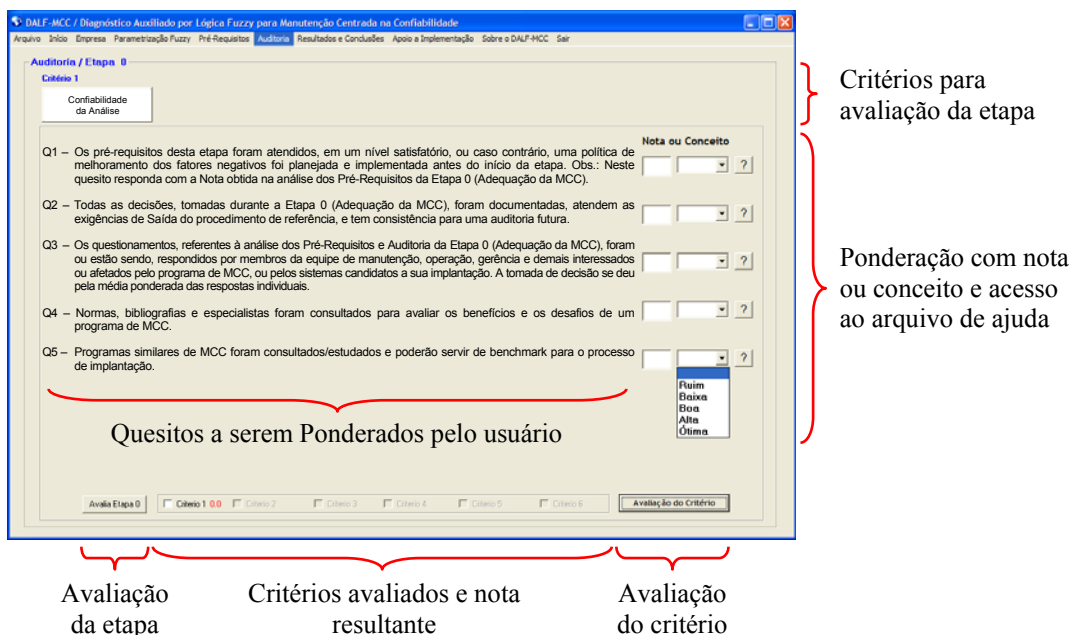
intuitivo para a ponderação dos quesitos. Como resultado desse processo se espera obter uma ponderação que espelhe a realidade da empresa/sistema, da maneira mais confiável possível.



Avaliação da etapa      Critérios avaliados e nota resultante      Avaliação do critério

Figura G.7 – Tela de Ponderação dos Pré-Requisitos (Menu Pré-Requisitos).

Somente após ponderar todos os quesitos que compõem um critério, o usuário poderá solicitar uma avaliação do respectivo critério (botão inferior direito das telas de análise de pré-requisitos e auditoria). Os critérios avaliados e as respectivas notas obtidas aparecem na parte inferior das telas de análise de pré-requisitos e auditoria. Cada quesito tem associado a ele um botão de ajuda (lado direito dos campos de ponderação) que dá acesso a explicações pormenorizadas de cada quesito para que o usuário possa balizar sua ponderação. Avaliados todos os critérios da etapa, o usuário poderá solicitar a avaliação da respectiva etapa (botão inferior esquerdo das telas de análise de pré-requisitos e auditoria).



Avaliação da etapa      Critérios avaliados e nota resultante      Avaliação do critério

Figura G.8 – Tela de Ponderação para Auditoria (Menu Auditoria).

Para as etapas avaliadas, o DALF-MCC gera um relatório (acessado através do menu Resultados e Conclusões) contendo as ponderações do usuário e os desdobramentos do processo de inferência *Fuzzy* incluindo seus resultados e conclusões. O próximo item mostra em detalhes o conteúdo dos relatórios de análise dos pré-requisitos e auditoria desenvolvidos pelo DALF-MCC.

### G.1.3 Resultados e Conclusões do Processo de Inferência

Os resultados e conclusões do processo de inferência *Fuzzy* são condensados em um relatório, o qual está dividido nas seguintes seções: cabeçalho; resultados, conclusões e sugestões referentes à Avaliação da Etapa; e resultados, conclusões e sugestões referentes à Avaliação dos critérios e seus respectivos quesitos.

O Cabeçalho mostra os dados que foram inseridos na tela de identificação e caracterização da empresa do DALF-MCC (Menu Empresa). Os dados que compõem o Cabeçalho são mostrados em todos os relatórios, tanto para a fase de análise dos pré-requisitos quanto para a fase de auditoria. A Figura G.9 mostra um Cabeçalho genérico preenchido com os dados esperados em cada campo.

<b>Dados Gerais</b>	
<b>Nome da Empresa:</b>	Nome da Empresa/Sistema onde a MCC será Implantada
<b>Endereço:</b>	Endereço da Empresa/Sistema onde a MCC será Implantada
<b>Data do Estudo Atual:</b>	Data Atual de Avaliação da Etapa
<b>Responsável pelo Estudo Atual:</b>	Nome do Responsável pela Avaliação Atual da Etapa
<b>Data do Estudo Anterior:</b>	Data Anterior de Avaliação da Etapa
<b>Responsável pelo Estudo Anterior:</b>	Nome do Responsável pela Avaliação Anterior da Etapa
<b>Observações Gerais:</b>	Quaisquer Observações que o Usuário Julgar Necessárias

Dados inseridos pelo usuário na tela de Identificação e Caracterização da Empresa (Menu Empresa)

Figura G.9 – Relatório (Cabeçalho Pré-Requisitos e Auditoria).

Na parte do relatório referente aos resultados e conclusões relativas à avaliação da etapa, os seguintes dados são submetidos ao usuário para auxiliar sua tomada de decisão: os conjuntos *Fuzzy* relativos à avaliação dos critérios, formados após a agregação referente à ponderação dos quesitos, com suas respectivas notas resultantes desfuzzyficadas; o conjunto *Fuzzy* relativo à avaliação da etapa sob análise, formado após a agregação dos conjuntos *Fuzzy* referentes à avaliação dos critérios, com sua respectiva nota resultante desfuzzyficada; as conclusões e sugestões do SBC-*Fuzzy* relativas ao resultado final de avaliação da etapa sob análise. A Figura G.10 mostra os resultados da avaliação dos pré-requisitos da Etapa 0, a partir da ponderação dos quesitos conforme ilustrado no Capítulo 6.

Após a avaliação da etapa, o relatório mostra os resultados, conclusões e sugestões referentes à avaliação dos critérios e a ponderação de seus respectivos quesitos. A Figura G.11 mostra os resultados da avaliação do Critério 3 da Etapa 0, a partir da ponderação de seus quesitos conforme ilustrado no Capítulo 6.

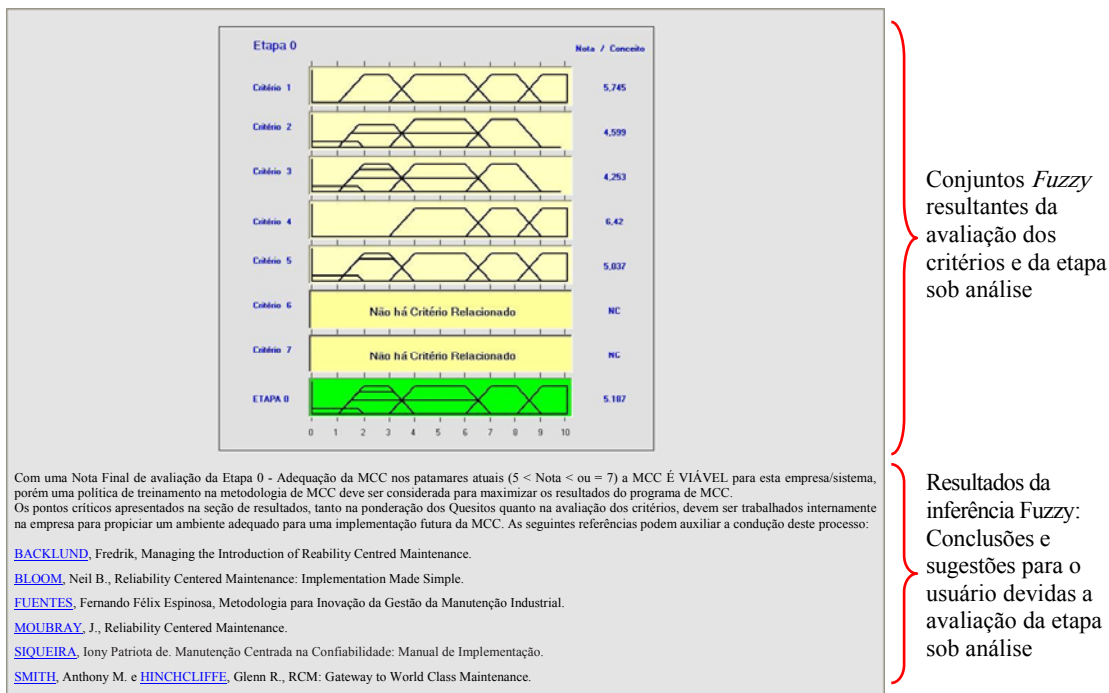
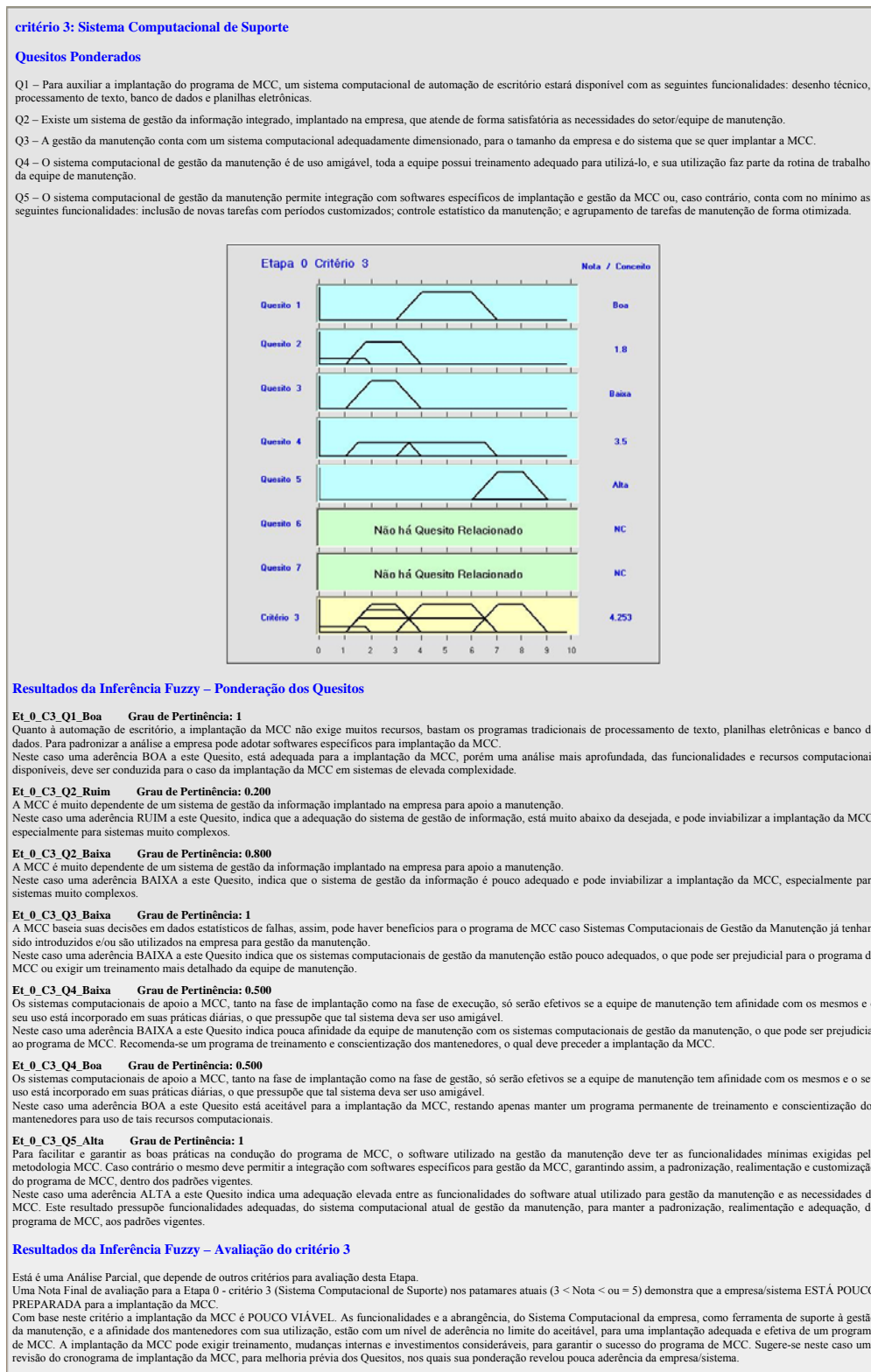


Figura G.10 – Relatório (Avaliação da Etapa 0).

Os dados constantes nesta parte do relatório (avaliação dos critérios e seus quesitos) explicitam o processo de inferência que resultou na avaliação da etapa e as conseqüentes conclusões e sugestões para o usuário. Os seguintes dados são submetidos ao usuário para auxiliar sua tomada de decisão: os quesitos, os quais foram ponderados pelo usuário para avaliação do critério; os conjuntos *Fuzzy* relativos à ponderação dos quesitos, com suas respectivas notas ou conceitos atribuídos pelo usuário; o conjunto *Fuzzy* relativo à avaliação do critério sob análise, formado após a agregação dos conjuntos *Fuzzy* referentes à ponderação dos quesitos, com sua respectiva nota resultante desfuzzyficada; as conclusões e sugestões do *SBC-Fuzzy*, com seus respectivos graus de pertinência, relativas à ponderação dos quesitos feita pelo usuário; e as conclusões e sugestões do *SBC-Fuzzy*, relativas ao resultado final de avaliação do critério sob análise.

Resultados semelhantes aos exemplificados nos parágrafos precedentes, em formato e funcionalidade, são obtidos nos relatórios relativos à avaliação dos pré-requisitos e auditoria de todas as etapas que compõem o procedimento de referência, incorporado ao DALF-MCC. Portanto, além dos resultados da desfuzzyficação, o DALF-MCC inclui: subsídios que auxiliam a tomada de decisão e a gestão do conhecimento inerente aos atributos atuais da empresa e sua relação com as necessidades e fatores críticos de sucesso da MCC; explicação sobre o processo de inferência que culminou com as conclusões e sugestões apresentadas; comentários, conclusões e sugestões referentes à aderência ou não da empresa às necessidades da MCC; e recomendações para ações futuras com base na situação atual da empresa/sistema.



Quesitos que foram ponderados pelo usuário

Conjuntos *Fuzzy* resultantes da ponderação dos quesitos feita pelo usuário

Resultados da inferência *Fuzzy*: respostas para o usuário devidas a ponderação dos quesitos

Resultados da inferência *Fuzzy*: respostas para o usuário devidas a avaliação do critério

Figura G.11 – Relatório (Etapa 0 – Critério 3).

## G.2 OPEN-FMECA

Este item apresenta informações complementares, àquelas presentes no Capítulo 6, referentes ao OpenFMECA, um software para auxiliar o uso da técnica FMECA desenvolvido para ser instalado em um servidor e utilizado via navegador de internet (*browser*).

## G.2.1 Interface e Estrutura do OpenFMECA

A estrutura de tabelas e informações relativas à FMECA, utilizada no OpenFMECA, segue as recomendações da SAE J1739. A tela de abertura (*home*), ilustrada na Figura G.12, está dividida em 3 seções: Apresentação, Sistemas, e Configurações.

Na seção “Configuração” pode-se fazer a seleção das pessoas que farão parte da equipe de cada FMECA e também estipular a faixa de valores dos índices de Severidade (S), Ocorrência (O) e Detecção (D), conforme ilustrado na Figura G.13. Adicionalmente, é possível alterar os limites dos índices que compõem o NPR a fim de dar mais peso a um determinado atributo, por exemplo: Severidade variando de 1 a 20, Ocorrência variando de 1 a 10 e Detecção variando de 1 a 5, o que resultaria em um peso relativo de 4 para 2 para 1, respectivamente. Caso se deseje cadastrar um novo participante das FMECA’s existentes, pode-se fazê-lo a partir do botão “Cadastrar Pessoa”, ilustrado na Figura G.14.

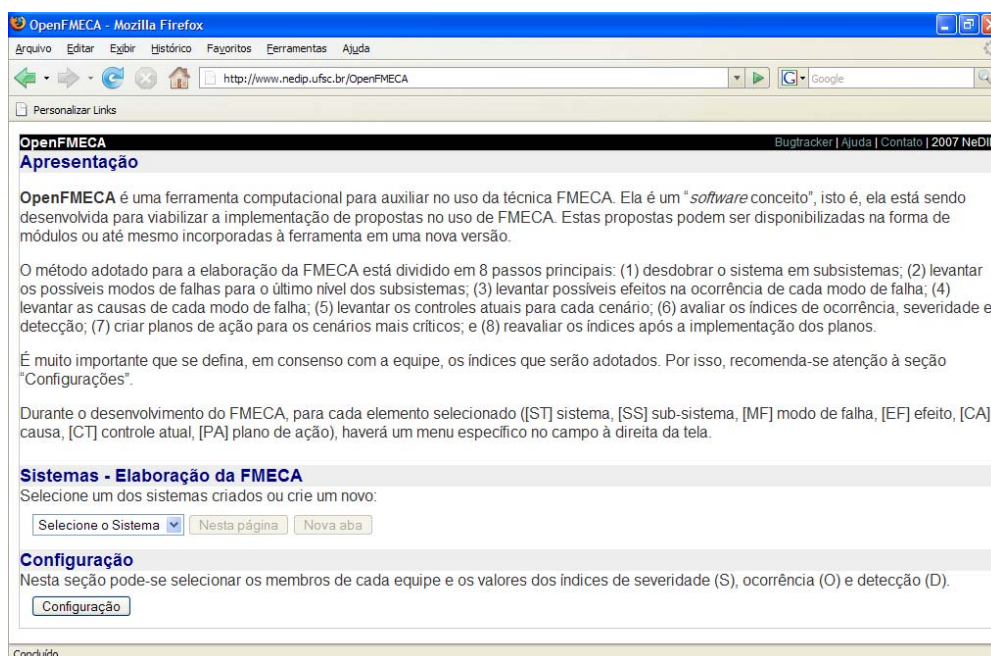


Figura G.12 – Tela de Apresentação do OpenFMECA.

Na seção “Sistemas – Elaboração da FMECA” seleciona-se o sistema que se deseja analisar ou cria-se um novo sistema. Uma vez selecionado, pode-se abrir a FMECA do sistema na mesma ou em uma nova aba do navegador. A Figura G.15 ilustra uma tela de FMECA de um sistema exemplo.

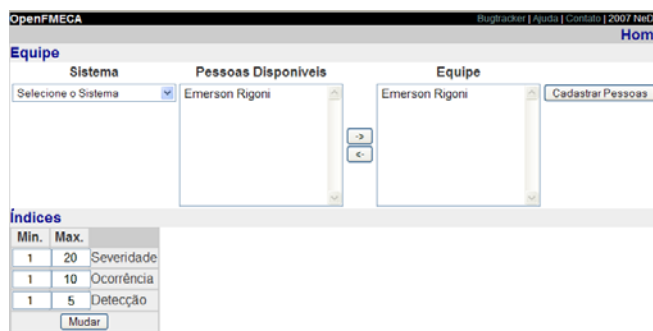


Figura G.13 – Tela de Configurações do OpenFMECA.

O primeiro passo da seção “Sistemas”, no OpenFMECA, é o desdobramento do sistema em subsistemas até a resolução desejada. Para tanto, utiliza-se a opção “Novo Subsistema” na barra lateral direita. Pode-se, então, incluir os possíveis Modos de Falha (MF) dos subsistemas que estão no último nível do desdobramento. Desta forma, a FMECA é elaborada no formato de árvore, o que melhora a visualização e o entendimento.

Figura G.14 – Tela de Inclusão de Participante na Base de Dados do OpenFMECA.

O passo seguinte é a inclusão dos possíveis efeitos e causas de cada modo de falha, para cada subsistema. As opções apresentadas na barra lateral são adaptadas ao contexto. Quando selecionado um modo de falha, por exemplo, exibem-se opções como “Avaliar” e “Reavaliar” índices, enquanto que, no caso de se selecionar um subsistema, apresentam-se opções como “Relatório Standard” e “Relatório Descritivo”, situações ilustradas nas Figuras G.15 (a) e (b), respectivamente.

(a) Modo de Falha

(b) Subsistema

Figura G.15 – Tela de Elaboração da FMECA (Exemplo Disjuntor).

O passo seguinte é a determinação dos índices que irão compor a criticidade. Para tanto, seleciona-se a opção “Índices → Avaliar” na barra lateral (Figura G.15 a) e uma nova aba abrirá com campos para serem preenchidos com as estimativas dos índices, conforme ilustrado na Figura G.16.

Disjuntor_estrutural > Vedações > Alojamento					
Falta de chanfro: <i>É preciso que haja chanfro para facilitar a montagem do anel.</i>					
Efeitos	S	Causas	O	Controles Atuais	D NPR
Vazamento	4	Erro de projeto	2	Revisão de projeto Teste de estanqueidade	3 24
		Erro de fabricação	4	Teste de estanqueidade	3 48

Figura G.16 – Tela de Avaliação de Índices.

Assim que os índices de severidade, ocorrência e de detecção forem inseridos, o OpenFMECA apresentará o valor do NPR. Pode-se, então, incluir as ações que deverão ser tomadas para a redução do NPR. Na opção “Nova Ações”, disponível quando se seleciona uma causa, pode-se inserir, além da descrição da ação, o responsável, a data limite para a execução e a estimativa de custo. Selecionada uma determinada causa, pode-se também incluir como está sendo feita a detecção usando a opção “Novo Controle Atual”. Adicionalmente, pode-se gerenciar o cadastro de Efeitos, Controles Atuais e Plano de Ações. Esses elementos da FMECA devem ser cadastrados no OpenFMECA para serem atribuídos a um determinado modo de falha. Assim, nestas seções pode-se excluir, substituir ou modificar elementos existentes ou criar novos (Figura G.17).



(a) Gerenciamento de Ações

(b) Gerenciamento de Controles Atuais

Figura G.17 – OpenFMECA: Gerenciamento de Ações e Controles Atuais.

Pode-se rever a estimativa dos valores dos índices, após a implementação do plano de ações, na opção “Índices → Reavaliar” (Figura G.15), o que resultará na tela mostrada na Figura G.18.

Disjuntor_estrutural > Vedações > Alojamento											
Falta de chanfro: <i>É preciso que haja chanfro para facilitar a montagem do anel.</i>											
Efeitos	S	Causas	O	Controles Atuais	D	NPR	Plano de Ações	Índices após ações			
								S	O	D	NPR
-Vazamento	4	Erro de projeto	2	-Revisão de projeto -Teste de estanqueidade	3	24					
		Erro de fabricação	4	-Teste de estanqueidade	3	48	Elaborar procedimento para verificar chanfro na montagem	--	--	--	0

Figura G.18 – Tela de Reavaliação de Índice.

Quanto aos relatórios, gerados pelo OpenFMECA, a versão atual disponibiliza: a Tabela STD, que é a usual da FMECA, baseada na estrutura apresentada na SAE J1739; e o Relatório Descritivo de cada elemento que compõem a FMECA. Situações ilustradas nas Figuras G.19 (a) e (b), respectivamente.

Além de servir aos propósitos deste trabalho e do NEDIP, o OpenFMECA estará disponível em uma página criada no sítio SourceForge.net (<http://sourceforge.net/>), o que viabilizará um canal de relato de problemas (*bugs*) e sugestões de melhorias na interface e no código.



Disjuntor_estrutural > Vedações > Anel oring										
Modos de Falha	Efeitos	S	Causas	O	Controles Atuais	D	NPR	Plano de Ações	Responsável	Data
Deformação permanente	Vazamento	3	Seleção inadequada da composição	2		6	36			
Retorcido	Vazamento	-	Deslizamento a seco	-		-	-			
			Falta de lubrificante na montagem	-		-	-			
			Material com baixa dureza	-		-	-			
			Peças excêntricas	-	Testes do anel oring Revisão de projeto	-	-			
			Montado enrolado	-		-	-			
Desgaste (abrasão)	Vazamento	-	Falta de lubrificante	-		-	-			
			Presença de impurezas no fluido do sistema	-		-	-			

(a) Relatório em Tabela STD (SAE J1739)

[S]Disjuntor\_estrutural

O FMECA do disjuntor aqui realizado apresenta apenas os componentes associados com o vazamento de gás SF<sub>6</sub>.

[SS]Vedações

São os elementos responsáveis em manter o gás dentro do disjuntor: Anéis orings, gaxetas, graxa de silicone, bucha e canais de alojamentos

[SS]Anel oring

Anel fabricado de elastômero

[MF]Retorcido

A superfície do oring se caracteriza pelas marcas em espiral que algumas vezes produz cortes profundos causando a falha.

Efeitos:

[EF]Vazamento

O vazamento ocorrerá como resultado de problemas nos componentes envolvidos na vedação.

Causas:

[CA]Peças excêntricas

Controles Atuais:

[CT]Testes do anel oring

Testes no anel oring permitem avaliar as suas características, como a resistência do material, para suportar as condições de operação.

[CT]Revisão de projeto

As especificações dos anéis oring, alojamentos etc. durante a etapa de projeto do equipamento, como as características de materiais, dimensões entre outras, podem apresentar erros que resultam no vazamento de gás.

(b) Relatório descritivo

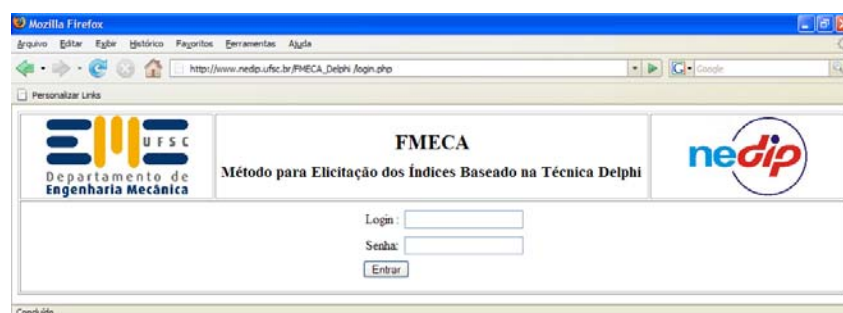
Figura G.19 – Relatórios OpenFMECA.

### G.3 FMECA-DELPHI

Este item apresenta informações complementares, àquelas presentes no Capítulo 6, referentes ao FMECA-Delphi, um software que utiliza a técnica Delphi para elicitação do Número de Prioridade de Risco (NPR) com especialistas não presenciais, cooperando em um ambiente virtual.

#### G.3.1 Interface e Estrutura do FMECA-Delphi

Para proporcionar uma comunicação mais eficiente entre os especialistas e o moderador da FMECA, foi implementada uma página na internet para que cada especialista pudesse expressar sua opinião quanto aos índices que compõem a avaliação da criticidade, seguindo a estrutura do método proposto. A página foi desenvolvida em PHP, JavaScript (biblioteca XAJAX) e MySQL e permite que cada usuário tenha um ambiente individualizado, a Figura G.20 ilustra a tela de *login*.

Figura G.20 – Tela de *Login* do FMECA-Delphi.

Cada especialista tem, no respectivo ambiente, a possibilidade de consultar textos sobre: o método proposto; a técnica FMECA; e sobre o sistema técnico em análise. Adicionalmente, o especialista é solicitado a preencher suas informações profissionais, mostradas na Figura G.21, destacadamente o tempo de experiência, o qual será utilizado no cálculo dos índices.

Figura G.21 – Tela do Formulário Sobre o Especialista.

O usuário poderá, então, iniciar o preenchimento dos campos da FMECA referentes à primeira iteração do método. A Figura G.22 ilustra esse processo, na qual os campos destacados em amarelo evidenciam que o especialista ainda não entrou com uma estimativa para o valor do respectivo índice ou grau de confiança.

Função	Modo de falha	Efeito	S	GCs	Causas	O	GCs	Controles atuais	D	GCd	NPR
Vedar o flange do contato fixo do disjuntor para manter o SF6 dentro dos níveis de pureza especificados pela IEC 60376	Não consegue vedar o flange do contato fixo do disjuntor para manter o SF6 dentro dos níveis de pureza especificados pela IEC 60376	<ul style="list-style-type: none"> <li>Vazamento de SF6</li> <li>Entrada de contaminantes na câmara de extinção</li> <li>Perda das características dielétricas e de extinção do SF6</li> <li>Aumento dos danos causados pelo arco elétrico</li> <li>Redução da pressão interna do SF6</li> <li>Abertura do disjuntor caso este esteja fechado</li> </ul>	0	0	Material inadequado do anel de vedação	0	0	<ul style="list-style-type: none"> <li>Testes laboratoriais</li> <li>Inspeção de vazamento</li> </ul>	0	0	0
			Material inadequado do anel de vedação	0	0	<ul style="list-style-type: none"> <li>Testes laboratoriais</li> <li>Inspeção de vazamento</li> </ul>	0	0	0		
			Acabamento inadequado da ranhura do flange	0	0	<ul style="list-style-type: none"> <li>Inspeção Visual</li> <li>Inspeção de vazamento</li> </ul>	0	0	0		
			Dimensões inadequadas da ranhura do flange	0	0	<ul style="list-style-type: none"> <li>Inspeção Visual</li> <li>Inspeção de vazamento</li> </ul>	0	0	0		
			Limpeza inadequada da ranhura do flange antes da colocação do anel de vedação	0	0	<ul style="list-style-type: none"> <li>Medições de campo</li> <li>Inspeção de vazamento</li> </ul>	0	0	0		
			Torque inadequado nos parafusos de união	0	0	<ul style="list-style-type: none"> <li>Medições de campo</li> </ul>	0	0	0		

Figura G.22 – Tela da Primeira Iteração.

Ao final do prazo para a execução da primeira iteração, o moderador, que tem um ambiente distinto, poderá verificar as estatísticas dos índices (S, O, D e GC), no relatório “Tabela Geral 1”

e, posteriormente, definir o próximo passo do processo, selecionando o botão de opções “Informações” e pressionando o botão de ação “Definir” (Figura G.23).

Departamento de Engenharia Mecânica		FMECA Método para Elicitação dos Índices Baseado na Técnica Delphi			nedip	
Administrador		Relatório - <a href="#">Tabela Geral 1</a> - <a href="#">Informações</a> - <a href="#">Tabela Geral 2</a>			Sair	
<input checked="" type="radio"/> 1ª Iteração		<input type="radio"/> Informações		<input type="radio"/> 2ª Iteração		Definir
Especialista	Med - DP			Med	Med + DP	
Experiência	1	1	1			
IIS1	9	8	9	8.08	8.66	9.24
IIGCS1	0	7	8			
IIS1O1	4	4	4	4	4	4
IIS1GCO1	0	7	9			
IIS1D1	3	4	3	2.75	3.33	3.91
IIS1GCD1	0	7	9			
IIS1O2	3	4	7	2.58	4.66	6.74
IIS1GCO2	0	6	8			
IIS1D2	3	4	3	2.75	3.33	3.91
IIS1GCD2	0	7	9			
IIS1O3	5	5	5	5	5	5

Figura G.23 – Tela do Relatório da Primeira Iteração.

Na próxima vez que o usuário entrar na página do FMECA-Delphi, a barra lateral esquerda apresentará como única opção da seção “Elicitação dos Índices”, a ligação para “Informações Adicionais”, conforme observado na Figura G.24. Na tela de Informações Adicionais, o especialista é orientado a expor as informações em que se baseou na avaliação dos índices destacados na cor Vermelha, os quais são as estimativas feitas por ele que ficaram fora da faixa de um desvio padrão, abaixo ou acima da média. O especialista tem liberdade de incluir informações sobre os índices que achar conveniente, no entanto, solicita-se que, no mínimo, entre com as informações referentes aos índices destacados em vermelho.

Departamento de Engenharia Mecânica		FMECA Método para Elicitação dos Índices Baseado na Técnica Delphi			nedip						
<b>Usuário</b> Emerson Rigoni  <b>Texto Sobre</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Método de Elicitação</li> <li>Técnica FMECA</li> <li>Sistema Técnico em Análise</li> </ul> <b>Informações Profissionais</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Formulário Sobre o Especialista</li> </ul> <b>Elicitação dos Índices</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Informações Adicionais</li> </ul> <b>Relatório</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Tabela Individual</li> </ul> <a href="#">Contato</a> <a href="#">Sair</a>		<b>Elicitação dos Índices</b> <b>Informações Adicionais</b> Inclua, de forma sucinta, os motivos que o levaram a aplicar tal Nota aos índices destacados em Vermelho. Para tanto, basta selecionar o índice e entrar com o texto explicativo no campo abaixo. Por fim, pressione o Botão “Enviar”. Neste momento o campo selecionado passará para a cor Verde, indicando que o texto foi armazenado. Para alterar um dado já enviado selecione novamente o Índice e repita o procedimento. <b>ITEM 1 - Vedação do Flange do Contato Fixo (Terminal)</b>									
Função	Modo de falha	Efeito	S	GCS	Causas	O	GCO	Controles atuais	D	GCD	NPR
Vedar o flange do contato fixo do disjuntor para manter o SF6 dentro dos níveis de pureza especificados pela IEC 60376	Não consegue vedar o flange do contato fixo do disjuntor para manter o SF6 dentro dos níveis de pureza especificados pela IEC 60376	• Vazamento de SF6 • Entrada de contaminantes na câmara de extinção • Perda das características dielétricas e de extinção do SF6 • Aumento dos danos causados pelo arco elétrico • Redução da pressão interna do SF6 • Abertura do disjuntor caso este esteja fechado	9	8	Material inadequado do anel de vedação	4	9	• Testes laboratoriais • Inspeção de vazamento	3	9	108
					Material inadequado do anel de vedação	7	8	• Testes laboratoriais • Inspeção de vazamento	3	9	189
					Acabamento inadequado da ranhura do flange	5	8	• Inspeção Visual • Inspeção de vazamento	8	9	0
					Dimensões inadequadas da ranhura do flange	5	9	• Inspeção Visual • Inspeção de vazamento	3	8	135
					Limpeza inadequada da ranhura do flange antes da colocação do anel de vedação	4	8	• Medições de campo • Inspeção de vazamento	3	8	108
					Torque inadequado nos parafusos de união	7	9	• Medições de campo	3	9	189
Adicione aqui as informações que considerou importantes ao Avaliar o item em questão: <span style="float: right;"> <input type="button" value="Cancelar"/> <input type="button" value="Enviar"/> </span>											
Informações Adicionais:											

Figura G.24 – Tela de Coleta de Informações Adicionais.

Para inserir informações adicionais, o especialista deve selecionar a caixa de texto referente a um determinado índice, ao qual deseja inserir informações, e preenchê-las na caixa de texto disposta na parte inferior da tela. Após a inclusão da justificativa, o índice passará a ser destacado na cor verde.

Ao final do prazo para inclusão das informações adicionais, o moderador poderá verificar o resultado deste processo no relatório “Informações” (Figura G.25). Nesta tela o moderador tem acesso a todas as informações coletadas e pode editá-las em uma caixa de texto na parte inferior da coluna referente ao respectivo índice. Após entrar com os textos, o moderador define o próximo passo do processo, selecionando a opção “2ª Iteração” e pressionando o botão “Definir”.

Administrador		Relatório - Tabela Geral 1 - Informações - Tabela Geral 2			
<input type="radio"/> 1ª Iteração		<input checked="" type="radio"/> Informações		<input type="radio"/> 2ª Iteração	
Especialista	IIS1Info	IIS1O1Info	IIS1D1Info	IIS1O2Info	
	-	-	-	-	
	Informações Extras sobre um Determinado Índice	-	-	-	
	-	-	-	Exemplo de Informações Adicionais	
	-	-	-	-	
	-	-	-	-	
Relatório	Pode-se Editar as Informações para a 2ª Iteração			Exemplo de Informações Adicionais	

Figura G.25 – Tela do Relatório das Informações Adicionais.

Por fim, o especialista é solicitado a reavaliar os valores atribuídos a cada índice podendo, inclusive, reavaliar todas as estimativas (Figura G.26). No entanto, solicita-se que o especialista se atenha, no mínimo, aos índices destacados em vermelho, os quais foram estimados fora da faixa de um desvio padrão abaixo e acima da média.

Os índices destacados em amarelo indicam que há alguma informação relevante disponível e, apesar da avaliação inicial se encontrar dentro da faixa central, recomenda-se atenção às informações coletadas e, caso o especialista considere apropriado, pode reavaliar a estimativa da primeira iteração. Ao selecionar a caixa de texto referente a um determinado índice que se deseja reavaliar, informações adicionais editadas pelo moderador são apresentadas e as estatísticas referentes ao índice, dispostas na parte inferior da tela. É possível, também, alterar o valor do Grau de Confiança de cada avaliação dos índices.


 <b>FMECA</b> Método para Elicitação dos Índices Baseado na Técnica Delphi																																																													
<b>Usuário</b> Emerson Rigoni  <b>Texto Sobre</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Método de Elicitação</li> <li>Técnica FMECA</li> <li>Sistema Técnico em Análise</li> </ul> <b>Informações Profissionais</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Formulário Sobre o Especialista</li> </ul> <b>Elicitação dos Índices</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>2ª Iteração</li> </ul> <b>Relatório</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Tabela Individual</li> </ul> <a href="#">Contato</a> <a href="#">Sair</a>	<b>Elicitação dos Índices</b> <b>2ª Iteração</b> <p>Ao final da iteração anterior, foram coletadas algumas informações adicionais. Estas informações estão apresentadas, quando aplicável, na parte inferior desta página, juntamente com os valores de média e desvio padrão do referido Índice. Assim ao clicar na caixa de texto referente a um determinado Índice, as informações relativas a este Índice serão apresentadas abaixo. Caso considere pertinente, altere os valores dos Índices avaliados anteriormente. Adicionalmente, também é possível alterar o valor do Grau de Confiança (GC) de cada Índice avaliado.</p> <p>Os campos em Vermelho indicam que sua Nota está fora da faixa de um desvio padrão, acima ou abaixo da média, e recomenda-se que sua Nota seja revista. Os campos em Amarelo indicam que há informações, vinculadas a eles, que podem ser relevantes e apesar da sua Nota estar dentro da "média" sugere-se atenção a esta informações e, caso julgue apropriado, reavalie sua Nota.</p> <p>Após alterar as informações e salvá-las o campo ficará Verde. Para salvar basta clicar no Botão "Enviar", situado no final da página, ou apertar a tecla "Enter".</p> <b>ITEM 1 - Vedação do Flange do Contato Fixo (Terminal)</b> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Função</th> <th>Modo de falha</th> <th>Efeito</th> <th>S</th> <th>GCS</th> <th>Causas</th> <th>O</th> <th>GCo</th> <th>Controles atuais</th> <th>D</th> <th>GCD</th> <th>NPR</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="6">Vedar o flange do contato fixo do disjuntor para manter o SF6 dentro dos níveis de pureza especificados pela IEC 60376</td> <td rowspan="6">Não consegue vedar o flange do contato fixo do disjuntor para manter o SF6 dentro dos níveis de pureza especificados pela IEC 60376</td> <td rowspan="6">           • Vazamento de SF6            • Entrada de contaminantes na câmara de extinção            • Perda das características dielétricas e de extinção do SF6            • Aumento dos danos causados pelo arco elétrico            • Redução da pressão interna do SF6            • Abertura do disjuntor caso este esteja fechado         </td> <td rowspan="6">9</td> <td rowspan="6">8</td> <td>Material inadequado do anel de vedação</td> <td>4</td> <td>9</td> <td>• Testes laboratoriais • Inspeção de vazamento</td> <td>3</td> <td>9</td> <td>108</td> </tr> <tr> <td>Material inadequado do anel de vedação</td> <td>7</td> <td>8</td> <td>• Testes laboratoriais • Inspeção de vazamento</td> <td>3</td> <td>9</td> <td>189</td> </tr> <tr> <td>Acabamento inadequado da ranhura do flange</td> <td>5</td> <td>8</td> <td>• Inspeção Visual • Inspeção de vazamento</td> <td>8</td> <td>9</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>Dimensões inadequadas da ranhura do flange</td> <td>5</td> <td>9</td> <td>• Inspeção Visual • Inspeção de vazamento</td> <td>3</td> <td>8</td> <td>135</td> </tr> <tr> <td>Limpeza inadequada da ranhura do flange antes da colocação do anel de vedação</td> <td>4</td> <td>8</td> <td>• Medições de campo • Inspeção de vazamento</td> <td>3</td> <td>8</td> <td>108</td> </tr> <tr> <td>Torque inadequado nos parafusos de união</td> <td>7</td> <td>9</td> <td>• Medições de campo</td> <td>3</td> <td>9</td> <td>189</td> </tr> </tbody> </table>		Função	Modo de falha	Efeito	S	GCS	Causas	O	GCo	Controles atuais	D	GCD	NPR	Vedar o flange do contato fixo do disjuntor para manter o SF6 dentro dos níveis de pureza especificados pela IEC 60376	Não consegue vedar o flange do contato fixo do disjuntor para manter o SF6 dentro dos níveis de pureza especificados pela IEC 60376	• Vazamento de SF6 • Entrada de contaminantes na câmara de extinção • Perda das características dielétricas e de extinção do SF6 • Aumento dos danos causados pelo arco elétrico • Redução da pressão interna do SF6 • Abertura do disjuntor caso este esteja fechado	9	8	Material inadequado do anel de vedação	4	9	• Testes laboratoriais • Inspeção de vazamento	3	9	108	Material inadequado do anel de vedação	7	8	• Testes laboratoriais • Inspeção de vazamento	3	9	189	Acabamento inadequado da ranhura do flange	5	8	• Inspeção Visual • Inspeção de vazamento	8	9	0	Dimensões inadequadas da ranhura do flange	5	9	• Inspeção Visual • Inspeção de vazamento	3	8	135	Limpeza inadequada da ranhura do flange antes da colocação do anel de vedação	4	8	• Medições de campo • Inspeção de vazamento	3	8	108	Torque inadequado nos parafusos de união	7	9	• Medições de campo	3	9	189
Função	Modo de falha	Efeito	S	GCS	Causas	O	GCo	Controles atuais	D	GCD	NPR																																																		
Vedar o flange do contato fixo do disjuntor para manter o SF6 dentro dos níveis de pureza especificados pela IEC 60376	Não consegue vedar o flange do contato fixo do disjuntor para manter o SF6 dentro dos níveis de pureza especificados pela IEC 60376	• Vazamento de SF6 • Entrada de contaminantes na câmara de extinção • Perda das características dielétricas e de extinção do SF6 • Aumento dos danos causados pelo arco elétrico • Redução da pressão interna do SF6 • Abertura do disjuntor caso este esteja fechado	9	8	Material inadequado do anel de vedação	4	9	• Testes laboratoriais • Inspeção de vazamento	3	9	108																																																		
					Material inadequado do anel de vedação	7	8	• Testes laboratoriais • Inspeção de vazamento	3	9	189																																																		
					Acabamento inadequado da ranhura do flange	5	8	• Inspeção Visual • Inspeção de vazamento	8	9	0																																																		
					Dimensões inadequadas da ranhura do flange	5	9	• Inspeção Visual • Inspeção de vazamento	3	8	135																																																		
					Limpeza inadequada da ranhura do flange antes da colocação do anel de vedação	4	8	• Medições de campo • Inspeção de vazamento	3	8	108																																																		
					Torque inadequado nos parafusos de união	7	9	• Medições de campo	3	9	189																																																		
Índice: <b>Ocorrência</b> Estimativa na 1ª Iteração: 7    Média na 1ª Iteração: <b>4,66</b> 1 DP Abaixo da Média: <b>2,58</b> 1 DP Acima da Média: <b>6,74</b> <input type="button" value="Cancelar"/> <input type="button" value="Enviar"/>																																																													
<b>Informações Adicionais:</b> <div style="border: 1px solid gray; height: 20px;"></div>																																																													

Figura G.26 – Tela da Segunda Iteração.

O especialista tem, ainda, a possibilidade de verificar os valores que atribuiu a cada índice nas duas iterações, no relatório “Tabela Individual”, ilustrado na Figura G.27.



 <b>FMECA</b> Método para Elicitação dos Índices Baseado na Técnica Delphi																																																																																			
<b>Usuário</b> Emerson Rigoni  <b>Texto Sobre</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Método de Elicitação</li> <li>Técnica FMECA</li> <li>Sistema Técnico em Análise</li> </ul> <b>Informações Profissionais</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Formulário Sobre o Especialista</li> </ul> <b>Elicitação dos Índices</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>2ª Iteração</li> </ul> <b>Relatório</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Tabela Individual</li> </ul> <a href="#">Contato</a> <a href="#">Sair</a>	<b>ITEM 1 - Vedação do Flange do Contato Fixo (Terminal)</b> <table border="1"> <thead> <tr> <th>S</th> <th>GCS</th> <th>O</th> <th>GCO</th> <th>D</th> <th>GCD</th> <th>NPR</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="7">9</td> <td rowspan="7">9</td> <td rowspan="7">8</td> <td rowspan="7">8</td> <td>4</td> <td>4</td> <td>9</td> <td>9</td> <td>3</td> <td>3</td> <td>9</td> <td>9</td> <td>108</td> <td>108</td> </tr> <tr> <td>7</td> <td>3</td> <td>8</td> <td>8</td> <td>3</td> <td>3</td> <td>9</td> <td>9</td> <td>189</td> <td>81</td> </tr> <tr> <td>5</td> <td>5</td> <td>8</td> <td>8</td> <td>8</td> <td>4</td> <td>9</td> <td>9</td> <td>0</td> <td>180</td> </tr> <tr> <td>5</td> <td>5</td> <td>9</td> <td>9</td> <td>3</td> <td>3</td> <td>8</td> <td>8</td> <td>135</td> <td>135</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>4</td> <td>8</td> <td>8</td> <td>3</td> <td>3</td> <td>8</td> <td>8</td> <td>108</td> <td>108</td> </tr> <tr> <td>7</td> <td>7</td> <td>9</td> <td>9</td> <td>3</td> <td>3</td> <td>9</td> <td>9</td> <td>189</td> <td>189</td> </tr> <tr> <td>7</td> <td>7</td> <td>9</td> <td>9</td> <td>3</td> <td>3</td> <td>9</td> <td>9</td> <td>189</td> <td>189</td> </tr> </tbody> </table>		S	GCS	O	GCO	D	GCD	NPR	9	9	8	8	4	4	9	9	3	3	9	9	108	108	7	3	8	8	3	3	9	9	189	81	5	5	8	8	8	4	9	9	0	180	5	5	9	9	3	3	8	8	135	135	4	4	8	8	3	3	8	8	108	108	7	7	9	9	3	3	9	9	189	189	7	7	9	9	3	3	9	9	189	189
S	GCS	O	GCO	D	GCD	NPR																																																																													
9	9	8	8	4	4	9	9	3	3					9	9	108	108																																																																		
				7	3	8	8	3	3					9	9	189	81																																																																		
				5	5	8	8	8	4					9	9	0	180																																																																		
				5	5	9	9	3	3					8	8	135	135																																																																		
				4	4	8	8	3	3					8	8	108	108																																																																		
				7	7	9	9	3	3	9	9	189	189																																																																						
				7	7	9	9	3	3	9	9	189	189																																																																						
<b>Legenda:</b> <span style="background-color: yellow; border: 1px solid gray; padding: 2px;">1ª Iteração</span> <span style="background-color: lightblue; border: 1px solid gray; padding: 2px;">2ª Iteração</span>																																																																																			

Figura G.27 – Tela do Relatório Individual do Especialista.

Uma vez finalizada a segunda e última iteração, o moderador tem condição de retirar do relatório “Tabela Geral 2” os valores das estimativas dos índices e dos respectivos graus de confiança. De destes valores, pode-se calcular a estimativa de cada índice, utilizando a Equação 7.1.

Este item apresenta informações complementares, àquelas presentes no Capítulo 6, referentes ao NPR-Fuzzy, um software para avaliação do NPR que utiliza a lógica *Fuzzy* como ferramenta de apoio a tomada de decisão e tratamento das incertezas inerentes.

#### G.4.1 Interface e Estrutura do NPR-Fuzzy

O NPR-Fuzzy utiliza a máquina de inferência do FuzzyClips e sua interface foi desenvolvida em *Visual Basic*, nos mesmos moldes do DALF-MCC.

A tela inicial do NPR-Fuzzy (Menu Início), mostrada na Figura G.28, aborda os aspectos gerais do software e seus objetivos. Nesta tela estão disponíveis *hiperlinks*, os quais dão acesso a área de ajuda do NPR-Fuzzy. A ajuda é um arquivo HTML com *hiperlinks* internos, o qual esclarece os principais conceitos inerentes à metodologia proposta, seu domínio de conhecimento e os pontos passíveis de dúvidas por parte do usuário.

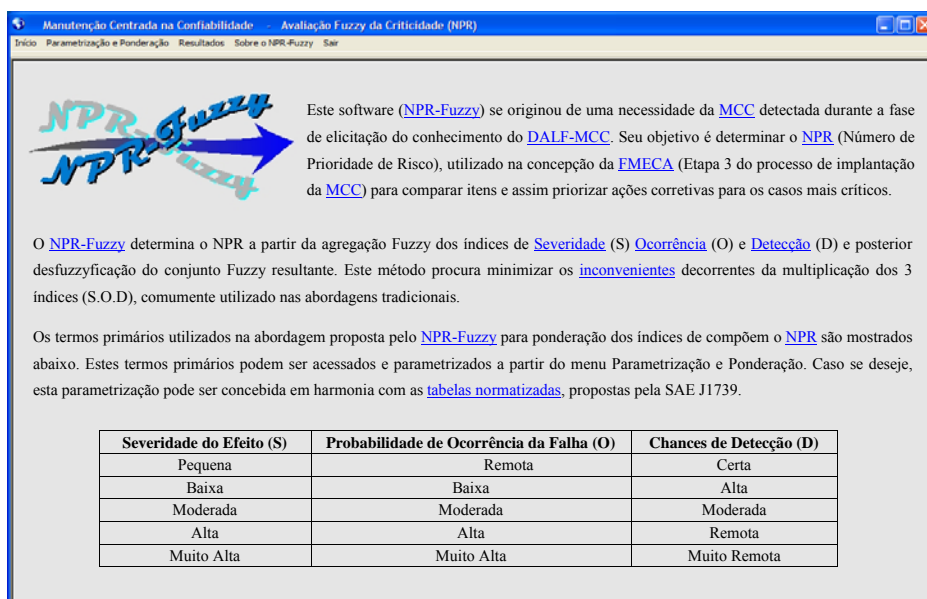


Figura G.28 – Tela Inicial do NPR-Fuzzy.

A tela de Parametrização e Ponderação (Figura G.29), acessada através do menu de mesmo nome, permite ao usuário: parametrizar os conjuntos *Fuzzy* a serem utilizados na ponderação dos itens que compõe a avaliação do NPR (Severidade, Ocorrência e Detecção); e proceder a ponderação destes itens para todas as causas do modo de falha sob análise. Esta tela está dividida em 3 partes, a saber: Parametrização dos Conjuntos *Fuzzy*, Abrangência e Considerações da Análise, e Ponderação para Avaliação da Criticidade (NPR):

Na Parametrização dos Conjuntos *Fuzzy*, o usuário pode, de forma independente, parametrizar os termos primários que serão utilizados pelo NPR-Fuzzy para ponderar a Severidade, a Ocorrência e a Detecção. Cada item dispõe de 5 termos primários cuja parametrização

deve seguir critérios de consenso do grupo de FMECA baseados em heurísticas e/ou tabelas normatizadas (Ex.: SAE J1739/2002).

Na parte relativa à Abrangência e Considerações da Análise, o usuário informa a Quantidade de Causas (QC) que o modo de falha a ser avaliado possui e como será considerada a análise da Severidade. Neste último caso, diferentemente da Ocorrência e da Detecção, as quais estão vinculadas às causas, a Severidade está vinculada aos efeitos. Assim, o usuário deve escolher entre 2 situações, Global ou Individual, as quais serão mutuamente exclusivas, sendo que: na análise Global, o valor atribuído a Severidade é único para um determinado grupo de efeitos e, neste caso, o usuário atribui a severidade média do grupo ou o valor correspondente ao efeito mais severo (Obs.: esta última é considerada a escolha padrão “*default*”); na análise Individual, todos os efeitos serão analisados, devendo o usuário atribuir um valor para cada efeito individualmente, e todos os efeitos avaliados irão compor o conjunto *Fuzzy* resultante para a Severidade. Neste caso, o usuário deverá informar o Número de Efeitos (NE) a serem analisados. O valor final da Severidade será associado: ao conjunto *Fuzzy* formado pela composição de todos os efeitos; e ao valor *crisp*, resultante da desfuzzificação do referido conjunto *Fuzzy* (Obs.: se o usuário escolhe esta opção o Número de Efeitos (NE) padrão “*default*” é 1).

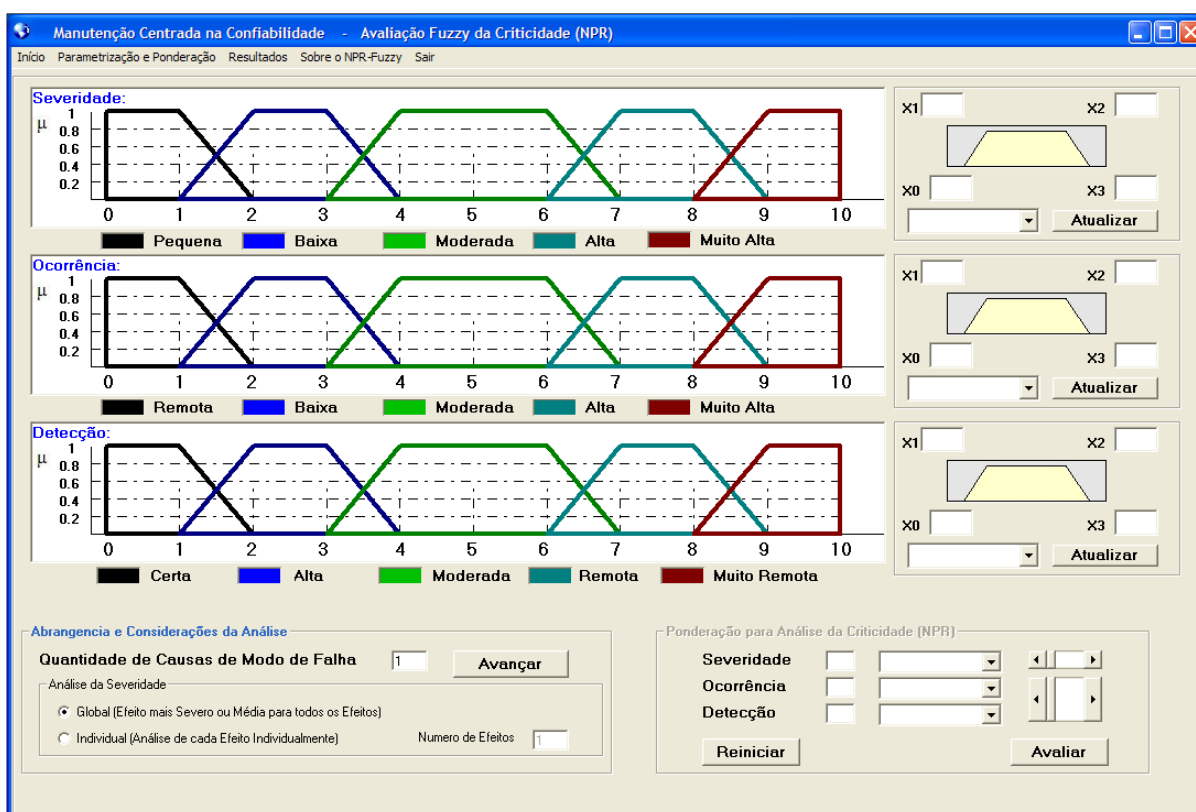


Figura G.29 – Tela de Parametrização e Ponderação do NPR-Fuzzy.

Concluídas as informações referentes à Abrangência e Considerações da Análise, o usuário tem acesso, através do Botão Avançar, a parte de Ponderação para Avaliação da Criticidade (NPR). Nesta fase, o usuário deve atribuir uma nota ou conceito, levando em conta que:

- No caso da Severidade, como esta se refere aos efeitos, se a opção escolhida anteriormente foi Global, a atribuição de nota ou conceito acontecerá somente uma vez. Se a opção escolhida anteriormente foi Individual, a atribuição de nota ou conceito se dará para cada efeito. Neste caso, o Efeito sob análise varia de 1 até NE.
- No caso da Ocorrência, o usuário deve atribuir uma nota ou conceito ao quão provável é a Ocorrência da causa sob análise, a qual varia de 1 até QC;
- No caso da Detecção, o usuário deve atribuir uma nota ou conceito referente as chances (facilidade/dificuldade) de Detecção da causa sob análise, a qual varia de 1 até QC.

Em todos os casos os Botões “← →” servem para avançar ou retroceder na avaliação das causas ou efeitos sob análise. Concluído o processo de ponderação, o Botão Avaliar gera o relatório de avaliação do NPR do modo de falha sob análise (Figura G.30). O Botão Reiniciar volta para a parte relativa à Abrangência e Considerações da Análise apagando todos os dados inseridos na parte relativa à Ponderação para Avaliação da Criticidade (NPR).



Figura G.30 – Relatório de Avaliação do NPR-Fuzzy.

O relatório final gerado pelo NPR-Fuzzy é composto, para cada causa do modo de falha, de: número da causa avaliada; conjuntos *Fuzzy* (Severidade, Ocorrência e Detecção) formados pela ponderação dos efeitos e causas; conjunto *Fuzzy* resultante, para a Criticidade (NPR), formado pela agregação dos conjuntos anteriores; e valores *crisp*, desfuzzificados para cada um dos conjuntos anteriores. Na tela do relatório final os Botões “← →” servem para navegação entre as causas.

#### G.5 DALF-DIAGRAMAS (ETAPA 4)

Este item apresenta informações complementares, àquelas presentes no Capítulo 6, referentes ao DALF-Diagramas, um Sistema Baseado em Conhecimento *Fuzzy* (SBC-*Fuzzy*) que auxilia a seleção e a caracterização das funções significantes listadas na Etapa 3, utilizando um processo de inferência *Fuzzy* baseado na ponderação de quesitos.



### G.5.1 Interface e Estrutura do DALF-Diagramas para a Etapa 4

O DALF-Diagramas divide a análise da Etapa 4 em 2 partes, a saber: a Parte 1 trata da identificação/definição da significância ou não da função; e a Parte 2 trata da classificação das conseqüências dos modos de falha das funções significantes. As funcionalidades do DALF-Diagramas, para a Etapa 4, são acessadas a partir da Tela de Abertura (Figura G.31) no menu Arquivo → Novo → Função para a Parte 1 e Arquivo → Novo → Falha para a Parte 2. Toda a análise segue os requisitos e a sistemática proposta pela IEC 60300-3-11, adotada pelo procedimento de referência detalhado no Capítulo 5.

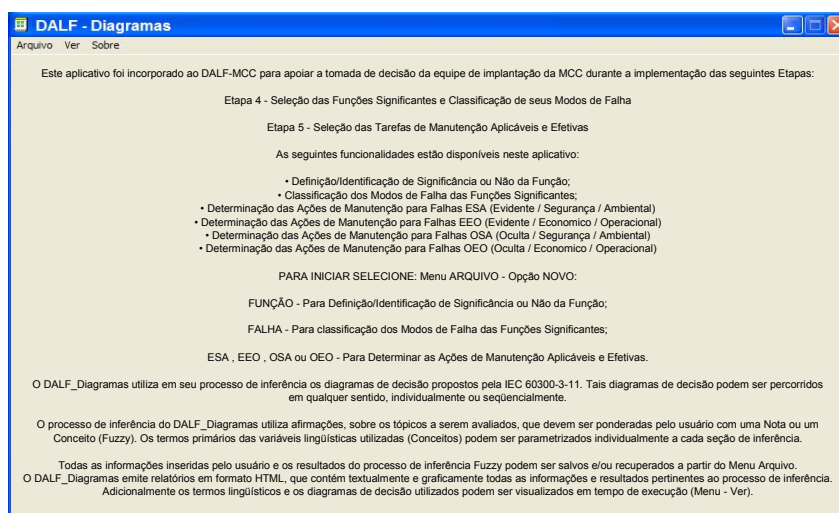


Figura G.31 – Tela de Abertura do DALF-Diagramas.

### Parte 1 – Identificação/Definição da Significância ou Não da Função

A tela de abertura da Parte 1 pode ser vista na Figura G.32. O DALF-Diagramas permite ao usuário "percorrer", através dos botões de navegação e em qualquer sentido, cada uma das telas que compõem o processo de inferência *Fuzzy*, inerentes ao respectivo diagrama de decisão. É possível avançar ou retroceder (para rever uma ponderação – Figura G.32 à G.35a), neste caso, estando em qualquer tela ou avançar por afirmação ou negação, nas telas finais do processo de inferência o que, neste caso, significa concordar ou não com os resultados do DALF-Diagramas (Figura G.36a). Cada tela possui, ainda, um botão que dá acesso a uma janela de ajuda sensível ao contexto da tela em pauta.

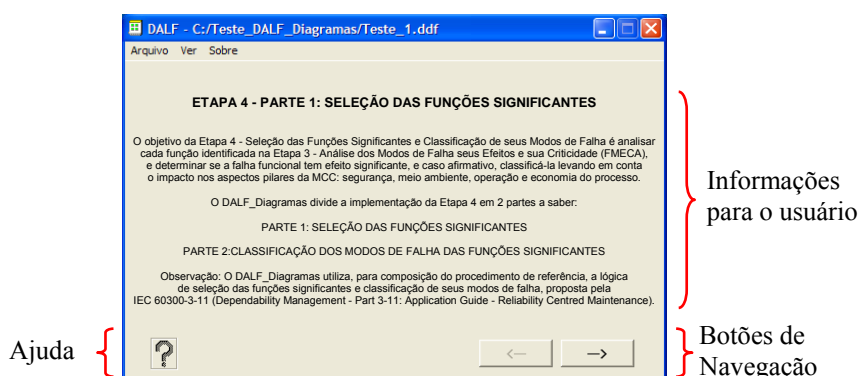


Figura G.32 – Tela de Abertura do DALF-Diagramas – Etapa 4 – Parte 1.

Avançando na tela inicial, o usuário tem acesso a tela de identificação e descrição da função que se quer avaliar (Figura G.33).

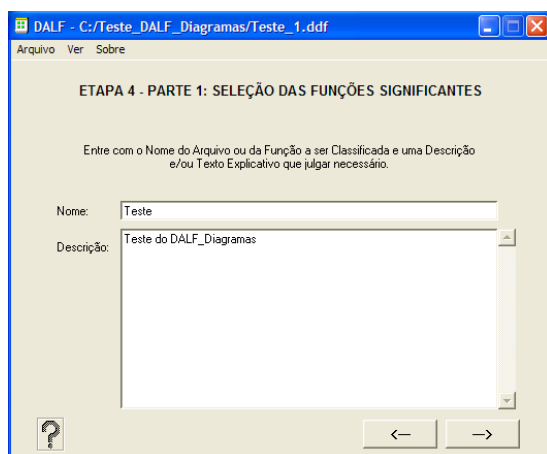


Figura G.33 – Tela de Identificação e Descrição da Função.

Para incorporar a incerteza por imprecisão (léxica), os quesitos a serem ponderados pelo usuário serão tratados como variáveis lingüísticas *Fuzzy*. Os termos primários destas variáveis são configurados na tela de Parametrização *Fuzzy* (Figura G.34). Os parâmetros inseridos nesta tela serão utilizados para a ponderação de todos os quesitos, os quais alimentarão o processo de inferência *Fuzzy* para identificação das funções significantes e classificação dos seus modos de falha, seguindo a lógica dos diagramas de decisão da MCC. Para proceder à modificação dos termos primários, o usuário deve: escolher a variável lingüística a ser modificada (Ruim, Baixa, Boa, Alta ou Ótima); alterar os valores de seus vértices, conforme desejado; e, estabelecida a parametrização desejada, para cada variável lingüística, clicar no botão avançar (→).

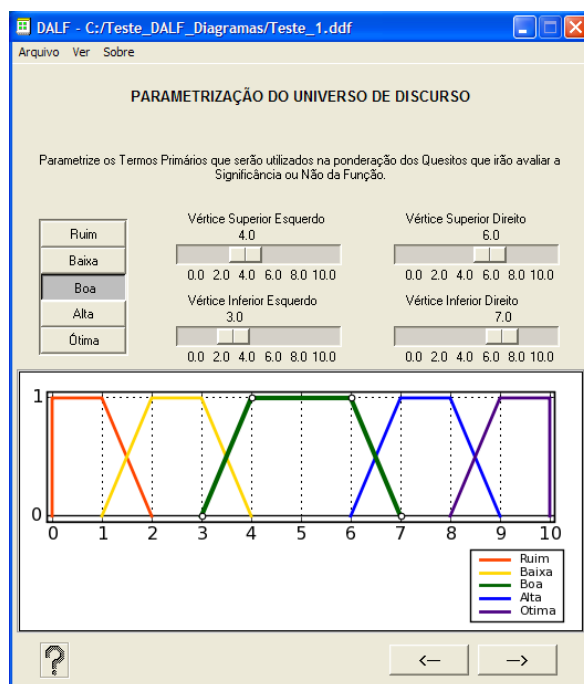


Figura G.34 – Tela de Parametrização dos Termos Primários.

Para a avaliação da significância ou não das funções, identificadas na Etapa 3, o DALF-Diagramas submete à ponderação do usuário alguns quesitos, os quais verificam se a função pode ser considerada como protegida ou se tem algum impacto nos aspectos pilares da MCC (segurança, meio ambiente, operação e economia do processo). Estes quesitos são apresentados para o usuário como “afirmações” cuja aderência da empresa/sistema, a tais afirmações, deve ser ponderada pelo usuário com uma nota (valor *crisp*) ou um conceito (termo primário *Fuzzy*). Além dos quesitos a serem ponderados (Figura G.35a), o usuário pode acessar (através do Menu Ver) o Diagrama de Decisão e seu respectivo item atualmente em avaliação, destacado em amarelo, (Figura G.35b) bem como a parametrização dos Termos Primários *Fuzzy* atualmente em uso (Figura G.35c). Tais quesitos e os respectivos efeitos correlatos, com base no diagrama de decisão adotado pelo procedimento de referência, são os seguintes:

#### Efeito na Segurança e/ou Ambiente:

- Q1 → A falha funcional representa uma ameaça à vida pessoal do operador dentro ou fora dos limites do sistema/empresa.
- Q2 → A falha funcional representa uma ameaça à vida coletiva dentro ou fora dos limites do sistema/empresa.
- Q3 → A falha funcional resulta em infração de uma lei ou padrão ambiental dentro ou fora dos limites do sistema/empresa.
- Q4 → A Severidade das conseqüências da falha funcional ou do modo de falha é: Moderada, Crítica ou Muito Crítica.
- Q5 → O Grau de Risco relativo à falha funcional ou ao modo de falha é Crítico (1) Sério (2) ou Moderado (3).

#### Efeito na Operação:

- Q1 → A falha funcional reduz a produtividade do sistema.
- Q2 → A falha funcional afeta a qualidade do produto.
- Q3 → A falha funcional afeta o serviço prestado ao cliente (interno ou externo).
- Q4 → A falha funcional afeta outros processos e/ou equipamentos do sistema produtivo.

#### Impacto Econômico:

- Q1 → A falha funcional aumenta o consumo do sistema (combustível, energia, etc...).
- Q2 → A falha funcional aumenta o desperdício de matéria prima.
- Q3 → A falha funcional apresenta um alto custo de reparo.
- Q4 → A falha funcional causa danos secundários mais onerosos do que o custo do seu reparo.

#### Função Protegida:

- Q1 → A falha funcional já possui uma ação associada a ela no programa atual de manutenção.
- Q2 → A equipe de implementação e os especialistas envolvidos com a implantação da MCC concordam em manter alguma ação de manutenção associada à falha funcional sob análise.
- Q3 → A falha funcional é oculta para a equipe de operação e/ou possui falhas múltiplas associadas.
- Q4 → A falha funcional impacta de maneira negativa na imagem da empresa perante a sociedade ou aos seus clientes internos e/ou externos.

No item Função Protegida o DALF-Diagramas acrescenta, para ponderação do usuário, o impacto que a falha funcional tem sobre a imagem da empresa perante a sociedade ou aos seus clientes internos e/ou externos. Este quesito não está contemplado em nenhuma norma ou bibliografia referente à MCC, porém, é um fator importante na estratégia de gestão de ativos de qualquer empresa.

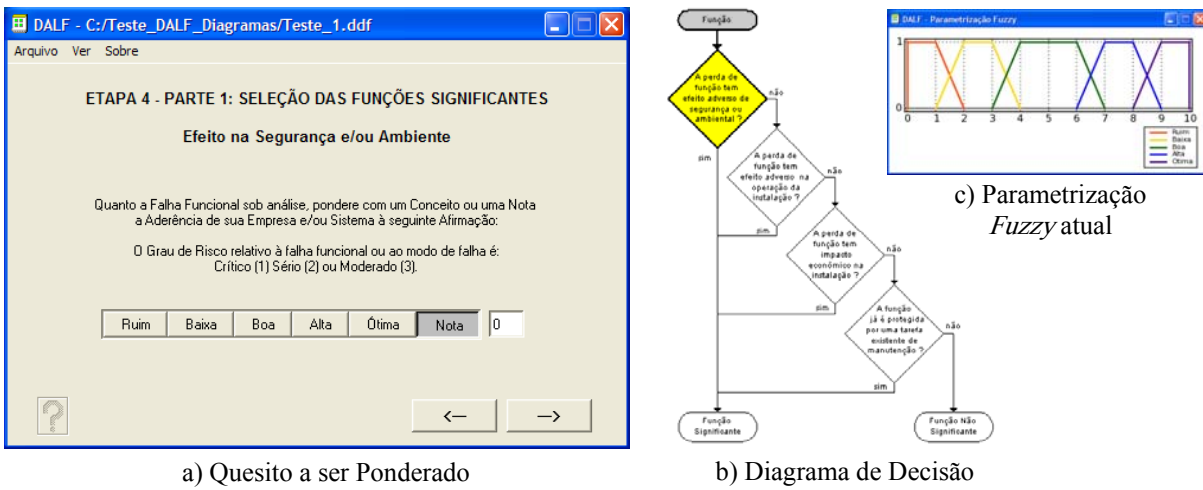
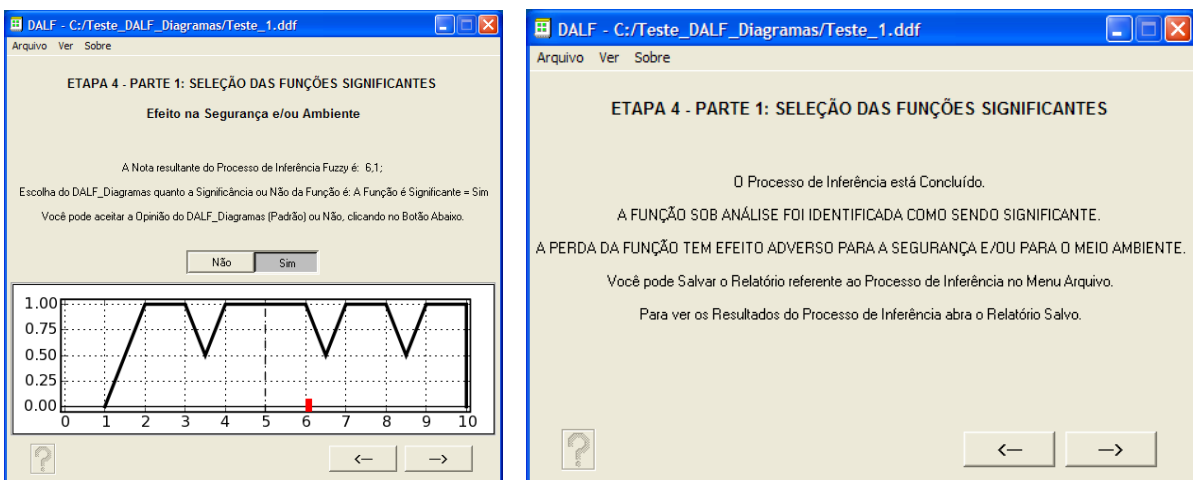


Figura G.35 – Tela de Ponderação dos Quesitos – Etapa 4 – Parte 1.

Concluída a ponderação de todos os quesitos, inicia-se o processo de inferência *Fuzzy* de avaliação da significância ou não da função sob análise. Na sequência, o DALF-Diagramas apresenta para o usuário os resultados do processo de inferência *Fuzzy* a partir da ponderação dos quesitos (Figura G.36a). São apresentados para o usuário o Conjunto *Fuzzy*, resultante do processo de inferência, e uma nota resultante da desfuzzyficação de tal conjunto. Adicionalmente, é apresentada, com base nos resultados anteriores, a opinião do DALF-Diagramas sobre a significância ou não da função. O usuário tem a opção de aceitar ou não a opinião do DALF-Diagramas. Caso aceite, tem fim o processo de avaliação da significância da função (Figura G.36b), senão, segue-se no processo de inferência com a apresentação de novos quesitos, referentes ao passo seguinte do Diagrama de Decisão da MCC. Este processo se repete até o último passo do Diagrama de Decisão onde uma resposta negativa à significância da função a define automaticamente como Função Não Significante.



a) Conjunto Fuzzy Resultante do Processo de Inferência de Inferência

b) Resposta Final para o Usuário

Figura G.36 – Tela de Resultados do Processo de Inferência *Fuzzy* – Etapa 4.

Concluída a análise da significância da função, o DALF-Diagramas inicia a Parte 2 do processo de inferência.

### Parte 2 – Classificação das Conseqüências dos Modos de Falha das Funções Significantes

A Parte 2 do DALF-Diagramas para a Etapa 4 segue os mesmos preceitos da Parte 1, mudando apenas os quesitos a ponderar, visto que agora dizem respeito à Classificação das Conseqüências do Modo de Falha e/ou dos seus Efeitos referentes às funções identificadas como significantes. Os quesitos a serem ponderados e as respectivas conseqüências que se quer inferir, com base no Diagrama de Decisão adotado pelo procedimento de referência, são os seguintes:

#### Modo de Falha e/ou Efeito Evidente / Oculto

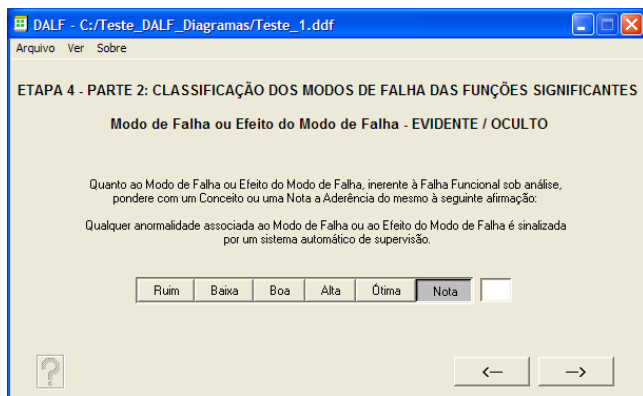
- Q1 → O operador percebe o Modo de Falha ou o Efeito do Modo de Falha durante suas atividades normais.
- Q2 → Não é necessária nenhuma inspeção para detecção do Modo de Falha ou do Efeito do Modo de Falha.
- Q3 → Não é necessário nenhum teste e/ou ensaio para detecção do Modo de Falha ou do Efeito do Modo de Falha.
- Q4 → Não é necessário nenhum outro evento ocorrer para detecção do Modo de Falha ou do Efeito do Modo de Falha.
- Q5 → Qualquer anormalidade associada ao Modo de Falha ou ao Efeito do Modo de Falha é sinalizada por um sistema automático de supervisão.

#### Modo de Falha e/ou Efeito com Implicações de Segurança / Ambiental

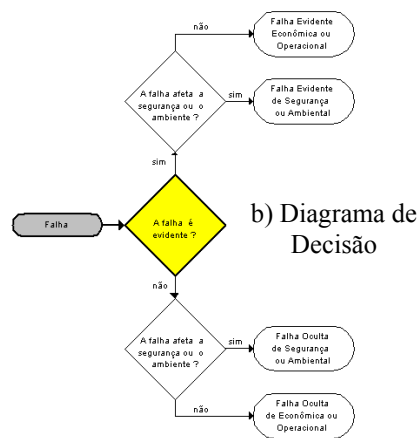
- Q1 → O Modo de Falha ou o Efeito do Modo de Falha representa uma ameaça à vida pessoal do operador dentro ou fora dos limites do sistema/empresa.
- Q2 → O Modo de Falha ou o Efeito do Modo de Falha representa uma ameaça à vida coletiva dentro ou fora dos limites do sistema/empresa.
- Q3 → O Modo de Falha ou o Efeito do Modo de Falha resulta em infração de uma lei ou padrão ambiental dentro ou fora dos limites do sistema/empresa.
- Q4 → A Severidade das conseqüências do Modo de Falha ou do Efeito do Modo de Falha é: Moderada, Crítica ou Muito Crítica.
- Q5 → O Grau de Risco relativo ao Modo de Falha ou ao Efeito do Modo de Falha é Crítico (1) Sério (2) ou Moderado (3).

A Figura G.37 mostra a tela de ponderação dos quesitos da Parte 2 e o respectivo Diagrama de Decisão inerente com o item atualmente em avaliação, destacado em Amarelo.

Como conclusão da Parte 2 tem-se a classificação do Modo de Falha sob análise, dentre as seguintes opções: ESA (Evidente / Segurança / Ambiental), EEO (Evidente / Econômico / Operacional), OSA (Oculto / Segurança / Ambiental) e OEO (Oculto / Econômico / Operacional). As funcionalidades das telas de conclusão da Parte 2 seguem os mesmos preceitos daquelas da Parte 1, já apresentadas. Concluídas as análises referentes à Etapa 4 Parte 2 o DALF-Diagramas passa automaticamente para a Etapa 5, levando em consideração os resultados do processo de inferência e as decisões do usuário.



a) Quesito a ser Ponderado



b) Diagrama de Decisão

Figura G.37 – Tela de Ponderação dos Quesitos – Etapa 4 – Parte 2.

G.6 DALF-DIAGRAMAS (ETAPA 5)

Este item apresenta informações complementares, àquelas presentes no Capítulo 6, referentes ao software DALF-Diagramas, parte integrante do software proposto para a Etapa 4. Trata-se de um SBC-*Fuzzy* que auxilia a seleção das tarefas de manutenção aplicáveis e efetivas, para cada uma das funções significantes apontadas na Etapa 4, utilizando um processo de inferência *Fuzzy* baseado na ponderação de quesitos.

G.6.1 Interface e Estrutura do DALF-Diagramas para a Etapa 5

A tela de abertura do DALF-Diagramas, para a Etapa 5, pode ser vista na Figura G.38. As telas de Identificação e Descrição da Função e de Parametrização dos Termos Primários *Fuzzy* possuem as mesmas funcionalidades e aparência das telas de mesmo nome, mostradas na Etapa 4.

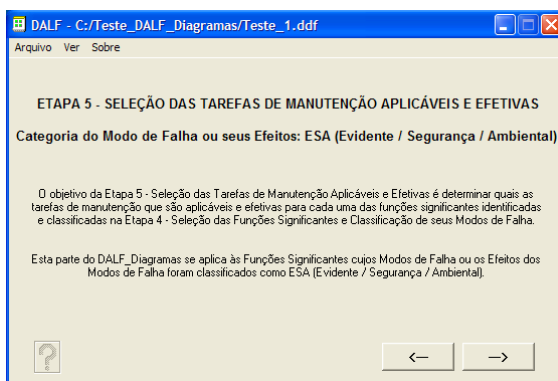


Figura G.38 – Tela de Abertura do DALF-Diagramas – Etapa 5.

Para inferir sobre qual é a atividade de manutenção mais adequada para cada um dos Modos de Falha das Funções Significantes, o DALF-Diagramas submete à ponderação do usuário alguns quesitos. Assim como na Etapa 4, estes quesitos são apresentados para o usuário como “afirmações” cuja aderência da empresa/sistema, a tais afirmações, deve ser ponderada pelo usuário com uma nota (valor *crisp*) ou um conceito (termo primário *Fuzzy*). Os quesitos a serem ponderados, atrelados às respectivas atividades de manutenção que se quer inferir, com base no Diagrama de Decisão adotado pelo procedimento de referência, são os seguintes:

Serviço Operacional:

- A tarefa de manutenção reduz a taxa de deterioração funcional. Exemplo de tarefas deste grupo: lubrificação manual, suprimento de consumíveis e pequenas atividades passíveis de serem executadas pelo operador.
- Q1 → grupo: lubrificação manual, suprimento de consumíveis e pequenas atividades passíveis de serem executadas pelo operador.
- Q2 → A tarefa de manutenção tem baixa complexidade não exigindo treinamento especializado do operador.
- Q3 → Em caso de ESA ou OSA a tarefa de manutenção reduz o risco de falha. Em caso de EEO ou OEO a tarefa de manutenção reduz o risco de falha a nível aceitável e tem custo reduzido.
- Q4 → A tarefa de manutenção atende a um requisito de projeto conforme recomendação do fabricante.
- Q5 → A tarefa de manutenção possui uma frequência de execução aceitável, ou seja, que não tem impacto significativo na rotina operacional.

Inspeção Preditiva:

- Q1 → É possível identificar ou prever uma deterioração funcional por teste ou inspeção, sem desmontagem do equipamento/ativo/sistema.
- Q2 → O intervalo PF (Falha Potencial / Falha Funcional) é consistente.
- Q3 → O intervalo PF (Falha Potencial / Falha Funcional) é suficiente para uma ação de prevenção.
- Q4 → É prático monitorar o equipamento/ativo/sistema a intervalos inferiores ao intervalo PF (Falha Potencial / Falha Funcional).
- Em caso de ESA ou OSA a tarefa reduz o risco ou a probabilidade de falha garantindo a operação segura. Em caso de EEO ou OEO a tarefa reduz o risco de falha a nível aceitável e tem custo reduzido, menor que o custo da falha evitada.
- Q5 → operação segura. Em caso de EEO ou OEO a tarefa reduz o risco de falha a nível aceitável e tem custo reduzido, menor que o custo da falha evitada.

Restauração Preventiva:

- Q1 → A degradação é função do tempo em operação ou da última manutenção realizada.
- Q2 → É possível uma ação preventiva antes do período de desgaste.
- Q3 → O ativo/sistema mostra degradação em uma idade identificável.
- Q4 → Uma proporção alta de ativos/sistemas sobrevive à idade onde a degradação é identificável.
- Q5 → É possível restaurar o ativo/sistema a um padrão especificado que seja adequado.
- Em caso de ESA ou OSA a tarefa reduz o risco ou a probabilidade de falha garantindo a operação segura. Em caso de EEO ou OEO a tarefa reduz o risco de falha a nível aceitável e tem custo reduzido, menor que o custo da falha evitada.
- Q6 → operação segura. Em caso de EEO ou OEO a tarefa reduz o risco de falha a nível aceitável e tem custo reduzido, menor que o custo da falha evitada.

Substituição Preventiva:

- Q1 → A degradação é função do tempo em operação ou da última manutenção realizada.
- Q2 → A substituição garante a condição original do item.
- Q3 → O ativo/sistema mostra degradação em uma idade identificável.
- Q4 → Uma proporção alta de ativos/sistemas sobrevive à idade onde a degradação é identificável.
- Q5 → A restauração do ativo/sistema é impossível ou antieconômica.
- Em caso de ESA ou OSA a tarefa reduz o risco ou a probabilidade de falha garantindo a operação segura. Em caso de EEO ou OEO a tarefa reduz o risco operacional a nível aceitável e tem custo reduzido, menor que o custo da falha evitada.
- Q6 → operação segura. Em caso de EEO ou OEO a tarefa reduz o risco operacional a nível aceitável e tem custo reduzido, menor que o custo da falha evitada.

Inspeção Funcional:

Q1 → A tarefa de manutenção é capaz de revelar falha ou defeito oculto.

Q2 → A falha não se revela na operação normal do ativo/sistema.

Q3 → A falha só aparece na ocorrência de outra falha ou evento.

Q4 → É possível exercitar o funcionamento do item sem danificá-lo.

Em caso de OSA a tarefa deve detectar a falha ou defeito, ocultos, reduzindo o risco de  
 Q5 → falhas múltiplas. Em caso de OEO a tarefa deve detectar a falha ou defeito, ocultos, evitando transtornos operacionais e econômicos com custo reduzido.

Manutenção Combinada:

Q1 → Nenhuma ação de manutenção anterior pode, isoladamente, identificar/corrigir a falha. Isso só é possível com uma combinação de tarefas de manutenção.

Q2 → A frequência com que as tarefas de manutenção combinadas serão executadas é viável técnica e economicamente.

Em caso de ESA ou OSA a combinação de tarefas reduz o risco ou a probabilidade de  
 Q3 → falha. Em caso de EEO ou OEO a tarefa reduz o risco operacional a nível aceitável e tem custo reduzido, menor que o custo da falha evitada.

Mudança de Projeto:

Não há viabilidade técnica e/ou econômica para uma ação de manutenção preventiva  
 Q1 → (Inspeção Preditiva, Inspeção Funcional, Restauração Preventiva ou Substituição Preventiva).

Q2 → O ativo/sistema tem alta prioridade e/ou a análise de custo benefício é favorável.

Q3 → Nenhuma ação de manutenção anterior pode isoladamente ou em conjunto identificar/corrigir a falha.

Em caso de ESA ou OSA a combinação de tarefas não reduz o risco ou a probabilidade de  
 Q4 → falha. Em caso de EEO ou OEO a tarefa não reduz o risco operacional a nível aceitável e tem custo superior ao custo da falha.

Reparo Funcional:

Não há viabilidade técnica e/ou econômica para uma ação de manutenção preventiva  
 Q1 → (Inspeção Preditiva, Inspeção Funcional, Restauração Preventiva ou Substituição Preventiva).

Q2 → As conseqüências da falha são insignificantes.

Q3 → O ativo/sistema tem baixa prioridade.

Q4 → O reparo funcional é mais atrativo do que uma mudança de projeto e é aceitável do ponto de vista da segurança e preservação ambiental.

A Figura G.39a mostra a Tela de Ponderação dos quesitos. Assim como na Etapa 4, o usuário pode acessar (através do Menu Ver) o Diagrama de Decisão com seu respectivo item atualmente em avaliação, destacado em amarelo, (Figura G.39b) e a parametrização dos Termos Primários Fuzzy atualmente em uso (idem Figura G.35c).

Concluída a ponderação de todos os quesitos, inicia-se o processo de inferência *Fuzzy* de avaliação da atividade de manutenção aplicável e efetiva para o Modo de Falha sob análise. Como resultado do processo de inferência *Fuzzy*, o DALF-Diagramas apresenta para o usuário um



Conjunto *Fuzzy* e uma nota resultante da desfuzzyficação de tal conjunto (Figura G.40a). Adicionalmente, é apresentada, com base nos resultados anteriores, a opinião do DALF-Diagramas sobre qual é a atividade de manutenção aplicável e efetiva para o Modo de Falha sob análise.

ETAPA 5 - SELEÇÃO DAS TAREFAS DE MANUTENÇÃO APLICÁVEIS E EFETIVAS

Categoria do Modo de Falha ou seus Efeitos: ESA (Evidente / Segurança / Ambiental)

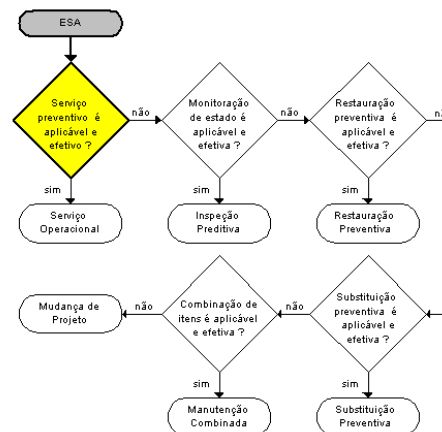
Quesito relacionado a Serviço Operacional

Quanto a Atividade de Manutenção, aplicável e efetiva para o Modo de Falha ou ao Efeito do Modo de Falha relacionado à Falha Funcional sob análise, pondere com um Conceito ou uma Nota de Aderência da mesma à seguinte afirmação:

A tarefa de manutenção reduz a taxa de deterioração funcional. Exemplo de tarefas deste grupo: lubrificação manual, suprimento de consumíveis e pequenas atividades passíveis de serem executadas pelo operador.

Ruim Baixa Boa Alta Ótima Nota 0

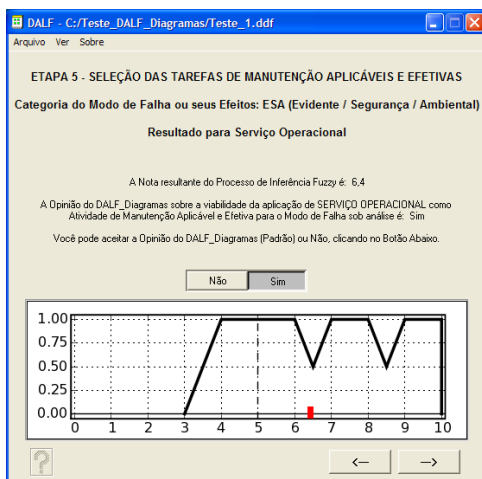
a) Quesito a ser Ponderado



b) Diagrama de Decisão

Figura G.39 – Tela de Ponderação dos Quesitos – Etapa 5.

O usuário tem a opção de aceitar ou não a opinião do DALF-Diagramas, caso aceite, tem fim o processo de avaliação (Figura G.40b), senão, as seguintes conclusões são apresentadas: Para Modos de Falha classificados com ESA ou OSA, caso nenhuma outra atividade de manutenção seja aplicável e efetiva o DALF\_Diagramas conclui, sem a ponderação dos respectivos quesitos, que a atividade de manutenção para estes Modos de Falhas é a Mudança de Projeto. Para os Modos de Falha classificados como EEO e OEO, a não aderência a nenhuma outra atividade de manutenção resulta, sem a ponderação dos respectivos quesitos, na indicação de Reparo Funcional.



a) Conjunto Fuzzy Resultante do Processo de Inferência

ETAPA 5 - SELEÇÃO DAS TAREFAS DE MANUTENÇÃO APLICÁVEIS E EFETIVAS

Categoria do Modo de Falha ou seus Efeitos: ESA (Evidente / Segurança / Ambiental)

Resultado para Serviço Operacional

O Processo de Inferência está Concluído.

A Atividade de Manutenção Aplicável e Efetiva para o Modo de Falha sob análise é SERVIÇO OPERACIONAL.

Você pode Salvar o Relatório referente ao Processo de Inferência no Menu Arquivo.

Para ver os Resultados do Processo de Inferência abra o Relatório Salvo.

b) Resposta Final para o usuário

Figura G.40 – Tela de Resultados do Processo de Inferência *Fuzzy* – Etapa 5.

O DALF-Diagramas permite ao usuário iniciar o processo de inferência *Fuzzy* em pontos estratégicos, sem a necessidade de “percorrer” todos os diagramas de decisão. Assim é possível definir de forma independente: a definição/identificação da significância ou não da função; a classificação dos modos de falha das funções significantes; e as atividades de manutenção aplicáveis

e efetivas, para os respectivos modos de falha. Para isso basta selecionar, respectivamente: Menu Arquivo → Opção Novo: FUNÇÃO; FALHA; e ESA , EEO , OSA ou OEO.

Todas as informações inseridas, bem como os resultados do processo de inferência podem ser salvos, recuperados e editados (arquivos com extensão .ddf). Além disto, o DALF-Diagramas gera relatórios em formato HTML com todos os dados inseridos e os respectivos resultados do processo de inferência *Fuzzy*. Tal relatório será detalha no próximo item deste trabalho.

## G.7 RELATÓRIO DE RESULTADOS E CONCLUSÕES DO DALF-DIAGRAMAS

Os resultados e conclusões do processo de inferência *Fuzzy* do DALF-Diagramas são condensados em um relatório, o qual está dividido nas seguintes seções: cabeçalho e parametrização *Fuzzy*, “caminhos” seguidos nos Diagramas da Decisão, pelo processo de inferência, para obtenção das respostas; e ponderação dos quesitos e resultados do processo de inferência *Fuzzy*. A Figura G.41 mostra o cabeçalho, com os dados informados na tela de identificação e descrição da função e a parametrização dos termos primários *Fuzzy* (Coordenadas e respectivas Funções de Pertinência), estabelecida pelo usuário. Esta parte do relatório do DALF-Diagramas é comum às Etapas 4 e 5.

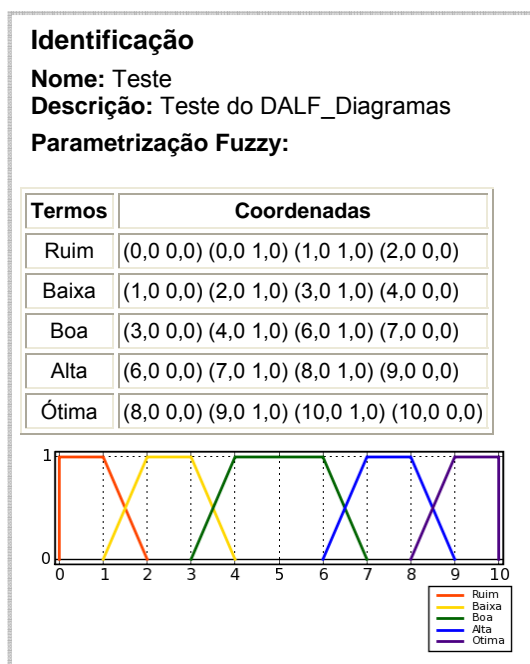


Figura G.41 – Cabeçalho e Parametrização *Fuzzy*.

As conclusões do DALF-Diagramas são apresentadas de duas formas, a saber: de forma gráfica, utilizando os diagramas de decisão da MCC adotados pelo procedimento de referência (IEC 60300-3-11); e em forma de resposta textual associada ao conjunto *Fuzzy*, resultante da avaliação dos quesitos ponderados pelo usuário. A Figura G.42 mostra exemplos de resultados passíveis de serem fornecidos pelo DALF-Diagramas evidenciando, de forma gráfica, os “caminhos” seguidos nos Diagramas da Decisão pelo processo de inferência. Nos

casos exemplificados, os seguintes diagramas são utilizados: (a) Função Significante (b) Classificação da Função e (c) Atividade de Manutenção.

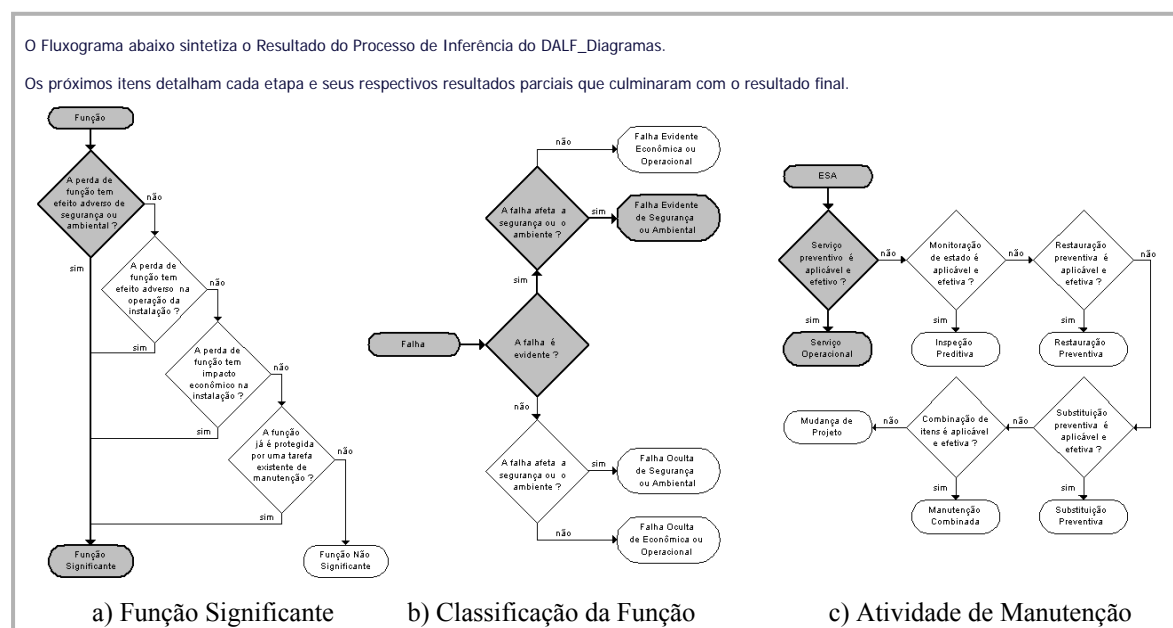


Figura G.42 – Diagramas da Decisão Resultantes.

A Figura G.43 exemplifica uma ponderação de quesitos, feita pelo usuário, e os resultados do processo de inferência *Fuzzy*. O exemplo se refere à seleção de funções significantes devido ao efeito na segurança e/ou meio ambiente. Esta parte do relatório inicia com a resposta do usuário que, neste caso, concorda com a opinião do DALF-Diagramas cujo resultado é mostrado no final do relatório onde é explicitado o conjunto *Fuzzy* resultante do processo de inferência.

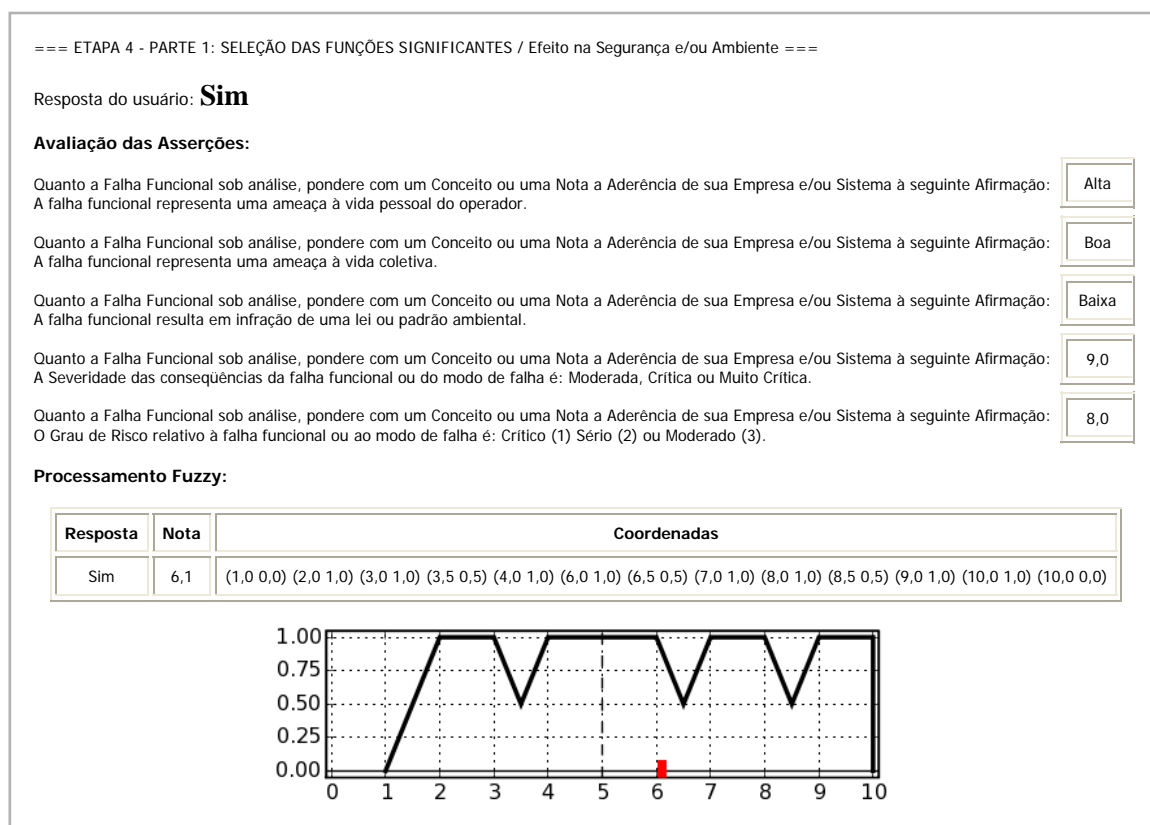


Figura G.43 – Ponderação dos Quesitos e Resultados do Processo de Inferência.



# APÊNDICE H

## ÍNDICES

Apresenta os Índices Onomástico e Remissivo



## ÍNDICE ONOMÁSTICO

ABEL, Mara (2005)	→ 55   59   68   69   262   263
ABNT (1994)	→ 33
ABRAMAN (2007)	→ 20   21   22   23   24   67
ABS (2004)	→ 34   44   46   99   223   226
ALIBERAS, J.; PINTÓ, R.; GÓMEZ, R. (1996)	→ 76
ALKAIM, João Luiz (2003)	→ 23   26   30   40   144   225
ANTONIETTI, Leandro Escagion (2002)	→ 27   130   180   222   225
BACKLUND, Fredrik (2003)	→ 26   114   115   116   125   194   197
BÁRDOSSY, A.; DUCKSTEIN, L. (1995)	→ 92
BARREIRO, S. R. (1999)	→ 183
BENJAMINS, V. R.; FENSEL, D. (1998)	→ 235
BERTLING, L.; ALLAN, R.; ERIKSSON, R. (2003)	→ 26
BEYON, Davis P. (1991)	→ 69
BITTENCOURT, Guilherme (2001)	→ 80   81   245   246
BLANCO, Santiago Sotuyo (2007)	→ 23   29   125   126   194
BLOOM, Neil B. (2006)	→ 137
BOEHM, B.; BROWN, J. R.; KASPAR, H.; LIPOW, M.; MACLEOD, G. J.; MERRIT, M. J. (1978)	→ 248
BOFF, L. H., (2001)	→ 60
BOOSE, J. H.; BRADSHAW, J. M. (1988)	→ 242
BOWLES, John B. (2003)	→ 178
CAMPOS, Pio Filho (2004)	→ 24   87   193
CARMO, Annibal José Roris Rodriguez Scavarda (2004)	→ 176   177
CARVALHO, Lucimar Fossatti de, (1995)	→ 242   244
CASTILLO E. V. (2003)	→ 247   248
CHANDRASEKARAN, B.,(1988)	→ 235
CHANDRASEKARAN, B.; JOSEPHSON, J. R.; BENJAMINS, V. R (1999)	→ 247
CISL (2008)	→ 173
CLANCEY, W. J. (1989)	→ 235
CLEAL, D. M.; HEATON, N.O (1988)	→ 76
COX, E., (1994)	→ 90   251
DALKEY, Norman C., (1967)	→ 79   175   238
DALKEY, Norman C., (1968)	→ 175   238
DALKEY, N.; BROWN, B.; COCHRAN, S. (1969)	→ 79
DAMSKI, J. C. B.; LIMA, J. G. M.; GIORNO, F. G.; VALENTE, A. S. M. (1993)	→ 234
DNV – Det Norske Veritas (2003)	→ 183
DAVENPORT, T; PRUSAK, L., (1998)	→ 54
DURKIN, John, (1994)	→ 61   71   276
ESHELMAN, L.; BOOSE, J.; GAINES, B.; MOLE (1988)	→ 241
FEIGENBAUM, E. A (1979)	→ 69
FERNANDES, A. M. da R.; BASTOS, R. C. (2001)	→ 252   254   97
FERNANDES, Anita Maria da Rocha (2003)	→ 70   71   80   85
FERNANDES, Anita Maria da Rocha (2004)	→ 30
FORSYTHIE, D. E., BUCHANAN, B. G., (1989)	→ 76
FUENTES, Fernando Félix Espinosa (2006)	→ 22   187   190   191   202
GARCIA, Pauli Adriano de Almada (2006)	→ 24   26   130   172
GASCHNIG, J.; HAYES-ROTH F.; WATERMAN, D. A.; LENAT, D. B. (1983)	→ 248

GENARO, Sérgio (1986)	→ 76
GIARRATANO, J.; RILEY, G. (1998)	→ 53   54   68   70   71   76   84   248
GIL, A. C. (1996)	→ 31
GOBER, C. J.; SILVA, L. C. S. da; SANTOS, R. J. dos (2008)	→ 190
GONZALEZ, A. J. e DANKEL, D. D. (1993)	→ 62   68   72   74   82   84   85   86   185   229   332
GRUBER, T. R. (1993)	→ 241
GUIDA, G.; SPAMPINATO, L. (1989)	→ 248
GUPTA, U. G.; CLARKE, R. E. (1996)	→ 176   237   238   239
HARMON, P.; MAUS, R.; MORRISSEY, W (1988)	→ 76
HART, Anna (1992)	→ 76
HAUGE, B. S.; JOHNSTON, D. C (2001)	→ 26   180   181   183
HEIJST, G.; SHREIBER, A. T.; WIELINGA, B. J. (1997)	→ 236   237
HOLLNAGEL, Erik (1989)	→ 250
IEC-60300-3-11 (1999)	→ 142   148   194   197   215   217   218   219
IEC-60706-4 (1992)	→ 42
JOHNSTON, D. C. (2002)	→ 26   114   180   181   183   194   197
KARDEC, A.; XAVIER, J. de A. N. (2003)	→ 19
KELLY, G. A. (1955)	→ 242
LAUDON, K. C.; LAUDON, J. P. (2002)	→ 70
LEBOWITZ, M., (1987)	→ 59
LEE, B., (2001)	→ 174
LIEBOWITZ, J. (1988)	→ 248   251
LIEBOWITZ, J.; WILCOX, L. C. (1997)	→ 59   251
LIMA, J. C. de Araujo (1999)	→ 188
LIRA, G. da S. de; FANTINATO M., (2005)	→ 61   62
LUCATELLI, M. V.	→ 114
MAMDANI, E. H.; ASSILIAN, S. (1975)	→ 93
MARCOT, B. (1987)	→ 248
McCARTHY, J.; MINSKY, M. L.; ROCHESTER, N.; SHANNON, C. E. (1955)	→ 68
McDERMOTT, J. (1988)	→ 235
MELO, C. H. de; JUNIOR, J. M. S. G.; MORGADO, C. do R. V. (2002)	→ 183
MICHEL, Bernardo Amarante (2002)	→ 100
MIL-STD-1629 A (1980)	→ 40
MIL-STD-2173 (AS) (1986)	→ 44
MONCHY, François (1989)	→ 35
MOTTA, E. (1998)	→ 236   240   241 19   23   25   33   34   35   36   37   38   39   40   44   47   48   49   99   114   115   116   120   125   132   180   181   194   197
MOUBRAY, J. (2001)	→ 115   116   120   125   132   180   181   194   197
MUSEN, M. A.; FAGAN, L. M.; COMBS, D. M.; SHORTLIFFE E. H. (1987)	→ 236
NAVAIR 00-25-403 (2005)	→ 44
NASA (2000)	→ 25   34   44   47   99   194   197   251
NASSAR, Silvia Modesto (2004)	→ 86   87
NBR 5462 (1994)	→ 33   35   39
NONAKA, I.; TAKEUCHI, H. (1997)	→ 56   57   60
NOWLAN, F. S.; HEAP, H. F. (1978)	→ 25   34   35   37   44   46   47   48   99



	194   197
ORTIZ, João Carlos Ross (2004)	→ 66
PALADY, Paul. (2004)	→ 132   133
PLUCKNETTE, Douglas J. (2008)	→ 130
POLYA, George (1957)	→ 56
PRESSMAN, Roger S. (2004)	→ 73   229   230   259   231   249   250
PROTÉGÉ-2000 (2005)	→ 248
PUERTA, R.; EDGAR, J. W.; TU, S. W.; MUSEN, M. A. (1996)	→ 240
RABUSKE, Renato Antônio (1995)	→ 69
RAJOTTE, Claude, JOLICOEUR, Alain (2001)	→ 25   114   194
RAPOSO, José Luis Oliveira (2004)	→ 26   181   182   183
RAUSAND, Marvin; HØYLAND, Arnljot (2003)	→ 33
	53   54   62   69   70   71   72   76   77
	78   79   80   82   83   89   91   94   167
REZENDE, Solange Oliveira (2003)	→   229   231   232   233   234   236   237
	239   240   241   242   243   244   245
	→ 114   194   224   225   226
RIBEIRO, R. T.; ALVES, N. F. (2005)	→ 70
RIBEIRO, S.; CUNHA, H. (1987)	→ 56   81   244   245
RICH, E.; KNIGHT, K. (1993)	→ 68   80
RUSSELL, S. J.; NORVIG, P. (2004)	→ 25   30   34   39   40   44   45   99   223
SAE - JA1011 (1999)	→   226   243   245   246   247
	25   30   34   39   40   44   45   99   188
SAE - JA1012 (2002)	→   223   226   243   245   246   247
	39   41   196   244   246   247   248
SAE - J1739 (2002)	→ 249   250   251
SANTIAGO Jr., José Renato Sátiro (2004)	→ 54   55   56   57   59   63
SCHREIBER, A. T. (1992)	→ 235
SCHREIBER, G.; AKKERMANS, H.; ANJEWIERDEN, A.; HOOG, R.; SHADBOLT, N.; DE VELDE, W. V.; WIELINGA, B. (2002)	→ 62   63
SEIXAS, Eduardo de Santana (2004)	→ 36   37
SHAW, I. S.; SIMÕES, M. G. (2002)	→ 89
SILVA, Jonny Carlos da (1998)	→ 31   73   98
SILVA, E. L.; MENEZES, E. M. (2005)	→ 31
	19   23   34   35   36   37   38   39   40
SIQUEIRA, Iony Patriota de (2005)	→ 41   42   114   116   121   124   125
	126   127   132   136   138   193
SIQUEIRA, Iony Patriota de (2005a)	→ 26
SIQUEIRA, Iony Patriota de (2007)	→ 114
SMITH, A. M. (1993)	→ 25   34   48   49   50   99   194   197
	23   25   34   36   37   39   40   51   99
SMITH, A. M.; HINCHCLIFFE, G. R. (2004)	→ 114   115   116   125   132   194   197
SMITH, S.; KANDEL, A. (1993)	→ 84   85   248   249
SOMMERVILLE, Ian (2004)	→ 73   229   230   231   249
STAMATIS, D. H. (1995)	→ 132
STUDER, R.; BENJAMINS, V. R.; FENSEL, D. (1998)	→ 234   235
SWARTOUT, W. ; GIL Y. ; VALENTE, A. (1999)	→ 240
TEIXEIRA A. (2001)	→ 19
TERRA, José Cláudio Cyrineu (2001)	→ 60
TSANG A. (1998)	→ 20
VERMESAN, A. I.; BENCH C. T. (1995)	→ 249

VIZZONI, E.; ROSÁRIO, G. J.; OLIVEIRA, J. J. C.; FRANCESCHETT, J. G.; JANEIRO, M. P.; CASTRO, R. T. (1999)	→ 114   194   197   224
WALTRICH, S.; TONDELLO, C. (2007)	→ 26   194
WATERMAN, Donald A. (1986)	→ 68   72   75
WIELINGA, B. J.; VELDE, Van De W.; SCHREIBER, G.; AKKERMANS, H. (1992)	→ 235   240
WIREMAN, Terry (2005)	→ 132
WORLEDGE, D. (1993)	→ 114   115   116
YEN, J., LANGARI, R (1998)	→ 91   167

## ÍNDICE REMISSIVO

Abstração .....	82	Conhecimento Procedural.....	55
Agenda .....	71	Conhecimento Profundo .....	55
Agregação dos Consequentes .....	95	Conhecimento Superficial.....	55
Ajustes de Projeto .....	75	Conhecimento Tácito.....	56
Análise de Risco.....	180	Conjunto <i>Fuzzy</i> - Limite .....	88
Análise.....	54,74	Conjunto <i>Fuzzy</i> - Núcleo .....	88
Aprimoramento Contínuo .....	115	Conjunto <i>Fuzzy</i> - Suporte .....	88
Aquisição de Conhecimento.....	76,232	Consequência .....	54
Auditoria da Etapa 0 .....	142	Contextualização .....	54
Auditoria da Etapa 1 .....	143	Contribuições .....	29
Auditoria da Etapa 2 .....	144	Conversão do Conhecimento .....	56
Auditoria da Etapa 3 .....	145	Conversão .....	55
Auditoria da Etapa 4 .....	147	Correção.....	54
Auditoria da Etapa 5 .....	148	Dado.....	53
Auditoria da Etapa 6 .....	151	DALF-Diagramas - Interface.....	321
Auditoria da Etapa 7 .....	152	DALF-Diagramas .....	180
Auditoria da Etapa 8 .....	153	DALF-MCC - Conclusões.....	307
Avaliação dos Antecedentes .....	94	DALF-MCC - Critérios.....	279
Base de Conhecimento .....	70	DALF-MCC - Desenvolvimento .....	158
Cálculo .....	54	DALF-MCC - Instalação .....	267
Categorização.....	54	DALF-MCC - Interface .....	303
Combinação.....	58	DALF-MCC - Organização das Regras .....	160
Comparação.....	54	DALF-MCC - Processo de Desfuzzyficação. ....	301
Complemento .....	89	DALF-MCC - Processo de Fuzzyficação .....	301
Compreensão.....	54	DALF-MCC - Processo de Inferência .....	163
Comprometimento .....	115	DALF-MCC - Quesitos.....	279
Condensação dos Consequentes .....	96	DALF-MCC - Relatório.....	307
Condensação .....	54	DALF-MCC - Resultados .....	307
Conexão.....	55	DALF-MCC - Validação .....	187
Conhecimento - Dimensão Epistemológica	56	DALF-MCC - Verificação.....	185
Conhecimento - Dimensão Ontológica .....	56	DALF-MCC.....	157
Conhecimento .....	54	Descrições de Domínio .....	77
Conhecimento de Domínio.....	55	Desenvolvimento de Software .....	73,74
Conhecimento Declarativo.....	55	Desfuzzyficação .....	96
Conhecimento Explícito.....	56	Efetivo Próprio .....	20
Conhecimento Heurístico.....	55	Elicitação de Conhecimento .....	76,232

Encapsulamento .....	82	Fuzzificação .....	94
Engenharia do Conhecimento.....	61	FuzzyClips.....	97
Engenharia do Conhecimento.....	69	GC - Dimensões.....	60
Engenheiro de Conhecimento (EC).....	62	GC - Importância.....	59
Entrevistas .....	77	Gestão de Projetos.....	116
Especialistas .....	62	Gestão do Conhecimento (GC) .....	53
Especialização do Pessoal da Manutenção ..	67	Herança .....	83
Especificação .....	74	Hierarquia do Conhecimento .....	54
Espiral do Conhecimento .....	56	Idade Média dos Equipamentos .....	22
Estrutura do Trabalho .....	31	IDEF .....	100
Etapa 0 .....	102	Implementação .....	75
Etapa 1.....	102	Implementação Computacional.....	157
Etapa 2 .....	103	Implicação .....	95
Etapa 3 .....	104	Incertezas .....	85
Etapa 4 .....	105	Indicadores de Desempenho .....	21
Etapa 5 .....	106	Indicadores de Disponibilidade .....	22
Etapa 6 .....	108	Informação .....	53
Etapa 7 .....	109	Inteligência Artificial (IA) .....	68
Etapa 8 .....	109	Interface com o Usuário .....	71
Etapas - Controles .....	101	Internalização .....	58
Etapas - Entradas .....	101	Interseção .....	89
Etapas - Mecanismos .....	101	ISO/IEC 9126 .....	84
Etapas - Objetivos .....	101	Justificativas .....	29
Etapas - Saídas .....	101	Lógica <i>Fuzzy</i> .....	87
Etapas - Tarefas .....	101	Mamdani .....	93
Externalização .....	57	Manutenção Centrada na Confiabilidade ...	33
Falha Funcional .....	39	Manutenção de Software.....	75
Fatores Gerenciais .....	116	Máquina de Inferência.....	71
Fatores Técnicos.....	116	MCC - Atributos .....	38
Fatos .....	71	MCC - Critérios .....	38
Ferramentas Computacionais .....	171	MCC - Definição .....	33
FMECA-Delphi - Interface.....	313	MCC - Evolução Histórica .....	34
FMECA-Delphi .....	174	MCC - Metodologias para Implantação .....	42
Função .....	39	Memória Operacional.....	71
Função de Pertinência.....	90	Metaconhecimento .....	54
Funções Primárias .....	39	Metodologia - ABS .....	44
Funções Secundárias .....	39	Metodologia - IEC 60300-3-11 .....	42
Funções Significantes .....	41	Metodologia - Moubray .....	47

Metodologia - NASA .....	44	Projeto Detalhado.....	75
Metodologia - Nowlan e Heap .....	46	Projeto Inicial.....	75
Metodologia - SAE JA1011 .....	44	Projeto Preliminar .....	75
Metodologia - SAE JA1012 .....	44	Publicações .....	275
Metodologia - Smith .....	48	Qualificação do Pessoal da Manutenção ....	20
Metodologia - Smith e Hinchcliffe .....	50	Recursos .....	114
Metodologia da Pesquisa .....	30	Regras de Produção .....	82
MIL-STD-1629A .....	178	Regras de Produção <i>Fuzzy</i> .....	91
Modificadores Linguisticos .....	91	Representação do Conhecimento (RC) .....	80
Modo de Falha - Classificação .....	41	Resultados e Benefícios .....	115
Modo de Falha .....	39	Retorno do Investimento .....	115
Monitoramento Automático .....	23	Robótica.....	68
NBR 13596 .....	84	Ruído.....	53
NPR-Fuzzy - Interface .....	318	SAE-J1739 .....	178
NPR-Fuzzy .....	177	SBC - Desenvolvimento .....	231
Objetivo Geral .....	27	Seleção de SBC's .....	75
Objetivos Específicos .....	28	<i>Singleton</i> .....	88
Open-FMECA - Interface.....	309	Síntese.....	54
OpenFMECA .....	173	Sistema Baseado em Conhecimento (SBC)..	69
Operações <i>Fuzzy</i> .....	89	Sistema Especialista.....	69
Orientação a Objetos .....	82	Sistemas Inteligentes (SI) .....	69
Participação <i>Fuzzy</i> .....	90	Socialização .....	57
Peritos   Experts .....	62	Susbsistema de Aquisição de Conhecimento	71
Polimorfismo .....	83	Susbsistema de Explicação .....	71
Premissas da Pesquisa .....	23	Tarefas de Manutenção Aplicáveis .....	41
Pré-Requisitos da Etapa 0 .....	118	Tarefas de Manutenção Efetivas .....	41
Pré-Requisitos da Etapa 1 .....	123	<i>Teachback</i> .....	78
Pré-Requisitos da Etapa 2 .....	128	Técnica <i>Delphi</i> .....	79
Pré-Requisitos da Etapa 3 .....	130	Tempo .....	115
Pré-Requisitos da Etapa 4 .....	133	Termos Primários .....	90
Pré-Requisitos da Etapa 5 .....	134	Teste .....	75
Pré-Requisitos da Etapa 6 .....	136	Trabalhos Futuros .....	200
Pré-Requisitos da Etapa 7 .....	137	Trabalhos Relevantes .....	25
Pré-Requisitos da Etapa 8 .....	139	Treinamento do Pessoal da Manutenção ....	21
Problema de Pesquisa.....	23	União.....	89
Procedimento de Referência .....	99	Validação .....	84
Processamento da Linguagem Natural.....	68	Variáveis Linguisticas .....	90
Processamento de Conhecimento.....	68	Verificação .....	84

