

SISTEMA ESPECIALISTA COM LÓGICA NEBULOSA PARA O CÁLCULO EM
TEMPO REAL DE INDICADORES DE DESEMPENHO E SEGURANÇA NA
MONITORAÇÃO DE USINAS NUCLEARES

Kelling Cabral Souto

TESE SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DA COORDENAÇÃO DOS
PROGRAMAS DE PÓS-GRADUAÇÃO DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE
FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE DOS REQUISITOS
NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE DOUTOR EM CIÊNCIAS EM
ENGENHARIA NUCLEAR.

Aprovada por:

Prof. Roberto Schirru, D.Sc.

Prof. Aquilino Senra Martinez, D. Sc.

Prof. Cláudio Márcio Nascimento Abreu Pereira, D. Sc.

Dr. Celso Marcelo Franklin Lapa, D. Sc.

Dr. Paulo Victor Rodrigues de Carvalho, D. Sc.

RIO DE JANEIRO, RJ - BRASIL

NOVEMBRO DE 2005

SOUTO, KELLING CABRAL

Sistema Especialista com Lógica Nebulosa
para o Cálculo em Tempo Real de Indicadores
de Desempenho e Segurança na Monitoração de
Usinas Nucleares [Rio de Janeiro] 2005

VIII, 175 p. 29,7 cm (COPPE/UFRJ, D.Sc.,
Engenharia Nuclear, 2005)

Tese - Universidade Federal do Rio de
Janeiro, COPPE.

1 – Sistema Especialista Nebuloso

2 – Indicadores de Desempenho e Segurança

I. COPPE/UFRJ II. Título (série)

AGRADECIMENTO

Ao professor Roberto Schirru, por sua orientação e amizade, sem as quais a realização desse trabalho não teria sido possível.

Aos meus pais, por acreditarem sempre nas minhas iniciativas, possibilitando-me cursar o doutorado.

Aos especialistas da Usina Nuclear Angra 2 pela contribuição técnica, fundamental na elaboração deste trabalho, em particular ao pessoal da diretoria de operação da Eletronuclear.

Aos amigos Alan, Ana, Carlão, Democlydes, Elaine, Fabiana, José Luis, Márcio (Cicinho), Serginho, Selma, Simone, Vinícius, Vivian, Wallace e ao namorado e amigo Marcelo pelos momentos de diversão e pelo incentivo.

Aos funcionários e amigos do Laboratório de Monitoração de Processos (LMP) do Programa de Engenharia Nuclear COPPE/UFRJ pelo apoio e a todos que contribuíram de forma direta ou indireta, na realização desse trabalho.

Resumo da Tese apresentada à COPPE/UFRJ como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Doutor em Ciências (D.Sc.)

SISTEMA ESPECIALISTA COM LÓGICA NEBULOSA PARA O CÁLCULO EM TEMPO REAL DE INDICADORES DE DESEMPENHO E SEGURANÇA NA MONITORAÇÃO DE USINAS NUCLEARES

Kelling Cabral Souto

Novembro/2005

Orientador: Roberto Schirru

Programa: Engenharia Nuclear

Este trabalho desenvolve um sistema especialista, capaz de inferir sobre uma estrutura genérica de indicadores, de forma a monitorar, medir e avaliar questões relacionadas a projeto, segurança operacional e desempenho humano de acordo com a política, os objetivos e metas da usina nuclear Angra 2. Tal estrutura, organizada em grafo e inserida no contexto de orientação a objetos, representa o conhecimento do sistema especialista e encontra-se mapeado dentro de um conceito de lógica nebulosa. Enquanto que o motor de inferência do sistema especialista é do tipo *backward chaining* associado a um processo de busca em profundidade, de forma que ao inferir sobre a estrutura de indicadores de Angra 2 é capaz de estabelecer o *status* representativo da usina, possibilitando uma análise e gerenciamento da missão e da situação da mesma.

Abstract of Thesis presented to COPPE/UFRJ as a partial fulfilment of the requirements for the degree of Doctor of Science (D.Sc.)

EXPERT SYSTEM WITH FUZZY LOGIC FOR THE CALCULATION IN REAL
TIME OF PERFORMANCE AND SECURITY INDICATORS IN MONITORING OF
NUCLEAR POWER PLANTS

Kelling Cabral Souto

November/2005

Advisors: Roberto Schirru

Department: Nuclear Engineering

This work develops an expert system, which is able to infer about a generic structure of indicators, in order to monitor, measure and evaluate the questions related to project, safe operation and human performance according to politics, objectives and goals of the nuclear power plant Angra 2. This structure, organized in graphics, inserted in the context of orientation towards objects, represents the knowledge about the expert system and is mapped out in a context of fuzzy logic. The engine of inference of the expert system is of backward chaining type associated to a process of search in depths, in a way that it when infer about the structure of indicators of Angra 2, is capable to establish the representative status of the plant, making possible to analyze and manage the mission of its situation.

INDÍCE

CAPÍTULO 1	01
1 – Introdução	01
CAPÍTULO 2	09
2 – Fundamentos Teóricos: Aspectos Inteligência Artificial	09
2.1 – Lógica Nebulosa	09
2.1.1 – Conjuntos Nebulosos	10
2.1.2 – Funções de Pertinências	11
2.1.3 – Operações em Conjuntos Nebulosos	11
2.1.4 – Regras Nebulosas	12
2.1.5 – Sistema de Inferência Nebuloso	13
2.1.6 – Modelo Nebuloso <i>Mandani</i>	17
2.2 – Sistema Especialista	18
2.2.1 – Representação do Conhecimento	20
2.2.2 – Motor de Inferência	23
2.3 – Sistema Especialista Nebuloso	26
2.4 – Programação Orientada a Objetos	27
2.4.1 - Linguagem de Programação CLOS	29
2.4.1.1 – Elementos de um Programa CLOS	29
CAPÍTULO 3	32
3 – Fundamentos Teóricos: Indicadores de Desempenho e Segurança	32
3.1 - Indicadores de Desempenho e Segurança – NRC	35
3.2 - Indicadores de Desempenho e Segurança – WANO	36
3.3 - Indicadores de Desempenho e Segurança – AIEA	38

3.4 - Indicadores de Desempenho e Segurança – INPO	41
CAPÍTULO 4	43
4 - Modelo de Sistema Especialista Nebuloso para o Cálculo de Indicadores de Desempenho e Segurança.	43
4.1 – Estrutura de Indicadores	43
4.2 – Representação do Conhecimento do Modelo	50
4.3 – Motor de Inferência do Modelo	64
4.4 – Aquisição de Conhecimento do Modelo	71
4.5 – Linguagem de Programação Utilizada para Implementação do Modelo	71
4.6 - Estrutura de Indicadores da Usina Nuclear de Angra 2 para o Modelo	72
4.6.1 – Indicador Chave - Usina Opera sem Problemas	73
4.6.2 – Indicador Chave - Usina Opera com Baixo Risco	78
4.6.3 – Indicador Chave – Usina Opera com Atitude Positiva de Segurança	81
CAPÍTULO 5	87
5 - Implementação do Modelo de Sistema Especialista Nebuloso para o Cálculo de Indicadores de Desempenho e Segurança.	87
CAPÍTULO 6	99
6 - Ambiente de Teste - Sistema de Monitoração de Desempenho	99
6.1 - Sistema de Refrigeração – Abril 2004	104
6.2 – Caso Exemplo – Janeiro 2005	117
6.3 – Caso Exemplo – Maio 2005	125
CAPÍTULO 7	129

7 - Conclusões	129
Anexo A	134
A - Estrutura de Indicadores da Usina Nuclear Angra 2 para o Modelo de Sistema Especialista Nebuloso no Cálculo de Indicadores de Desempenho.	134
Anexo B	167
B – Dados de Aquisição para o Sistema de Monitoração de Desempenho nos Casos Exemplos de Janeiro e Maio de 2005.	167
Referência Bibliográfica	174

Capítulo 1

Introdução

A necessidade de monitoração das usinas nucleares vem crescendo significativamente nas últimas décadas, em virtude, principalmente, das exigências de segurança, operação, manutenção e do aumento da potencialidade dessas usinas.

Monitorar uma usina nuclear de forma a realizar uma operação segura, é o objetivo de todos os envolvidos nessa indústria, apesar de ser considerado um processo crítico, haja vista, o elevado número de variáveis a serem observadas continuamente e principalmente da necessidade de se garantir desempenho aliado à segurança acima de tudo.

Os conceitos de desempenho e segurança durante muito tempo foram vistos como objetivos conflitantes. Entretanto, a experiência de operação, desenvolvida nos últimos 30 anos, tem levado a indústria a entender que segurança é garantia de produção.

Essa experiência operacional permitiu ainda, um entendimento geral sobre o conjunto de atributos do qual uma usina nuclear deve ter para que opere de forma segura. Sendo, portanto, o desafio atual, medir tais atributos. Desafio este que faz surgir os chamados indicadores de desempenho e segurança (WANO, 2005) como índices para monitorar, medir e avaliar esses atributos, possibilitando a gerência da usina, analisar o andamento das atividades da empresa bem como direcionar as tomadas de decisão, no que diz respeito ao seu planejamento estratégico.

Desta forma, diversos órgãos e institutos na última década vêm desenvolvendo trabalhos relacionados a indicadores de desempenho e segurança. A Agência Internacional de Energia Atômica - AIEA (IAEA, 2005), o Instituto de Operações de

Usinas Nucleares - INPO (INPO, 2005), a Associação Mundial de Operadores Nucleares - WANO (WANO, 2005) e Comissão Reguladora Nuclear – NRC (NRC, 2005) são exemplos disto, por trabalhos de grande contribuição, publicados nesta linha.

A AIEA, desde 1995 vem direcionando espaços, na elaboração de estruturas para o estabelecimento de um programa de indicadores de desempenho de segurança operacional. Nesse contexto, diversos trabalhos vêm sendo publicados pela Agência, dentre os quais merece destaque o intitulado como *Operational safety performance indicators for nuclear power plants* (IAEA, 2000), por apresentar um guia geral de indicadores de desempenho e segurança.

Esse guia tem fundamental importância pelo fato de estabelecer um novo conceito no que diz respeito ao tratamento de aspectos relacionados a desempenho e segurança de usinas nucleares. O guia sugere ações, condições e procedimentos para se atingir os requisitos de segurança, bem como garantir um alto índice de desempenho, propondo que problemas relacionados a desempenho e segurança sejam tratados de forma macro e não simplesmente através de indicadores específicos isoladamente.

A Agência afirma que um alto nível de segurança é resultado de uma interação complexa de uma segurança operacional, projeto e desempenho humano. Experiência tem demonstrado que a concentração em um único aspecto do desempenho é ineficiente e pode ser ilusório. O que é mais válido, portanto, é a figura total apresentada por um conjunto completo de indicadores projetado para monitorar todos os aspectos do desempenho de segurança operacional. Sendo assim, esse guia geral de indicadores fornece uma estrutura genérica para a identificação e organização dos indicadores de desempenho que têm uma relação direta com os atributos de segurança desejados.

O trabalho da Agência mostra ainda que as tendências de um indicador específico em um período de tempo podem fornecer um aviso para que se possam

investigar as causas por trás das alterações observadas. Além é claro de servir como instrumento de comparação dos indicadores com as metas e objetivos identificados para avaliar pontos positivos e negativos de desempenho. Todavia, o conceito embutido nesse guia vai muito além do simples tratamento de manipulação de indicadores. A Agência afirma que os valores atuais de indicadores não devem ter a intenção de ser medidas diretas de segurança, embora desempenho de segurança possa ser deduzido pelos resultados atingidos. O valor numérico de qualquer indicador individual pode não ser significativo se tratado isoladamente, mas pode ser “aumentado” quando considerado no contexto de outros indicadores de desempenho.

Sendo assim, através de uma eficiente estruturação de indicadores, pode-se obter não apenas uma análise individual de cada indicador, mais sim, em níveis acima, uma análise significativa de problemas macros da usina, como por exemplo, aspectos relacionados ao desempenho humano e conseqüentemente o estabelecimento do *status* representativo da mesma.

O INPO também traz alguns trabalhos relacionados aos indicadores de desempenho, dos quais merece destaque o *Indicators of changing performance* (INPO, 2001), destacando a importância de se estabelecer uma estruturação eficiente de indicadores de desempenho e segurança operacional, para monitorar aspectos da planta, organizacional e de desempenho humano. Além de identificar um conjunto valioso desses indicadores.

A WANO desenvolve um programa de padronização mundial dos indicadores de desempenho de usinas nucleares (MARTORELL, et al, 1998), enquanto que a NRC retrata larga experiência sob indicadores de desempenho, fruto da implementação do primeiro programa oficial desses índices em usinas nucleares (NRC, 2002).

Nesse contexto de indicadores de desempenho de segurança, pensou-se na elaboração de uma ferramenta que trabalhasse em tempo real, capaz de inferir sobre uma estrutura genérica de indicadores, construída por este trabalho (um de seus objetivos e parte principal do conhecimento a ser manipulado) junto a especialistas, ao conceito sugerido pela Agência e a experiência fornecida por trabalhos do INPO, da WANO e da NRC, de tal forma a estabelecer o *status* representativo da usina nuclear Angra 2, possibilitando uma análise e um gerenciamento da missão e da situação da mesma.

No entanto, para se determinar o *status* da usina é necessário primeiro determinar o *status* de cada indicador que irá compor essa estrutura, estabelecendo em que faixas/regiões o valor de cada um deles indica desempenho bom, satisfatório, com necessidade de aperfeiçoamento ou desempenho insatisfatório, para posteriormente agregar tais conceitos, combinando o desempenho de indicadores em prol de efetivamente obter o *status* da usina.

Todavia, a definição dessas faixas de desempenho não é trivial uma vez que podem existir regiões onde esses conceitos se misturem, ou seja, valores que podem pertencer simultaneamente a duas faixas. Em muito desses casos, os próprios especialistas da área teriam dificuldade em estabelecer o que determinados valores significam, ou ainda a que faixas efetivamente pertencem, uma vez que o conceito não é determinístico e sim, nebuloso.

Sendo assim, no caso de um tratamento computacional, esse tipo de incerteza pode ser melhor manipulada mediante uma metodologia específica, denominada lógica nebulosa que permite gerenciar incertezas, tratar conceitos nebulosos inerentes do problema, bem como agregá-los.

Desta forma, esse trabalho procura desenvolver, um modelo de sistema inteligente em tempo real que raciocine sobre a estrutura de indicadores construída especificamente para Angra 2, organizada em grafos (SZWARCFITER, 1984 e SOUTO, 2001), inserido no contexto de orientação a objetivos (RUMBAUGH, BIAHA, et al, 1994) e mapeada dentro de um conceito nebuloso.

O modelo de sistema inteligente, referido modelo de sistema especialista nebuloso, escrito em CLOS (*Common Lisp Object System*) (ALLEGRO CL, 1999), respaldou-se, fundamentalmente, na teoria de lógica nebulosa (PASSINO e YURKOVICH, 1998) e sistema especialista (RICH e KNIGHT, 1993).

A lógica nebulosa é uma forma de gerenciamento de incertezas, que objetiva fazer com que as decisões tomadas pela máquina se aproximem cada vez mais das decisões humanas, principalmente ao trabalhar com uma grande variedade de informações vagas e incertas. Os conjuntos nebulosos são caminhos que aproximam o raciocínio humano à forma de interpretação da máquina.

A utilização da lógica nebulosa nesse trabalho, justifica-se por permitir estabelecer conceitos/faixas de desempenho representadas por cores para os valores de cada indicador e possibilitar uma agregação de tais conceitos, relacionando os indicadores, de modo a estabelecer o *status* da usina, visualizada mediante uma representação gráfica. As cores utilizadas foram: verde, branco, amarelo e vermelho, como sugerido pela AIEA, representando uma escala de desempenho que varia de bom a insatisfatório.

Os sistemas especialistas procuram traduzir a forma de pensamento dos especialistas humanos, partindo da utilização de conhecimento a cerca do domínio específico de um determinado problema, bem como mediante ao estabelecimento de critérios que envolvam dois componentes: o conhecimento e o motor de inferência.

No que diz respeito ao conhecimento, o fato de se desejar implementar um modelo capaz de inferir sobre uma estrutura genérica de indicadores específicos e genéricos organizados em grafos, induziu de forma natural ao conceito de classe de objetos e conseqüentemente ao estabelecimento da representação do conhecimento através do uso de regras gerais de classes, baseadas, portanto, na teoria de orientação a objetos.

Sendo assim, foi planejado um conjunto de classes para o modelo, onde cada elemento da estrutura genérica de indicadores é considerado e tratado como objeto de uma das classes, herdando seus atributos e métodos, mediante uma relação pai-filhos.

Ainda com relação ao conhecimento utilizado pelo modelo, juntamente com as regras gerais de classe se faz uso de regras nebulosas, próprias da metodologia de lógica nebulosa. Essas regras que se destinam diretamente ao estabelecimento das cores (*status*) de cada indicador e são geradas pelo nosso modelo de sistema especialista nebuloso, através de quatro modelos aqui propostos. A seguir:

(1) Modelo Conservativo: Gera regra nebulosa (*If-Then*) para um dado indicador pai, cujo antecedente (*If*) é a combinação das cores dos seus indicadores filhos e a parte conseqüente (*Then*) é resultado da cor de pior desempenho dentre as cores presentes no antecedente;

(2) Modelo Proporcional: Gera regra nebulosa (*If-Then*) para um dado indicador pai, cujo antecedente (*If*) é a combinação das cores dos seus indicadores filhos e a parte conseqüente (*Then*) é resultado da obtenção de um dos percentuais estabelecidos para cada faixa de desempenho, em uma prioridade dita conservativa, gerada a partir das cores presentes no antecedente;

(3) Modelo Determinístico: Gera regra nebulosa (*If-Then*) para um dado indicador pai, cujo antecedente (*If*) é a combinação das cores dos seus indicadores filhos

e a parte conseqüente (*Then*) é gerada pelo resultado da aplicação de um procedimento numérico (média ponderada) sobre os antecedentes da dada regra; e

(4) Modelo Especialista: Gera regra nebulosa (*If-Then*) para um dado indicador pai, cujo antecedente (*If*) é a combinação das cores dos seus indicadores filhos e a parte conseqüente (*Then*) é fruto da indicação por especialistas de uma das quatro cores de desempenho.

O motor de inferência implementado é do tipo *backward chaining* associado a um processo de busca em profundidade (SOUTO, 2001), estruturado de forma a realizar inferência sobre um conjunto de indicadores nebulosos.

Com a finalidade de testar as funcionalidades do modelo de sistema especialista nebuloso, criou-se um ambiente de teste para o mesmo, denominado por Sistema de Monitoração de Desempenho. Ambiente de teste este que permitiu a realização de diversas simulações aplicadas a estrutura de indicadores construída para Angra 2, na obtenção do seu *status* representativo. Permitiu, ainda, a comparação dos resultados obtidos pelo sistema, com uma avaliação numérica manual realizada por especialistas de Angra 2, quando aplicados ao problema da obtenção do desempenho do sistema de refrigeração de Angra 2, sob as mesmas condições.

O ambiente de teste e as aplicações realizadas em alguns problemas de Angra 2, permitiu demonstrar a capacidade e a viabilidade de se desenvolver um sistema especialista aliado a um conjunto de indicadores bem estruturado e mapeado de forma nebulosa, como uma potencial ferramenta de monitoração, gerência e análise de diversos parâmetros da usina. Suprindo a carência da área nuclear em modelos gerenciais que permitam auxiliar no planejamento estratégico da empresa.

Esse documento foi estruturado da seguinte forma:

O Capítulo 2 faz uma revisão metodológica de aspectos que envolvem a inteligência artificial, utilizadas nesse trabalho.

O Capítulo 3 apresenta alguns dos principais trabalhos publicados sobre indicadores de desempenho.

O Capítulo 4 descreve e justifica o desenvolvimento do modelo de sistema especialista nebuloso destinado ao cálculo de indicadores de desempenho e segurança, mostrando detalhes do formalismo da representação do conhecimento, do funcionamento do motor de inferência, do processo de aquisição de dados, da linguagem de programação definida para efetiva implementação do modelo e a estrutura de indicadores completa elaborada por este trabalho para a usina nuclear Angra 2.

O Capítulo 5 traz detalhes de implementação do modelo de sistema especialista nebuloso, apresenta a estrutura de classes definida com seus respectivos atributos e métodos, mostra as definições básicas construídas para o modelo e fornece uma visão técnica do seu motor de inferência.

O Capítulo 6 apresenta o ambiente de teste desenvolvido e as simulações realizadas, a fim de verificar as funcionalidades e a viabilidade do modelo.

O Capítulo 7 discute sobre os resultados obtidos e sobre as contribuições do trabalho, bem como apresenta sugestões para continuação do mesmo.

O Anexo A traz a estrutura de indicadores definida junto a especialistas para a usina nuclear Angra 2.

O Anexo B apresenta os dados de aquisição utilizados pelo sistema nos casos testes simulados.

Capítulo 2

Fundamentos Teóricos: Aspectos de Inteligência Artificial

Definir o termo Inteligência Artificial (IA) é uma tarefa difícil, haja vista que ainda não há um senso comum a esse respeito, todavia, alguns dicionários de computação, fornecem como resposta o seguinte conceito: “Aptidão ou capacidade de um dispositivo para desempenhar funções que são normalmente associadas à inteligência humana, tais como raciocínio, aprendizagem e auto-aperfeiçoamento” (TAFNER, XEREZ e FILHO, 1995).

São várias as áreas de aplicação da Inteligência Artificial (RUSSELL e NORVIG, 1995). Lógica Nebulosa e Sistema Especialista apresentam-se como exemplos dessas áreas e destacam-se pelo fato de procurar resolver problemas, objetivando aproximar respostas fornecidas pela máquina das respostas humanas e lidar melhor com as propriedades de sistemas complexos.

2.1 – Lógica Nebulosa

A lógica clássica de Aristóteles fez do atributo da bivalência um marco histórico na cultura ocidental (SHAW e SIMÕES, 1999). A bivalência e, portanto a lógica clássica reconhece apenas dois valores: verdadeiro ou falso. Com essa lógica espera-se sempre que uma determinada afirmação seja verdadeira ou falsa, não havendo nada entre ambos. Todavia há um considerável descompasso entre o mundo real e a razão bivalente do mesmo.

O mundo real não é bivalente, é na realidade multivalente com infinito espectro de opções em vez de apenas duas. Verdade absoluta e precisão existem apenas como

“coisas extremas”, ou seja, a verdade é uma questão de ponto de vista ou de graduação. Meias verdades fazem parte do mundo real.

Diante dessa constatação, surge o conceito de lógica nebulosa, originalmente apresentados em artigos de Lotfi Zadeh no início dos anos 60 (NICOLETTI, 1999).

A lógica nebulosa é uma forma de gerenciamento de incertezas, definindo o grau de veracidade em um intervalo $[0, 1]$, onde a certeza absoluta é representada pelo valor 1.

A comunicação humana contém diversas incertezas na forma de expressões verbais, que são vagas, imprecisas e com pouca resolução. Termos como alto, baixo, quente, frio, claro ou escuro são exemplos dessas expressões verbais imprecisas, inerentes da comunicação humana. O homem faz uso de um julgamento intuitivo para avaliar o significado de alto, baixo, quente, frio, claro ou escuro e em que grau pertence a nossa concepção dos mesmos. Se uma pessoa adulta de origem ocidental apresenta 1,50m de altura provavelmente o julgamento humano a este respeito dirá que se trata de alguém com baixa estatura.

Por outro lado, os computadores, diferentemente dos seres humanos, podem apenas “raciocinar” de forma bivalente: 0 e 1. Os computadores não conseguem entender os termos nebulosos e imprecisos da comunicação humana. A lógica nebulosa vem de forma a preencher esse vazio e traduzir os graus de verdade das afirmações de uma maneira que os computadores possam processar tais informações. A lógica nebulosa pode fazer com que os computadores “raciocinem” conforme os humanos.

2.1.1 - Conjuntos Nebulosos

Conjunto clássico é o conjunto com intervalo preciso, onde há um claro e indistinto ponto de limite de intervalo. A teoria dos conjuntos clássicos serve como base à lógica binária tradicional.

Em contraste com os conjuntos clássicos, existe a teoria dos conjuntos nebulosos que sustenta a lógica nebulosa. Tais conjuntos, como o próprio nome indica, são conjuntos sem fronteiras definidas, ou seja, a transição entre “pertencer a um grupo” e “não pertencer a um grupo” é gradual e essa transição suave entre grupos é caracterizada por funções de pertinência. Estas funções dão aos conjuntos nebulosos a flexibilidade necessária para modelar expressões lingüísticas, tais como: quente, frio, baixo ou alto.

2.1.2 - Funções de Pertinências

O valor de pertinência de um elemento, chamado grau de pertinência, reflete a sua compatibilidade com as características e propriedades do conjunto. Assim, quanto mais próximo de 1 for o grau de pertinência de um elemento, mais compatível com o conjunto ele será.

Formalmente um conjunto nebuloso é caracterizado por uma função de pertinência que mapeia os elementos de um domínio X no intervalo $[0, 1]$, ou seja, é através da função de pertinência que se determina o quanto um dado objeto x pertence ao conjunto A , isto é:

$$A = \{(x, \mu_A(x)), \forall x \in X\} \text{ ou } \mu_A(x): X \rightarrow [0, 1] \quad (\text{Eq. 2.1})$$

2.1.3 – Operações em Conjuntos Nebulosos

As operações mais básicas de união, interseção e complementação aplicadas em conjuntos clássicos também podem ser realizadas em conjuntos nebulosos. Como estes são definidos por suas funções de pertinência, estas serão utilizadas para redefinir as operações.

- **União:** A união de dois conjuntos nebulosos A e B é o conjunto nebuloso C, escrito na forma $C = A \cup B$ ou $C = A$ ou B, cuja função de pertinência está relacionada às funções de A e B por:

$$\mu_C(x) = \max(\mu_A(x), \mu_B(x)) = \mu_A(x) \vee \mu_B(x) \quad (\text{Eq. 2.2})$$

- **Interseção:** A interseção de dois conjuntos nebulosos A e B é o conjunto nebuloso C, escrito na forma $C = A \cap B$ ou $C = A$ e B, cuja função de pertinência está relacionada às funções de A e B por:

$$\mu_C(x) = \min(\mu_A(x), \mu_B(x)) = \mu_A(x) \wedge \mu_B(x) \quad (\text{Eq. 2.3})$$

- **Complementação:** A complementação de um conjunto nebuloso A é o conjunto nebuloso C, escrito na forma $C = 1 - A$, cuja função de pertinência está relacionada à função A por:

$$\mu_C(x) = 1 - \mu_A(x) \quad (\text{Eq. 2.4})$$

Essas são as operações mais básicas em conjuntos nebulosos, outras existem, bem como propriedade desses conjuntos e podem ser vistas com detalhes em (PASSINO e YURKOVICH, 1998 e NICOLETTI, 1999).

2.1.4 - Regras Nebulosas

Uma regra nebulosa tipo Se – Então (regra nebulosa, implicação nebulosa e declaração condicional nebulosa) assume a forma:

Se x é A então y é B

Onde A e B são valores/expressões lingüísticas definidas por conjuntos nebulosos em universos de discurso x e y respectivamente. Frequentemente “x é A” sendo denominado por premissa ou antecedentes enquanto “y é B” sendo chamado de conseqüente ou conclusão. Exemplos de regras nebulosas estão espalhados em nossas expressões lingüísticas usadas no dia-a-dia.

- Se a pressão (x) estiver alta (A), então o volume (y) está baixo (B).
- Se a estrada (x) estiver escorregadia (A), então a direção (y) é perigosa (B).
- Se o morango (x) estiver vermelho (A), então a fruta (y) está madura (B).

A utilização de tais regras faz-se importante porque a grande maioria dos problemas do mundo real contém informações imprecisas.

2.1.5 – Sistema de Inferência Nebuloso

É a forma mais comum de processamento baseado nos conceitos de lógica nebulosa, regras nebulosas e raciocínio nebuloso.

A estrutura básica de um sistema nebuloso consiste de quatro componentes conceituais: fuzzificação, base de regras, inferência e defuzzificação, como apresentado na Figura 2.1.

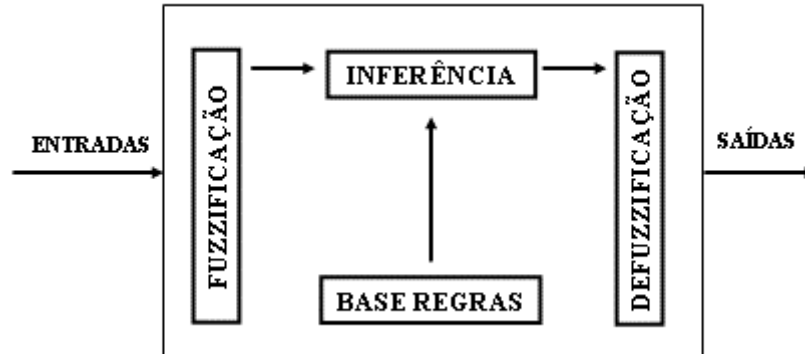


Figura 2.1: Estrutura básica de um sistema de inferência nebuloso.

Uma vez que o sistema de inferência nebuloso recebe um valor de entrada, o mesmo é mapeado do domínio discreto (crispe) para o domínio nebuloso, mediante um processo denominado fuzzificação.

A fuzzificação, portanto, transforma uma entrada numérica $x \in X$ num conjunto nebuloso do tipo $A = \{(x, \mu_A(x)), \forall x \in X\}$. Esta, também, representa que há atribuição

de valores lingüísticos, descrições vagas ou qualitativas definidas por funções de pertinência às variáveis de entrada, como ilustrado na Figura 2.2:

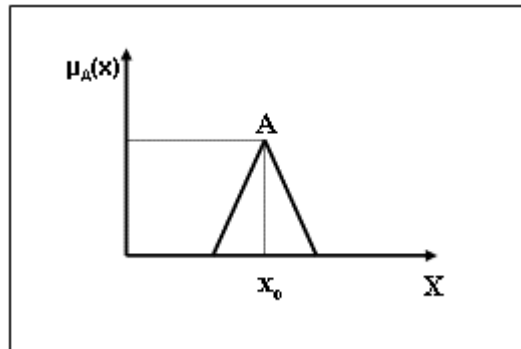


Figura 2.2: Processo de fuzzificação dos sistemas nebulosos.

A base de regras contém uma seleção de regras nebulosas, um banco de dados ou dicionário, que define as funções de pertinência a serem usadas nas regras nebulosas, enquanto que um mecanismo de raciocínio, que executa o procedimento de inferência sobre as regras e uma dada condição de forma a obter uma resposta razoável, ou uma conclusão.

A inferência dos sistemas nebulosos calcula as ações a serem empregadas, de acordo com as regras, ou seja, transforma o(s) conjunto(s) nebuloso(s) de entrada $A = \{(x, \mu_A(x)), \forall x \in X\}$ no conjunto nebuloso de saída $B = \{(y, \mu_B(y)), \forall y \in Y\}$ (união de todos os conjuntos de saída), através da relação definida pela base de regras.

É importante perceber que as saídas dos sistemas nebulosos estão na forma de conjuntos nebulosos. Entretanto, freqüentemente é necessário obter-se um valor na saída e não um conjunto nebuloso. Utiliza-se na estratégia de desnebulização ou de defuzzificação, objetivando extrair um valor numérico.

Sendo assim, a defuzzificação transforma o conjunto nebuloso de saída $B = \{(y, \mu_B(y)), \forall y \in Y\}$ num valor numérico y_0 para ser utilizado no processo. Na

defuzzificação, portanto, o valor da variável lingüística de saída inferida pelas regras nebulosas será traduzido num valor discreto que melhor represente os valores nebulosos inferidos da expressão lingüística de saída, ou seja, trata-se de uma transformação inversa que traduz a saída do domínio nebuloso para o domínio discreto.

Existem alguns métodos de defuzzificação que devem ser escolhido de acordo com a aplicação, dentre os quais, pode-se destacar o Método Centro da Área (CoA), também conhecido como centróide e a Média dos Máximos (MoM), por serem mais comumente utilizados (NICOLETTI, 1999).

O método de defuzzificação Centro da Área calcula o centróide da área composta, que representa o termo de saída do processo de inferência nebuloso (conjunto nebuloso de saída), esse termo é composto pela união de todas as contribuições de regras. O centróide é um ponto que divide essa área gerada de saída em duas partes iguais, como ilustrado na Figura 2.3 e calculado pela Equação 2.5 abaixo.

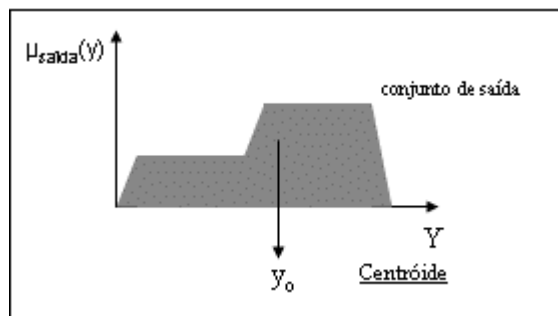


Figura 2.3: Método de Defuzzificação Centro da Área.

$$y_0 = [\sum y_i \cdot \mu_{saida}(y_i)] / [\sum \mu_{saida}(y_i)] \quad (\text{Eq. 2.5})$$

O modelo, Média dos Máximos utiliza a saída cujo valor representa a média de todos os máximos do conjunto nebuloso, gerado como resultado do sistema de inferência. A Figura 2.4 e a Equação 2.6 ilustram o processo de cálculo desse método.

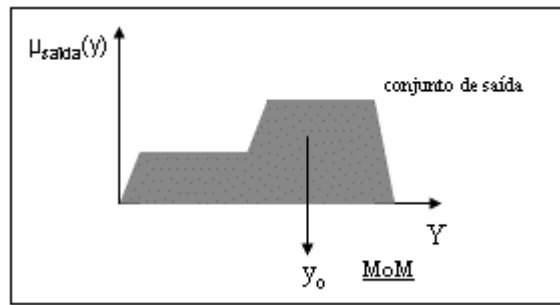


Figura 2.4: Método de Defuzzificação Média dos Máximos.

$$y_0 = [\sum \mu_{saída}(y_i) \cdot M_{saída}(y_i)] / [\sum \mu_{saída}(y_i)] \quad (\text{Eq. 2.6})$$

Uma vez estabelecido o método de defuzzificação, aplica-se no sistema de inferência nebuloso, como a última etapa desse processo, obtendo-se um valor numérico na saída.

Com entradas numéricas e saídas numéricas um sistema de inferência nebuloso implementa um mapeamento não linear de um espaço de entrada para um espaço de saída. Este mapeamento é realizado por certo número de regras nebulosas. Se-Então, cada uma das quais descrevendo o comportamento local do mapeamento. Em particular, o antecedente de cada regra define uma região nebulosa do espaço de entrada e o conseqüente especifica a saída correspondente.

Desta forma, existem alguns modelos de sistema de inferência, dos quais a diferença entre eles se faz nos termos conseqüentes de suas regras, daí seus procedimentos de desnebulização diferem de acordo. O modelo *Mandani* clássico é apresentado a seguir, por ter sido o sistema de inferência aplicado nesse trabalho, enquanto os demais podem ser vistos com detalhes em (DOMINGOS, 2003).

2.1.6 – Modelo Nebuloso *Mandani*

Foi proposto como a primeira tentativa de inferência nebulosa, aplicada para controlar um conjunto de motor a vapor e caldeira por meio de regras de controle

lingüísticas obtidas a partir de especialistas humanos (DOMINGOS, 2003). A Figura 2.5 abaixo ilustra como um sistema de inferência nebuloso do tipo *Mandani* obtém uma resposta *Z* quando sujeito a duas entradas *x* e *y*.

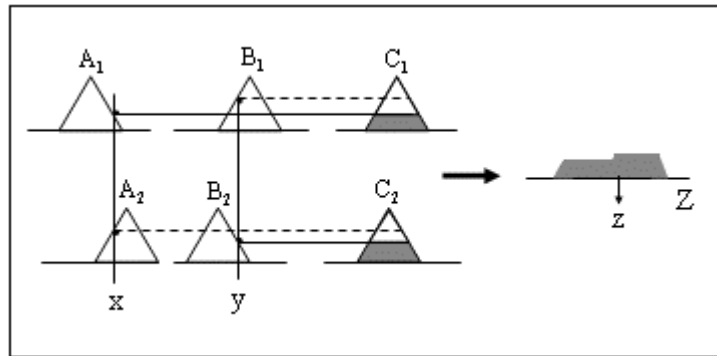


Figura 2.5: Sistema de inferência nebuloso de *Mandani* usando *min* e *max* como operadores AND e OR respectivamente.

Note que no sistema de inferência *Mandani* clássico, representado pela Figura 2.5, quando as entradas estão relacionadas por arco do tipo AND, estas são mapeadas no conjunto de saída pela pertinência mínima das entradas. Enquanto que se as mesmas estiverem relacionadas por arco do tipo OR, serão mapeadas no conjunto de saída pela pertinência *max* das entradas.

Modificações ao tipo de raciocínio empregado no trabalho original de *Mandani*, são freqüentemente encontradas na literatura, como por exemplo: a utilização de *produto* e *max* como operadores AND e OR respectivamente, no lugar de *min* e *max*. De forma geral estas estratégias são computacionalmente muito intensivas e não existe uma forma rigorosa de analisá-las, a não ser através de estudos experimentais. A Figura 2.5 descreve processos que estão de acordo com o raciocínio nebuloso definido previamente neste trabalho, no que tange ao operador *min* em arcos do tipo AND.

2.2 – Sistema Especialista

Os sistemas especialistas podem ser considerados como sistemas computacionais que utilizam conhecimentos acerca de um domínio específico para extrair soluções de problemas que se encontram neste mesmo domínio. A solução encontrada deverá ser essencialmente a mesma apresentada pelo especialista humano, quando ele for questionado sobre o mesmo problema (SOUTO, 2001 e SOUTO e SCHIRRU, 2002).

Os sistemas especialistas diferem dos sistemas convencionais por solucionarem problemas, procurando traduzir a estrutura de pensamento dos especialistas humanos, usando, para tanto, estruturas de conhecimento e heurísticas, enquanto que os sistemas convencionais procuram soluções para os problemas, através de modelos algorítmicos.

Um dos princípios fundamentais que envolvem a teoria de sistemas especialistas é o da separação do conhecimento de domínio dos programas que “raciocinam” com este conhecimento. A Figura 2.6 retrata estas questões, mostrando genericamente a inter-relação entre os componentes de um sistema especialista.

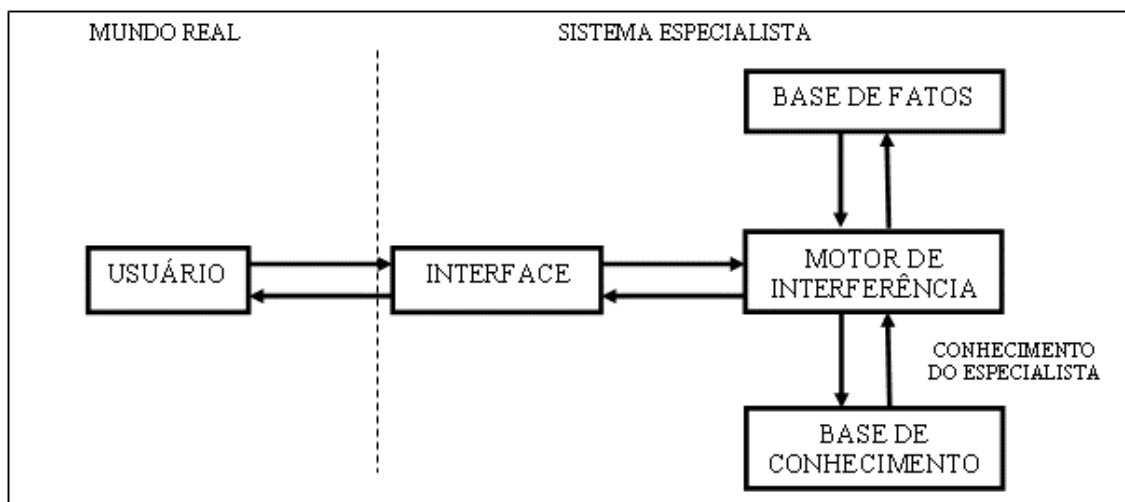


Figura 2.6: Estrutura Genérica de um Sistema Especialista.

A interface visa facilitar a comunicação entre o sistema especialista e o usuário. Permitindo a interação com sistema através da entrada de fatos e dados e através da saída em forma de perguntas, conclusões e explicações.

O motor de inferência manipula o conhecimento representado na base de conhecimento para desenvolver uma solução para o problema, a partir de verdades estabelecidas na base de fatos (ASSIS, 1999). Ele é projetado de forma a funcionar como um solucionador genérico de problemas, ou seja, é o componente do sistema especialista destinado ao “raciocínio”, enquanto a base armazena conhecimento específico para a solução do problema em particular. Ela é resultado do levantamento realizado pelo engenheiro do conhecimento junto aos especialistas naquele assunto específico.

As duas próximas seções, destinam-se à discussões sobre como a base de conhecimento é representada simbolicamente e apresentações de alguns dos métodos de inferência.

2.2.1 – Representação do Conhecimento

Pode-se dizer que a representação do conhecimento é a forma estruturada para representar o conhecimento fornecido pelos especialistas. Uma boa representação do conhecimento deve ser capaz de reproduzir todos os fatos relevantes do domínio do conhecimento, podendo, inclusive, adquirir novos fatos posteriormente.

Inúmeros são os formalismos elaborados para representação do conhecimento (MACHADO, 1996 e HAYES-ROT, WATERMAN, et al, 1983), entre os quais, destacam-se: regras, redes semânticas e orientação a objetos (RUMBAUGH, BIAHA, et al, 1994).

O uso de regras para a representação do conhecimento é um meio natural utilizado pelos especialistas para acumular conhecimento a respeito de um determinado domínio. Elas refletem de forma adequada o conhecimento de um especialista acumulado ao longo de anos de prática. Elas possuem o seguinte formato:

If(Se) <Antecedentes> *Then* (então) <Conseqüentes>

Exemplo: *If*(Se) A, B e C estão presentes *Then* (então) conclua D

Quando os antecedentes forem avaliados como verdadeiros, a parte conseqüente será executada originando um novo conjunto de fatos.

As redes semânticas foram desenvolvidas para expressarem frases da linguagem natural. A idéia principal por trás das redes semânticas é que o significado de um conceito vem do modo como ele é conectado a outros conceitos. Em uma rede semântica, as informações são representadas como um conjunto de nós, conectados entre si através de um conjunto de arcos marcados, que representam relações entre os nós. Um exemplo de rede semântica é mostrado na Figura 2.7.

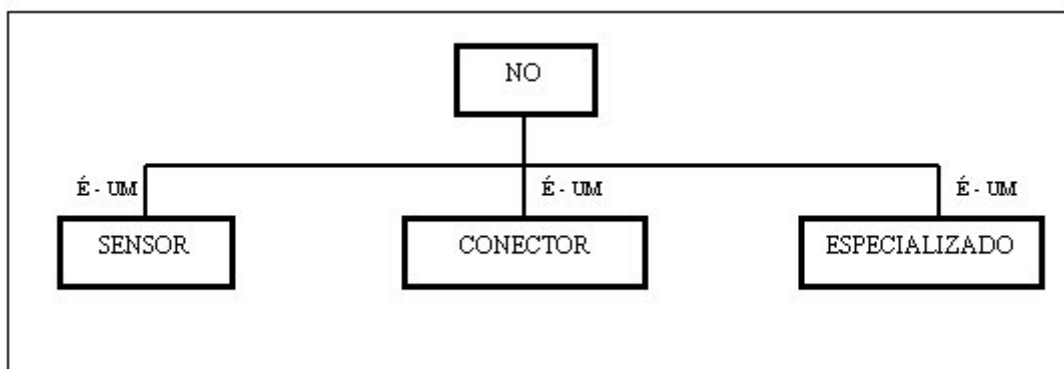


Figura 2.7: Uma rede semântica.

Esta rede semântica contém exemplos de relações é-um. O arco é-um indica que a relação existente entre os nós é do tipo parte-de-um-todo, ou seja, de acordo com a Figura 2.7, sabe-se que SENSOR, CONECTOR e ESPECIALIZADO são partes-de NO, ou ainda, SENSOR é-um NO, assim como CONECTOR e ESPECIALIZADO também são. Essa relação envolve o conceito de herança, na qual os nós de nível superior transferem características para os de nível inferior. Dessa forma, não é necessária a repetição de definições, já que, tendo definido dados para NO, tanto SENSOR quanto CONECTOR e ESPECIALIZADO irão herdá-los.

Como evolução para as redes semânticas, surge à orientação a objetos.

A orientação a objetos surgiu mais ou menos em meados da década de 70. Esta tem um nível estrutural, no qual pode representar o conhecimento através de classes hierárquicas. O grande diferencial deste método reside no fato de que, nesta representação, temos uma clara separação entre os procedimentos e as informações disponíveis (MACHADO, 1996 e RUMBAUGH, BIAHA, et al, 1994).

Objetos são entidades independentes que contêm informações do mundo real – dados - e descrições de como essas informações serão manipuladas - métodos. Todos os procedimentos de inferência realizados pelo componente de raciocínio dos sistemas são feitos através de métodos.

Na orientação a objetos, representa-se o conhecimento através da estrutura hierárquica de classes, seus atributos e métodos, bem como as instâncias das mesmas. As classes definem a estrutura e o comportamento dos objetos. Todos os objetos de uma classe têm a mesma estrutura – conjunto de atributos, responsáveis pelas propriedades da classe – e comportamento – conjunto de métodos. Podem-se descrever classes como subclasses de uma classe maior, assim, as propriedades da classe-mãe serão herdadas pelas subclasses.

As instâncias são objetos de uma classe. Toda instância ou objeto apresenta um atributo identificador que se caracteriza por ser uma propriedade inerente.

Alguns conceitos importantes como: o polimorfismo, a abstração (que simplifica a visualização do problema tratado, tanto para o desenvolvimento de procedimentos, quanto para os dados a serem representados), o encapsulamento (que incentiva o desenho modular do sistema, facilitando sua construção e manutenção, “escondendo” o estado do objeto e a implementação de seus métodos) e a hereditariedade (que permite uma arquitetura de rede para as classes de objetos, evitando repetições de conceitos) tornaram a orientação a objetos um formalismo bem adaptado à questão de representação do conhecimento.

Certos formalismos de representação do conhecimento, tais como: as redes semânticas e as regras, possuem um ponto claro de desvantagem em relação a orientação a objetos. Esse ponto reside no fato de ambas não serem suficientemente estruturadas. Um aumento significativo no número de nós de uma rede semântica ou no número das regras, ou seja, um aumento na base de conhecimento torna o sistema de difícil gerenciamento, pois a interação entre essas regras e nós passa a ser muito complexa, visto que o conhecimento não pode ser modulado (MACHADO, 1996).

Na orientação a objetos, tem-se uma separação entre os dados e os métodos. Essa característica da representação orientada a objetos faz com que qualquer modificação no conhecimento representado por ela seja feita com mais facilidade, visto que, como métodos e dados localizam-se em separado, caso seja preciso modificar, tanto dados, quanto métodos sabe-se onde encontrá-los para execução de tais modificações.

Detalhes sobre as formas de representação do conhecimento – regras, redes semânticas e outros – encontram-se na referência (MACHADO, 1996), assim como

detalhes sobre a teoria de orientação a objetos encontram-se nas referências (MACHADO, 1996 e RUMBAUGH, BIAHA, et al, 1994). Entretanto, uma abordagem sobre programação baseada na teoria de orientação a objetos se faz necessária, sendo tratada, ainda, nesse capítulo.

2.2.2 – Motor de Inferência

O objetivo de um procedimento de inferência é descobrir um caminho através de um espaço de solução do problema, a partir de um fato (uma conclusão) até uma evidência ou vice-versa. Sendo assim, uma busca, na verdade, pode prosseguir em duas direções (SZWARCFITER, 1984):

- 1- Como encadeamento para frente (*forward chaining*)
- 2- Como encadeamento para trás (*backward chaining*)

No encadeamento para frente, o processo de inferência começa com os fatos iniciais e trabalha no sentido da obtenção de uma solução. Esse processo que se caracteriza por verificar que regras são satisfeitas é realizado pelo motor de inferência do sistema envolvendo a repetição dos seguintes passos (Figura 2.8) (ASSIS, 1999):

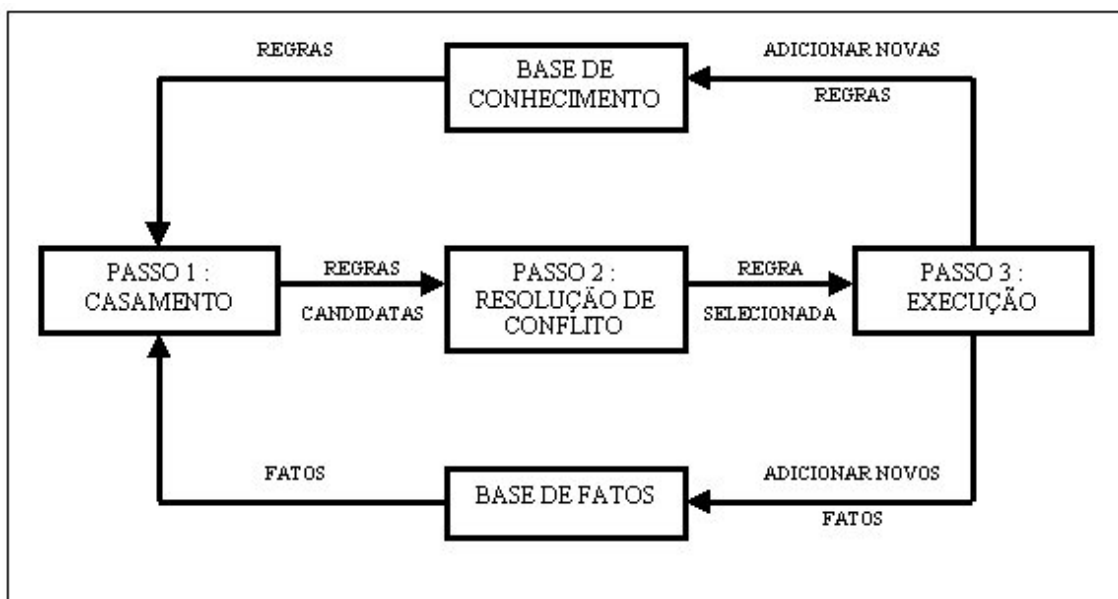


Figura 2.8: Processo de Inferência do Encadeamento para Frente.

1- Casamento: Este passo se constitui na comparação dos antecedentes das regras com os fatos conhecidos. Se todos os antecedentes de uma dada regra forem verdadeiros, então a referida regra é uma candidata a ser executada.

2- Resolução de Conflito: É possível que o passo anterior possa ter originado várias regras candidatas. A resolução de conflito se encarrega de selecionar uma regra, dentre várias possíveis, para ser executada no próximo passo.

3- Execução: O último passo é a execução da regra. Como resultado do disparo da regra podem ser originados novos fatos ou novas regras.

No encadeamento para trás, o processo de inferência começa com a escolha de uma solução e realiza um processo de busca para trás a fim de encontrar evidências que comprovem essa solução. No início, o conjunto de fatos conhecidos é vazio, e, a medida que as regras são disparadas, isto é, selecionadas para execução, esse conjunto vai se tornando o conjunto dos fatos que levam à solução (estados-objetivo). Assim, as regras são disparadas para gerar valores para os estados-objetivo ou para gerar fatos intermediários (submetas) que serão usados mais tarde como conjunto de valores dos estados-objetivo.

Combinados aos processos *forward chaining* e *backward chaining*, o motor de inferência pode ser construído para trabalhar também com um procedimento de busca em profundidade ou de busca em amplitude.

Uma busca é dita em profundidade quando o critério de escolha do nodo marcado, pertencente ao grafo, obedecer a:

“Dentre todos os nodos marcados (nós com chances de serem os próximos a execução) e incidentes a alguma aresta (responsável por conectar os nodos) ainda não explorada, escolher aquele mais recentemente alcançado na busca” (SZWARCFITER, 1984). A Figura 2.9 mostra como a busca em profundidade procede.

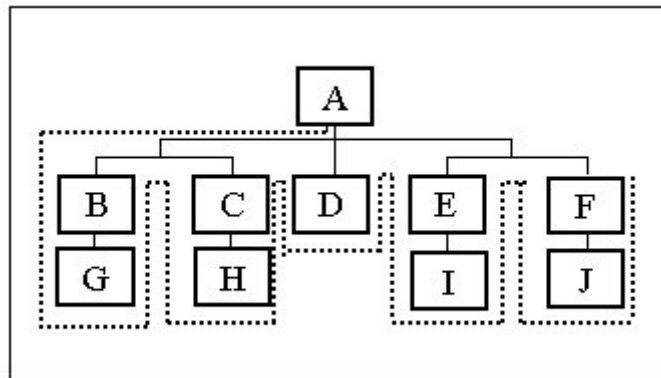


Figura 2.9: Busca em Profundidade.

Uma busca é dita em amplitude quando o critério de escolha do nodo marcado obedecer a:

“Dentre todos os nodos marcados (nós com chances de serem os próximos a execução) e incidentes a alguma aresta (responsável por conectar os nodos) ainda não explorada, escolher aquele menos recentemente alcançado na busca” (SZWARCFITER, 1984). A Figura 2.10 mostra como a busca em amplitude procede.

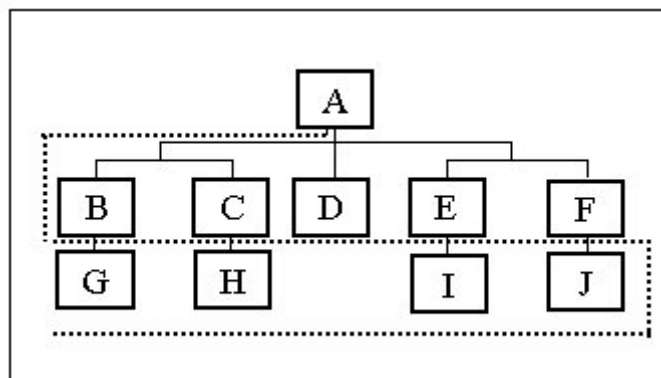


Figura 2.10: Busca em Amplitude.

É cada vez mais comum observarmos trabalhos que combinam duas ou mais metodologias de Inteligência Artificial, constituindo os denominados sistemas híbridos. Cada metodologia inteligente possui suas características particulares e limitações, de forma que, os sistemas híbridos tentam combinar tais ferramentas e sanar suas limitações.

Nessa filosofia, surgem os sistemas especialistas nebulosos, como resultado da combinação da tecnologia dos sistemas especialistas com lógica nebulosa.

2.3 – Sistema Especialista Nebuloso

Os sistemas especialistas nebulosos consistem na combinação de métodos e técnicas envolvidas no desenvolvimento de sistemas especialistas, com os cálculos e operações existentes nos conjuntos nebulosos (FABRI, 09/2000 e FABRI e RISSOLI, 10/2000).

A combinação dos métodos dos sistemas especialistas com a funcionalidade da lógica nebulosa gera um avanço na tecnologia deste tipo de sistemas, pois permite uma melhor representação da realidade em relação ao comportamento do raciocínio humano. Por meio desta combinação, os sistemas especialistas possuem um desempenho melhor, haja vista utilizarem uma lógica que permite o tratamento da incerteza e imprecisão, ao invés de uma lógica mais restrita como a convencional (FABRI, 09/2000 e FABRI e RISSOLI, 10/2000).

Um sistema especialista nebuloso é um sistema especialista que usa uma coleção de funções de pertinência e regras nebulosas, ao invés da lógica clássica, para raciocinar sobre os dados.

A estrutura de um sistema especialista nebuloso (Figura 2.11) possui todos os componentes de um sistema especialista. A principal diferença entre eles está no tratamento dos dados, pois o motor de inferência possui formas de cálculos nebulosos, aproximando o resultado pesquisado ao raciocínio do especialista humano. Isto ocorre por meio da utilização do processo de fuzziificação e de desfuzziificação.

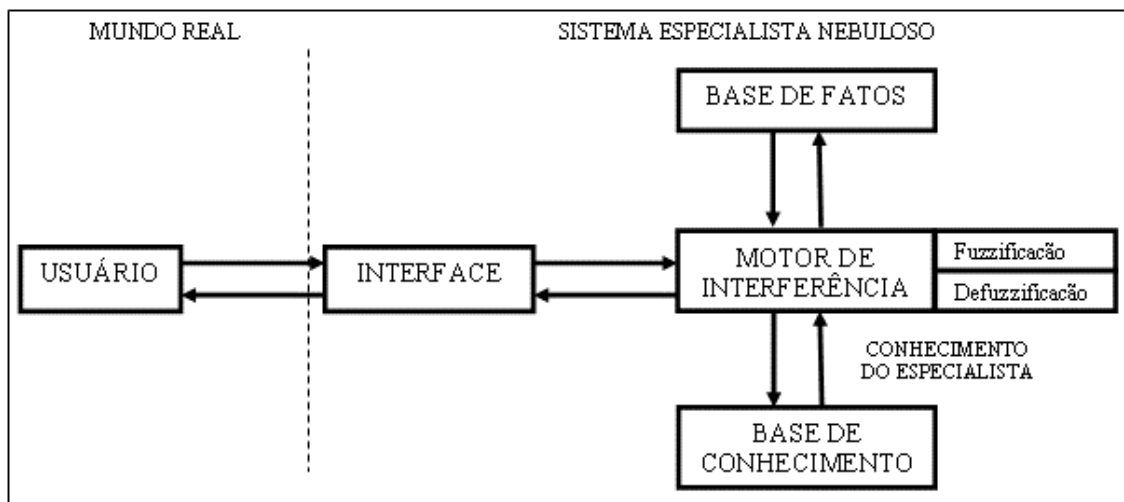


Figura 2.11: Estrutura genérica de um sistema especialista nebuloso

2.4 – Programação Orientada a Objetos

A Programação Orientada a Objetos (POO) é um dos muitos meios de construção de programas. Esses meios são denominados de paradigmas de programação, principalmente para ressaltar sua natureza holística, isto é, que enfatiza a importância do todo e a interdependência de suas partes. Neste sentido, paradigma de programação não é somente visto como o uso de uma linguagem particular, mas como a aceitação de metodologias que são melhores suportadas por certas famílias de linguagens.

Sob o ponto de vista da POO, os dados são agrupados juntamente com procedimentos e funções que executam operações sobre os dados, formando um novo tipo de estrutura chamado objeto.

Técnicas de POO podem tornar mais eficientes os processos de escrever, revisar e expandir aplicações complexas. A POO propicia soluções mais simples e diretas em alguns contextos de programação.

Meios para construção de programas, tais como: lógica, paralela, funcional, visual e orientado a objetos são alguns exemplos de paradigmas de programação.

O paradigma orientado a objetos refere-se a métodos e ferramentas que usam somente objetos e facilidades construídas em torno delas.

As principais características do paradigma orientado a objetos são: objetos – classe, métodos – mensagens e hierarquia – herança.

A POO consiste na definição de classes, pelos quais, pode-se estabelecer uma hierarquia e um processo de herança, na criação de instâncias de objetos, na criação de métodos que os objetos possam responder e no envio de mensagens aos objetos.

Os métodos definem o comportamento esperado dos objetos.

Sob o ponto de vista do paradigma de programação, a orientação a objetos oferece: características de encapsulamento que traz a facilidade de decomposição do sistema, polimorfismo que propicia a abstração simplificando a visualização do problema tratado, tanto para o desenvolvimento de procedimentos, quanto para dados a serem representados e herança que permite a reutilização de código.

2.4.1 - Linguagem de Programação CLOS

Algumas linguagens de programação suportam a teoria de orientação a objetos, entre as quais a linguagem CLOS (*Common Lisp Object System*) (ALLEGRO CL, 1999 e RUSSELL e NORVIG, 1995) merece destaque por sua importância nesse trabalho, inclusive pelo fato do *Lisp* ser a linguagem base da Inteligência Artificial.

O CLOS, linguagem de programação comercializada pela *Allegro*, suporta muito bem o paradigma de programação baseada na orientação a objetos e, portanto, faz uso

de todas as vantagens dessa metodologia. Sendo assim, o CLOS encoraja o programador a criar um modelo de trabalho que descreve as várias classes de objetos em termos de suas estruturas e comportamento. Essas classes de objetos são freqüentemente relacionadas entre si.

O CLOS facilita a representação do relacionamento entre as classes e suporta um meio flexível de herdar (compartilhamento) estrutura e comportamento. A herança permite que o desenho e a implementação de uma aplicação sejam altamente modular e torna clara a necessidade de manterem-se trechos de códigos bastante semelhantes.

2.4.1.1 – Elementos de um Programa CLOS

Os elementos de um programa CLOS são classes, instâncias, funções genéricas e métodos. Nenhum destes elementos pode ser tratado isoladamente, pois o propósito de cada um é interagir com os outros de maneira útil e previsível.

No CLOS as classes são tipos de estruturas de dados. Cada objeto individual deste tipo é uma instância da classe e cada instância de uma classe tem a mesma estrutura, comportamento e tipo.

O CLOS permite que se construam classes a partir de classes já existentes; As classes construídas herdam tanto a estrutura como o comportamento de suas superclasses – classes que já existam e a originaram.

Programadores e usuários operam sobre instâncias utilizando as funções genéricas.

Conceitualmente, uma função genérica executa operações de alto nível, tal como um *refresh*, por exemplo. Baseando-se nesse exemplo, a fim de mostrar a funcionalidade das funções genéricas, pode-se afirmar que para diferentes tipos de janelas, esta operação de *refresh* pode requerer tarefas distintas. Em outras palavras,

cada tipo de janela necessita uma implementação que lhe seja apropriada, conforme o desejo e a necessidade do programador.

A implementação de uma função genérica não está localizada em um lugar específico; ela é distribuída através de um conjunto de métodos. A implementação de uma função genérica varia, dependendo da classe e seus argumentos em forma de objetos.

Em suma, pode-se afirmar que o CLOS permite que haja objetos de classes distintas, possuindo métodos com o mesmo nome e implementações diferentes, o que caracteriza o conceito de polimorfismo, como já citado.

Como visto nessa seção, o CLOS suporta perfeitamente o paradigma de orientação a objetos e, portanto, faz uso de todas as vantagens que essa metodologia oferece inclusive a herança a partir de uma hierarquização das classes. Entretanto, quando um conjunto de classes for tratado, é essencial que a herança ocorra de modo ordenado e previsível. Por exemplo, considere o conflito que ocorre, caso duas superclasses possuam características que entrem em competição, tais como os métodos para a mesma função genérica. Conflitos como esses precisam ser tratados.

Sendo assim, nestes casos, o CLOS resolve o conflito ao verificar quais classes tem precedência sobre as outras. Quando é organizada uma estrutura envolvendo classes, já se está especificando a relação de precedência entre as classes. O CLOS computa uma lista de precedência de classes baseada na organização realizada entre elas. A lista de precedência de classes norteia como os métodos, estruturas e outras características são herdadas.

Cada classe possui uma lista de precedência de classes, a qual inclui a própria classe e todas as suas superclasses. As classes numa lista de precedência estão ordenadas da mais específica para a menos específica. Nesta lista, quando uma classe é

mais específica que a outra, ela tem precedência sobre a outra classe. Então, se duas classes tem características competitivas, a classe mais específica toma precedência sobre a menos específica.

O CLOS oferece várias técnicas avançadas que dão outros controles sobre a herança de métodos. Para maiores detalhes, é sugerida a referência (ALLEGRO CL, 1999).

Capítulo 3

Fundamentos Teóricos: Indicadores de Desempenho e Segurança

Os indicadores de desempenho e segurança têm sido desenvolvidos para fornecer uma indicação quantitativa do desempenho e da segurança da indústria em seus diversos setores. Com esses índices é possível avaliar aspectos que vão desde a produção, projeto, passando por desempenho humano, até questões gerenciais de acordo com a política, objetivos e metas da empresa.

Diante de tais funcionalidades, organizações do mundo inteiro vêm investindo esforços em trabalhos relacionados a indicadores de desempenho e segurança, procurando desenvolver cultura de monitoramento e gerenciamento mediante um programa de indicadores de forma a permitir uma avaliação quantificável do andamento das atividades da empresa, bem como direcionar as tomadas de decisão, no que diz respeito ao seu planejamento estratégico.

Nesse contexto, inúmeros trabalhos foram publicados e estão sendo aplicados. Na aviação Australiana (ASI, 1997), por exemplo, desde 1996 indicadores de segurança dessa indústria são publicados anualmente no relatório do plano de segurança exigido pelo comitê de padronização representativo de transporte, comunicações e infraestrutura. Este relatório traz referências para o monitoramento da segurança da aviação na Austrália, através de indicadores divididos em quatro grupos: Atividades de vôo – Apresentam o número de horas de vôo da aviação juntamente com o nível de atividade dos diversos aeroportos; Desempenho industrial – Contém informações a respeito divisão de mercado das operações regionais de transporte público regular; fornecem

dados sobre a idade das aeronaves australianas; indicam o número de licença de vôo da tripulação, dentre outras informações; Acidentes – Contabilizam o número de acidentes envolvendo as aeronaves australianas; e Incidentes – Relatam as principais violações de segurança da aviação.

A Associação das Indústrias Químicas Americanas - CIA (CIA, 2000), também utiliza indicadores de desempenho, já há alguns anos, no intuito de melhorar seus produtos, a segurança e o seu desempenho.

Organizações, como a Gold Corporation (GOLD CORPORATION, 2001) Australiana que tem como atividade fim, em sua missão, fornecer alta qualidade de processamento, refino e outros serviços à indústria de ouro, além de desenvolver e comercializar em termos mundial produtos de metais preciosos. Desenvolvem indicadores mediante seus objetivos utilizando-os para verificar a eficiência dos sistemas de gerenciamento de negócios no que tange ao cumprimento de suas metas.

No Brasil o Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial - Inmetro (INMETRO, 2005) que tem como missão contribuir para o desenvolvimento sócio-econômico e melhoria da qualidade de vida da sociedade brasileira, utiliza instrumento metrologia e da qualidade, de forma a promover a inserção competitiva e o avanço tecnológico do País assim como assegurar a proteção do cidadão especialmente nos aspectos ligados à segurança e ao meio ambiente, utilizam indicadores de desempenho desde 1998 e verificam medidas, tais como: imagem do Inmetro em termos institucional, de conhecimento e de confiabilidade; Auto-sustentação financeira; e Desempenho de sua atividade fim dentre outras.

Especificamente, na área nuclear, diversos trabalhos sobre indicadores de desempenho foram publicados e estão sendo utilizados nas mais variadas aplicações, como por exemplo:

O uso de indicadores de manutenção para avaliar os efeitos dos programas de manutenção em segurança e desempenho de plantas nucleares (MARTORELL, et al, 1998), onde é apresentada uma metodologia para um programa de avaliação de desempenho e segurança baseados em indicadores voltados a manutenção do qual se afirma que avaliar taxas de manutenção traz indicadores de níveis de desempenho e segurança.

A utilização de indicadores de desempenho humano destinados a medir fatores organizacionais e do local de trabalho para auxiliar as empresas a antecipar e prevenir influências adversas no desempenho humano (EPRI, 2001). Tais indicadores estão baseados em conclusões da indústria de que o ambiente para atividade de trabalhadores individuais ou em grupos pode ser aprimorado. Aprimorar esse ambiente aumenta a efetividade da atividade humana e reduz a predisposição de eventos causados por erro humano. De tal forma que o desenvolvimento de indicadores de desempenho humano apresenta-se como um primeiro passo para o aprimoramento do ambiente.

Inúmeros outros trabalhos relacionados a indicadores na área nuclear podem ser relatados, todavia os trabalhos realizados pelas autoridades reguladoras, pelas organizações internacionais e pelos institutos nucleares, tais como a Comissão Reguladora Nuclear – NRC, a Associação Mundial de Operadores Nucleares - WANO, a Agência Internacional de Energia Atômica - AIEA e o Instituto de Operações de Usinas Nucleares - INPO, merecem maiores destaques pela grande contribuição trazida por seus trabalhos, pelo impacto mundial dos mesmos e pelo fato de terem sido primeiros na utilização de indicadores para monitorar o desempenho e a segurança de plantas nucleares.

3.1 - Indicadores de Desempenho e Segurança – NRC

A NRC, em 1986 estabeleceu o primeiro programa oficial de indicadores de desempenho. Tal programa se deu através da seleção de um pequeno conjunto de indicadores a serem implementados nas mais diversas plantas nucleares. Essa seleção ocorreu mediante os seguintes atributos desejáveis de indicadores de desempenho:

- Os indicadores de desempenho devem estar relacionados à segurança e ao controle de desempenho nuclear;
- Os dados devem estar prontamente disponíveis para a NRC;
- Os dados não devem ser suscetíveis à manipulação;
- Os dados devem ser comparados entre licenciados;
- Os indicadores devem ser objetos valiosos para os licenciados;
- Os indicadores devem refletir variação de desempenho;
- Os indicadores devem ser independentes entre si; e
- Os indicadores devem ser condutores, isto é, prever desempenho futuro.

A NRC, após vários ajustes, aprovou tal programa e concluiu que este forneceria uma visão objetiva do desempenho operacional e aumentaria a habilidade dos empregados para reconhecer mudanças no desempenho de segurança das plantas.

Em fevereiro de 1987, um relatório trimestral é publicado contendo dados desse primeiro trabalho. Neste mesmo ano, a NRC e o INPO desenvolveram um plano coordenado para usar os indicadores de desempenho. O plano estabeleceu princípios para o uso apropriado dos indicadores.

Posteriormente, a NRC propôs um novo programa de indicadores baseado em causas programáticas de eventos, datada em julho de 1989 (NRC, 2002). Cada relatório de evento licenciado seria analisado para identificar possíveis deficiências em um ou mais de seis áreas programáticas. Estas áreas eram problemas de controle de

manutenção, problemas de operador licenciado, outros erros humanos, problemas de manutenção, problemas de projeto/construção/instalação/fabricação e diversos.

Através da experiência com esse programa de indicadores, a NRC iniciou estudo para direcionar os efeitos do ciclo de operação nos indicadores de desempenho. Este trabalho foi combinado com o desenvolvimento de outras áreas programáticas, na tentativa de se estabelecer uma nova metodologia de ciclo operacional que iria requerer uma revisão completa no modo como os indicadores eram calculados e mostrados. Tal metodologia foi conduzida no decorrer de 1992 e publicada em dezembro deste mesmo ano (NRC, 2002).

Em 1999 novos indicadores de desempenho foram incorporados e um programa piloto foi iniciado em junho daquele ano. O antigo programa de indicadores da NRC foi extinto embora sua base de dados continue a ser atualizada no programa de tendências industriais.

Os trabalhos atuais relacionados a indicadores de desempenho da NRC estão voltados ao desenvolvimento de definições comuns, ou seja, a elaboração de um conjunto de indicadores a serem utilizados por diversas usinas nucleares, uma vez que os mesmos serão usados internacionalmente, similares aos conceitos utilizados pela WANO.

3.2 - Indicadores de Desempenho e Segurança – WANO

Com relação aos trabalhos sobre indicadores desenvolvidos pela WANO, associação formada pela comunidade nuclear internacional após o acidente de *Chernobyl*, destaca-se o programa de padronização mundial dos indicadores de desempenho de usinas nucleares, estabelecido em 1990 (MARTORELL, et al, 1998).

A WANO estabeleceu guias para implementar um conjunto de indicadores de desempenho padronizados nas áreas de segurança, confiabilidade e eficiência. Tais indicadores WANO se destinam ao suporte de troca de informações de experiência operacional e a comparação consistente de desempenho de usinas nucleares. Espera-se que os indicadores encorajem emulação de melhor desempenho industrial e motive a identificação e troca de boas práticas na operação de plantas nucleares.

Os indicadores de desempenho WANO são estabelecidos segundo um ou mais critérios abaixo relacionados:

- O indicador fornece uma indicação quantitativa de segurança nuclear, confiabilidade e eficiência da planta ou segurança de pessoal;
- O programa é limitado a poucos indicadores que monitoram resultados importantes ao invés de processos intermediários de desempenho ou elementos individuais;
- O indicador tem ampla aplicabilidade;
- O indicador fornece perspectiva significativa sem conhecimento detalhado das práticas e programas da planta;
- O indicador é claro e objetivo;
- O indicador permite estabelecimento de metas;
- Os dados estão disponíveis e são confiáveis;
- Ênfase no melhoramento do valor do indicador não causa ações indesejáveis à usina;
- Os indicadores que monitoram principalmente a confiabilidade da planta devem refletir desempenho apenas nas áreas que podem ser controladas ou influenciadas pela gerência da planta; e

- Os indicadores de segurança ou de pessoal, devem refletir desempenho geral da planta, incluindo em alguns casos, elementos de controle e gerenciamento da mesma.

Com o conjunto de indicadores WANO estabelecidos (verificados no capítulo seguinte), é realizada a coleta trimestral de dados relativos a esses indicadores para cada unidade de operação nuclear. Esses dados são posteriormente checados e seus resultados divulgados no *web-site* WANO, servindo como parâmetro para o monitoramento de desempenho e progresso, para a determinação de metas “desafiadoras” em prol do melhoramento, para ganho de perspectivas adicionais no desempenho relativo a outras usinas e para fornecer uma indicação de possível necessidade de ajuste de prioridades de recursos para atingir melhor desempenho geral.

3.3 - Indicadores de Desempenho e Segurança – AIEA

A AIEA, desde o final dos anos 80, tem participado de trabalhos na área de indicadores para monitorar o desempenho operacional de usinas nucleares. As atividades iniciais foram principalmente baseadas em troca de idéias e práticas corretas no desenvolvimento e uso destes indicadores em plantas nucleares. Porém desde 1995 esforços têm sido direcionados para a elaboração de uma estrutura para o estabelecimento de um programa de indicadores de desempenho de segurança operacional.

No ano 2000, a AIEA publica em (IAEA, 2000) uma estrutura de indicadores que havia sido apresentada anteriormente em dois *workshops* da AIEA sobre indicadores de desempenho de segurança operacional que aconteceram em setembro de 1998 e dezembro do mesmo ano, nos quais especialistas participantes discutiram e fizeram sugestões sobre a estrutura de indicadores apresentada, aprimorando-a.

Em seguida o desenvolvimento do programa foi melhorando com aplicação realizada em quatro plantas diferentes, objetivando testar a aplicabilidade, utilidade e viabilidade desta abordagem.

Tal estrutura de indicadores elaborada pela AIEA, pode ser traduzida como um guia geral de indicadores de desempenho e segurança estabelecendo um novo conceito no tratamento de aspectos relacionados ao desempenho e segurança de usinas nucleares, por tratarem indicadores não individualmente, mas sim, num contexto de outros indicadores de desempenho.

Desta forma, através de uma eficiente estruturação de indicadores, pode-se obter não apenas uma análise individual de cada indicador, com sua tendência em um período de tempo fornecendo um aviso para que se possam investigar as causas por trás das alterações observadas, ou até mesmo servir como instrumento de comparação do indicador com as metas e objetivos identificados para avaliar os pontos positivos e negativos de desempenho, mas sim, obter uma análise significativa de problemas macros da usina e conseqüentemente o estabelecimento do status representativo da mesma.

O desenvolvimento da estrutura genérica de indicadores da AIEA começou tomando-se em consideração, como conceito principal, o desempenho de segurança operacional de uma usina nuclear. Do qual afirma que para se obter um alto nível de desempenho de segurança operacional é preciso à interação entre: projeto, segurança operacional e desempenho humano.

Para garantir um conjunto razoavelmente completo de indicadores de segurança operacional, a AIEA decidiu trabalhar em uma mesma estrutura hierárquica, em que o nível mais alto seria o de desempenho de segurança operacional, traduzido por um indicador principal e, o nível seguinte seriam atributos de segurança operacionais, a

partir das quais um conjunto de indicadores de desempenho de segurança operacional foi desenvolvido.

A partir da definição do indicador principal, desempenho de segurança operacional, uma série de outros indicadores foram estabelecidos e organizados hierarquicamente em indicadores chaves, indicadores gerais, indicadores estratégicos e indicadores específicos, como ilustrada na Figura 3.1.



Figura 3.1: Representação hierárquica da estrutura de indicadores da AIEA

Os indicadores chaves e os indicadores gerais foram previstos para fornecer avaliação geral dos aspectos relevantes de desempenho de segurança. Indicadores estratégicos têm a intenção de fornecer uma ligação entre os indicadores gerais e os específicos. Indicadores específicos representam medidas de desempenho quantificáveis e foram escolhidos por sua habilidade em identificar rapidamente tendências de declínio de desempenho ou áreas problemáticas para que depois de uma investigação apropriada,

a gerência possa tomar ações corretivas para prevenir maiores problemas de desempenho.

A AIEA estabeleceu os indicadores: principal, chaves, gerais e estratégicos e sugere um conjunto de indicadores específicos, dentre os quais se encontram os indicadores WANO. Entretanto a AIEA deixa claro que os indicadores específicos são medidas diretas da planta e por esse motivo representam índices particulares da usina, devendo ser, portanto, estabelecidos de forma a atendê-la.

3.4 - Indicadores de Desempenho e Segurança – INPO

O INPO, durante o ano de 2001, realizou uma série de atividades externas e internas como visitas a usuários para discutir abordagem de monitoramento, encontro com o Instituto de Energia Nuclear, dentre outras, com a finalidade de identificar indicadores de desempenho e analisar abordagem que pudessem ser usados pelo INPO para detectar mais rapidamente mudanças no desempenho de usinas nucleares.

Estas atividades permitiram alguns indicadores de desempenho potencialmente úteis na detecção de sinais precoces de alteração de desempenho e verificarem a importância da utilização das mesmas na monitoração de aspectos de projeto, organizacionais e de desempenho humano de uma usina nuclear, permitindo que gerentes possam investigar e definir as causas de declínio de desempenho que possam vir a ocorrer nessas plantas mais precocemente.

O INPO caracteriza e agrupa os indicadores de desempenho por ele identificados nas seguintes categorias:

- Indicadores de nível de produção: Refletem desempenho da usina como um todo, em áreas como segurança e confiabilidade da planta e segurança dos trabalhadores;

- Indicadores de nível de desempenho: Refletem os níveis atuais de desempenho humano e de equipamento que contribuem para os resultados globais, pois fornecem sinais de modificação de desempenho;

- Indicadores de nível de processo: refletem aspectos de controle de treinamento e organizacionais, permitindo o monitoramento de sistemas administrativos e programas projetados para realizar e controlar atividades-chave efetivamente. A detecção precoce de problemas de desenvolvimento permite ações corretivas antes que afetem o desempenho global; e

- Indicadores de nível fundamental: Refletem aspectos de atitude, valores, supervisão e de liderança, localizando fatores que podem influenciar um desempenho futuro. Como as atitudes de trabalhadores e a efetividade de supervisores são fatores difíceis de serem quantificados, o uso de indicadores mais subjetivos e qualitativos faz-se necessário para o monitoramento de mudanças nestas áreas.

Os trabalhos da AIEA e do INPO descritos acima, agregam os indicadores WANO, por ser tratar de índices bem definidos e já comumente utilizados por usinas do mundo inteiro e somam, também, a experiência adquirida pela NRC. Desta forma, o capítulo seguinte descreve a estrutura de indicadores construída para essa tese, de acordo com o trabalho da AIEA, com algumas sugestões de indicadores do INPO e conseqüentemente da WANO e da NRC, bem como com a opinião de especialistas da usina de Angra 2.

Capítulo 4

Modelo de Sistema Especialista Nebuloso para o Cálculo de Indicadores de Desempenho e Segurança

Este capítulo descreve o modelo de sistema especialista nebuloso, desde o componente de conhecimento até o componente de “raciocínio”, apresentando uma discussão sobre a estrutura de indicadores elaborada, o formalismo da representação do conhecimento, o funcionamento do motor de inferência, o processo de aquisição de dados, uma breve descrição da linguagem de programação definida para efetiva implementação do modelo e finalmente a estrutura de indicadores completa elaborada por este trabalho para a usina nuclear Angra 2.

4.1 – Estrutura de Indicadores

No tocante ao componente de conhecimento, uma estrutura de indicadores de desempenho foi desenvolvida de acordo com o guia estabelecido pela AIEA, com indicadores sugeridos pelo INPO, WANO, NRC e com sugestões de especialistas da usina nuclear Angra 2.

Essa estrutura baseou-se fundamentalmente no guia geral de indicadores de desempenho e segurança sugerida pela AIEA no ano 2000 e resumidamente descrito no Capítulo 3.

A escolha por esse guia se deu pelo fato de o mesmo apresentar uma estrutura consistente de indicadores que sugerem ações, condições e procedimentos para se atingir os requisitos de segurança, bem como garantir um alto índice de desempenho, propondo que problemas relacionados a desempenho e segurança sejam

tratados de forma macro e não simplesmente como indicadores isoladamente. A AIEA traz um conceito inovador neste guia quando propõe que o valor numérico de qualquer indicador individual pode não ser significativo se tratado isoladamente, mas pode ser “aumentado” quando considerado no contexto de outros indicadores de desempenho. Fato que vem diferenciá-lo dos trabalhos apresentados pela WANO, INPO e NRC que retratam, apenas, um conjunto de índices, a serem tratados individualmente.

A AIEA propõe a construção de uma estrutura genérica de indicadores organizados hierarquicamente, iniciando-se de um indicador principal, seguidos por indicadores chaves, gerais, estratégicos e específicos. Entretanto, a AIEA deixa claro que os indicadores específicos são medidas diretas da planta e por esse motivo representam índices particulares da usina, devendo ser, portanto, estabelecidos de forma a atendê-la.

Sendo assim, a estrutura de indicadores elaborada nesta tese e descrita no final deste capítulo, até o nível de indicadores estratégicos foi construída exatamente de acordo com o sugerido pela AIEA, enquanto que o nível específico foi construído a partir de um, trabalho coordenado junto a especialistas de Angra 2 (especialistas das mais diversas áreas da usina, com no mínimo 15 anos de experiência), onde se fez uso, não apenas do conhecimento dos especialistas para a definição e para o posicionamento de índices específicos na estrutura, mais também de alguns indicadores sugeridos pela INPO, WANO e NRC, de tal modo que mapeasse e particularizasse a planta de Angra 2, a fim de melhor representá-la.

O desenvolvimento da estrutura AIEA, utilizada por este trabalho, começou levando-se em consideração o conceito de desempenho de segurança de uma usina nuclear. Para garantir um conjunto razoavelmente completo de indicadores operacionais de segurança, a AIEA decidiu trabalhar com uma estrutura hierárquica em que o nível

mais alto seria expresso por um indicador principal, denominado desempenho de segurança operacional e o nível seguinte seria atributos operacionais de segurança, mapeados por indicadores chaves (Figura 4.1).



Figura 4.1: Estrutura de Indicadores – Desempenho de segurança operacional.

Para a AIEA definir os indicadores chaves, foi necessário primeiro determinar os elementos principais associados às usinas que operam com segurança. Três aspectos importantes foram observados – operação normal, operação emergencial e operação com equipe da planta agindo sobre segurança. Nessa base três indicadores chaves foram estabelecidos (Figura 4.2):

- Usina opera sem problemas: Indicador associado a usinas que apresentam operação normal, quando em operação. Mede o nível de facilidade/desempenho com que a planta opera. Está relacionado com o aspecto de projeto, dentre os três necessários para se alcançar um alto nível de desempenho de segurança operacional;

- Usina opera com baixo risco: Indicador associado a usinas que apresentam operação emergencial, quando em operação. Monitora/considera o risco geral da planta. Está relacionado com o aspecto de segurança operacional; e

- Usina opera com atitude positiva de segurança: Indicador associado a usinas que apresentam operação com a equipe da planta agindo de forma segura. Monitora a

atitude da equipe em relação à segurança, quando em operação. Está relacionado com o aspecto de desempenho humano.



Figura 4.2: Estrutura de indicadores – Indicadores chaves.

A partir dos atributos chaves, um conjunto de indicadores operacionais de desempenho de segurança foi identificado. Abaixo de cada atributo chave, indicadores gerais, foram estabelecidos. Como exemplo, observa-se na Figura 4.3 que abaixo do indicador chave “usina opera sem problemas” o qual expressa planta em operação normal, cuja preocupação principal está na produção de energia, evitando problemas causados por falhas de equipamentos em processo ou sistemas de automação e por erros de testes, manutenção e operações, três indicadores gerais foram estabelecidos:

- Desempenho operacional: Indicativo da produção de energia;
- Condições das estruturas, sistemas e componentes: Indicativo da detecção e correção de deficiências nas estruturas, sistemas e componentes de uma usina nuclear; e
- Eventos: Indicativo de alguma deficiência (evento) da usina.

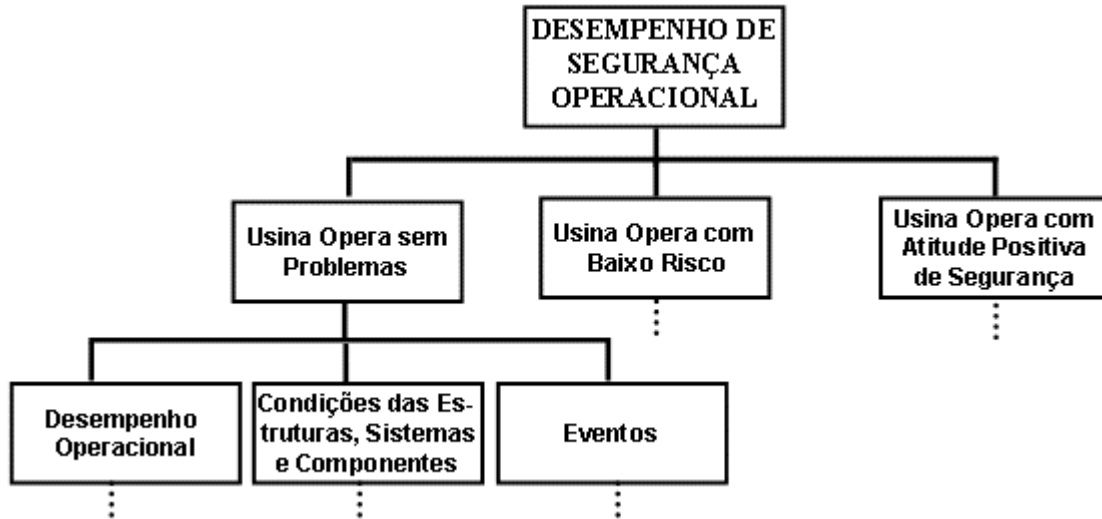


Figura 4.3: Estrutura de indicadores – Indicadores gerais.

Os indicadores gerais e os indicadores chaves foram previstos para fornecer avaliação geral dos aspectos relevantes do desempenho de segurança.

Seguidamente aos indicadores gerais, um conjunto de indicadores estratégicos foi criado. Como exemplo, abaixo do indicador geral “Desempenho operacional” foi definido o indicador estratégico “Reduções e interrupções forçadas de energia”, traduzido por uma medida que reflete reduções forçadas de energia pré-definidas e interrupções forçadas (Figura 4.4).

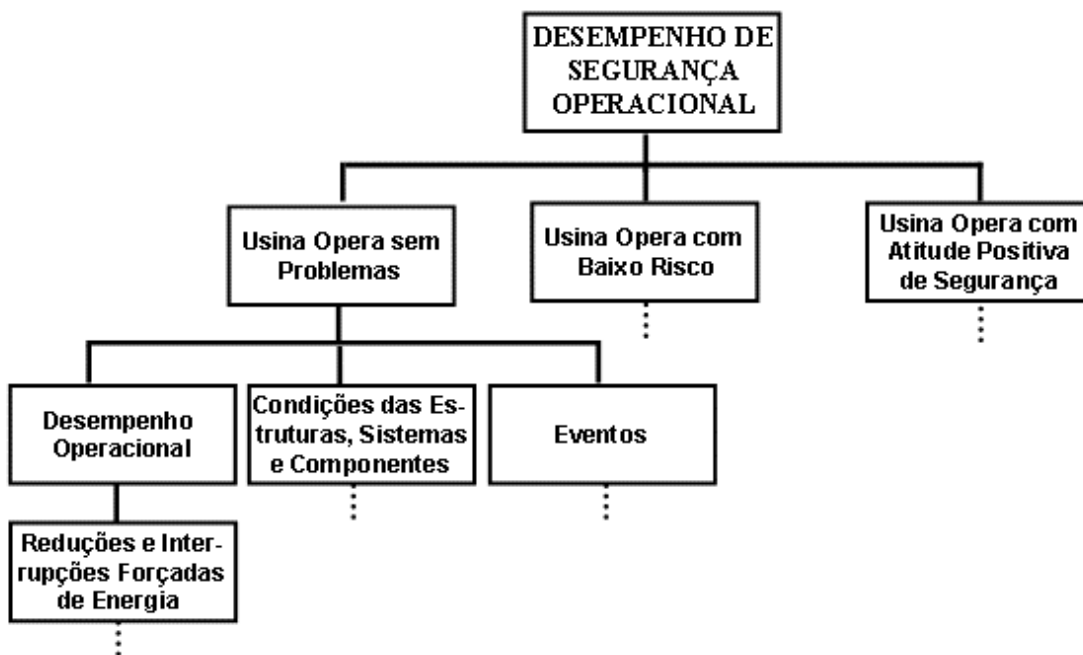


Figura 4.4: Estrutura de indicadores – Indicadores estratégicos.

Os indicadores estratégicos têm a função de estabelecer uma ponte entre os indicadores gerais e os específicos que representam medidas de desempenho quantificáveis.

Como citado anteriormente, diferente dos demais níveis de indicadores, o nível específico não foi definido pelo trabalho da AIEA, mas sim, por um trabalho coordenado junto a especialista de Angra 2 e pela utilização de alguns índices sugeridos pelo INPO, WANO e NRC.

Desta forma, abaixo de cada indicador estratégico, um conjunto de indicadores específicos foi definido de forma a representar Angra 2. Para exemplificar, abaixo do indicador estratégico “Reduções e interrupções forçadas de energia” foram estabelecidos os seguintes índices específicos (Figura 4.5):

- Fator de disponibilidade (WANO/INPO): Informa a disponibilidade da planta em atender ao sistema elétrico;

- Fator de perda de disponibilidade não planejada (WANO/INPO): Contabiliza perdas forçadas (não planejadas) na geração de energia;

- Fator de capacidade bruto: Contabiliza o que a usina realmente produziu em termos de energia, descontando as perdas de rendimento. Traduz o que efetivamente “chega” à turbina em termos de energia;

- Energia bruta e líquida gerada: Energia bruta informa a energia produzida pelo gerador elétrico principal, enquanto que a energia líquida se traduz pela energia bruta no período descontando a energia consumida pelos auxiliares da usina;

- Desempenho térmico: Apresenta o valor do rendimento em percentual, mostrando a diferença entre o que “chega” na turbina e o que efetivamente foi produzido pelo reator;

- Número de dias com a unidade sincronizada: Número de dias em que a usina atendeu ao sistema elétrico;

- Taxa de perda forçada (WANO/INPO): Totaliza as reduções de potência e as perdas de energia não planejadas; e

- Depleção do combustível nuclear: Explicita o número de dias efetivos a plena potência no ciclo, mediante a depleção do combustível nuclear.

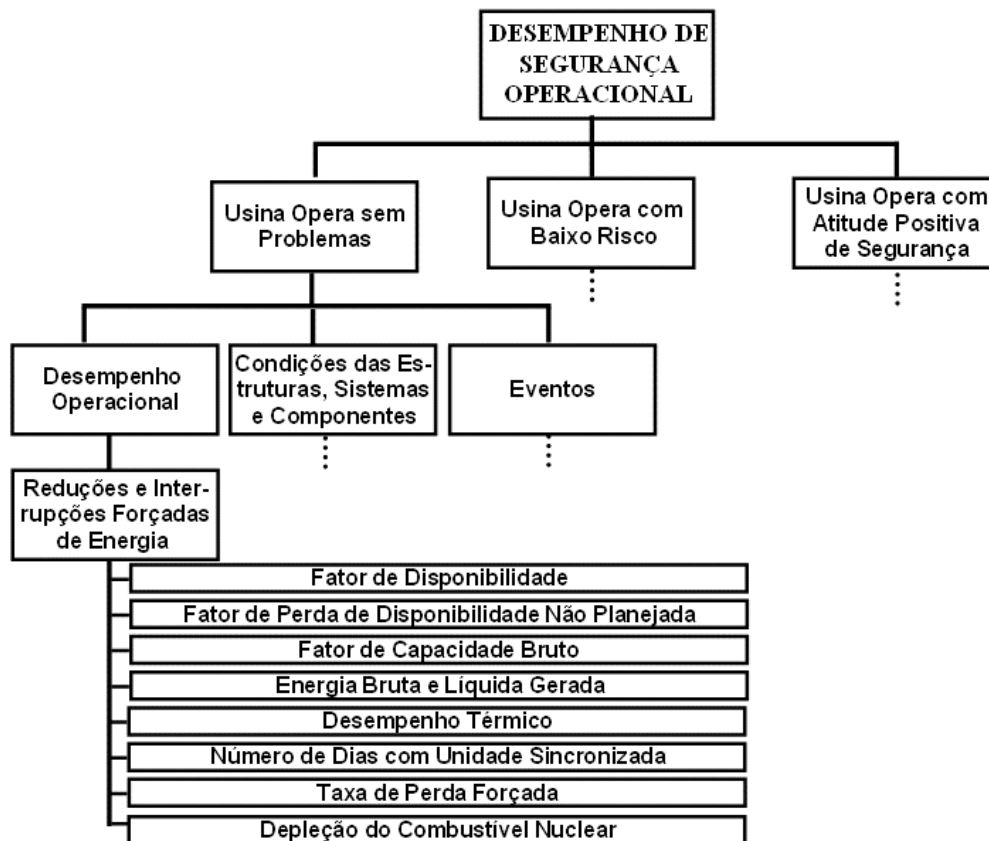


Figura 4.5: Estrutura de indicadores – Indicadores específicos.

A estrutura de indicadores completa, construída por este trabalho para a usina nuclear Angra 2, juntamente com a conceituação de cada um dos seus elementos, encontra-se no final deste capítulo, enquanto que sua representação gráfica pode ser verificada no Anexo A.

4.2 – Representação do Conhecimento do Modelo

A estrutura de indicadores de Angra 2, elaborada por este trabalho e descrita em sua totalidade no final deste capítulo, representa parte fundamental do conhecimento a ser manipulado pelo modelo de sistema especialista nebuloso. Esta estrutura, constituída por indicadores diferenciados e organizados hierarquicamente foram agrupados na forma de grafos (Anexo A), fato que induziu ao conceito de classes de objetos e,

portanto, ao estabelecimento da representação do conhecimento através do uso de regras gerais de classes, baseados, na teoria de orientação a objetos. A partir de então, uma estrutura de classes foi planejada para efetiva implementação do modelo. Tratada em detalhes no Capítulo 5.

A consequência imediata trazida pelas definições estabelecidas a respeito da representação do conhecimento é o fato de que qualquer estrutura de indicadores que venha a ser construída e suportada por esse modelo deve ser representada por regras e organizada na forma de grafos (Figura 4.6), onde cada indicador (nodo) é considerado e tratado como objeto de uma das classes estabelecidas, herdando seus atributos e métodos.

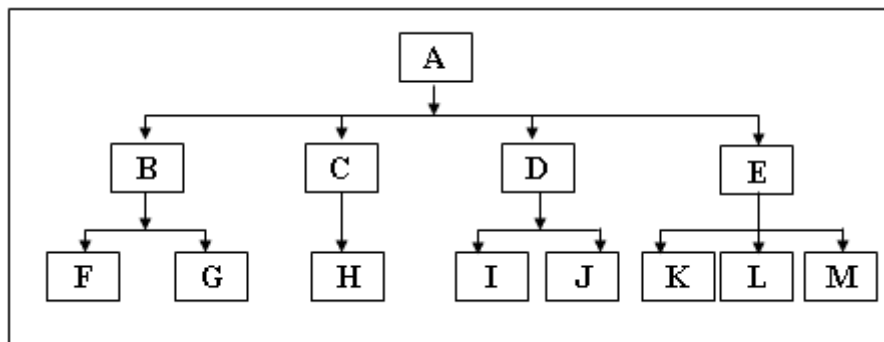


Figura 4.6 – Padrão de representação em grafo para a estrutura de indicadores suportada pelo modelo.

As classes estabelecidas para o modelo de sistema especialista nebuloso determinam e classificam os indicadores que constituem o grafo (estrutura de indicadores), como tipos diferenciados de nós. Portanto, no grafo da Figura 4.6, pode-se afirmar que os indicadores representam “nós”, tratados como objetos das classes definidas, enquanto que as linhas mostram a relação de parentesco – pares pais e filhos – existentes entre os mesmos. Para exemplificar essa relação, pode-se dizer que o nodo A tem como filhos os nodos B, C, D e E.

Genericamente, dois tipos de classes foram criados, dos quais os indicadores estão agrupados, de acordo com suas funções. Os tipos de classes são: nós-sensores que representam os indicadores específicos responsáveis pela aquisição de dados da planta e são os nós que não possuem filhos e os nós-conectores que representam os demais indicadores da estrutura genérica, são os nós-pais que relacionam seus filhos por arcos do tipo *AND*.

A partir do grafo de nós da Figura 4.6 e das relações pais-filhos existentes entre eles, pode-se extrair, a fim de exemplificar o formato das regras gerais de classes que compõem parte do conhecimento tratado por esse modelo, o padrão de regras abaixo:

Regra: *If* (Se) Existe Estado (cor) de nó B *AND*
 Existe Estado (cor) de nó C *AND*
 Existe Estado (cor) de nó D *AND*
 Existe Estado (cor) de nó E

Then (Então) Estabelece Estado (cor) de nó A.

Entretanto, o conhecimento mapeado por este modelo, não se restringe simplesmente a uma estrutura de indicadores representada na forma de grafo e associada a um conjunto de regras gerais de classes, mas sim a uma estrutura de indicadores inserida num conceito de lógica nebulosa, representada na forma de grafo e associada a um conjunto de regras gerais de classes e regras nebulosas.

A utilização da lógica nebulosa nesse trabalho mostrou-se indispensável, uma vez que para determinar o *status* da usina, objetivo principal deste trabalho, é necessário primeiro determinar o *status* de cada indicador que irá compor a estrutura de conhecimento, estabelecendo em que faixas/regiões o valor de cada um deles indica conceito de desempenho bom, satisfatório, com necessidade de aperfeiçoamento e desempenho insatisfatório, representados, respectivamente, pelas cores verde, branca,

amarela e vermelha de acordo com o sugerido pela AIEA, para posteriormente agregar tais conceitos, combinando o desempenho de um conjunto de indicadores em prol de efetivamente obter o *status* da usina.

Todavia, sabe-se que a definição dessas faixas de desempenho não é trivial, uma vez que podem existir regiões onde esses conceitos se misturem de tal forma que em muitos dos casos os próprios especialistas teriam dificuldade em estabelecer o que determinados valores significam em termos de cores, pois se tratam de conceitos não determinísticos.

Em contrapartida, se tem conhecimento de que a lógica nebulosa é uma forma de gerenciamento de incertezas, permitindo melhor representação da realidade e que objetiva fazer com que as decisões tomadas pela máquina se aproximem cada vez mais das decisões humanas, principalmente ao trabalhar com uma grande variedade de informações vagas e incertas, de tal forma que a complexidade do problema seja melhor tratada.

Sendo assim, não se teve dúvidas de que para um tratamento computacional, onde esses tipos de incertezas precisam ser manipulados e que conceitos nebulosos precisam ser agregados, a lógica nebulosa apresentou-se como sendo a metodologia a ser utilizada, tornando-se peça fundamental na elaboração desse modelo.

Portanto, junto às regras gerais de classes se fez uso de regras nebulosas, próprias da metodologia de lógica nebulosa. Estas regras destinam-se diretamente ao estabelecimento da cor de cada indicador e seu uso se fez importante pelo fato do problema tratado conter informações imprecisas, conceitos nebulosos. Tais regras são geradas automaticamente pelo sistema, mediante quatro modelos propostos. A seguir:

(1) Modelo Conservativo: Gera regra nebulosa (*If-Then*) para um dado indicador pai, cujo antecedente (*If*) é a combinação das cores e pertinências dos seus indicadores

filhos e a parte conseqüente (*Then*) é resultado da cor de pior desempenho dentre as cores presentes no antecedente. Enquanto que a pertinência associada à cor conseqüente é a mínima dentre as pertinências presentes nos antecedentes.

A título de ilustração, considere a Figura 4.6 e o fato de se desejar estabelecer regra(s) nebulosa(s) para o indicador A através do modelo conservativo. Para tal suponha que as cores e pertinências de seus filhos B, C, D e E obtidos pelo modelo de sistema especialista nebuloso em passos anteriores sejam vermelha ($\mu = 1$), amarela ($\mu = 1$), amarela ($\mu = 1$) e vermelha ($\mu = 1$), respectivamente. Sendo assim, de acordo com o modelo conservativo o antecedente da regra para o indicador A é a combinação das cores e pertinências dos seus filhos B, C, D e E (no caso vermelha ($\mu = 1$), amarela ($\mu = 1$), amarela ($\mu = 1$) e vermelha ($\mu = 1$)), enquanto que o conseqüente é constituído pela cor representativa de desempenho de maior gravidade dentre às presentes no antecedente e a pertinência é a mínima, no caso vermelha ($\mu = 1$). Logo, tem-se como regra nebulosa para o indicador A, a seguinte implicação:

Se (*If*) B é vermelha, C é amarela, D é amarela e E é vermelha, Então (*Then*) A é vermelha.

(2) Modelo Proporcional: Gera regra nebulosa (*If-Then*), para um dado indicador pai, cujo antecedente (*If*) é a combinação das cores e pertinências dos seus indicadores filhos e a parte conseqüente (*Then*) é resultado da obtenção de um dos percentuais estabelecidos, junto a especialistas de Angra 2, para cada faixa de desempenho, numa prioridade conservativa, gerada a partir das cores presentes no antecedente. Enquanto que a pertinência associada à cor conseqüente é a mínima dentre as pertinências presentes nos antecedentes.

Desta forma, o modelo proporcional verifica as cores presentes no antecedente da regra e faz valer como cor conseqüente àquela que corresponde a uma das proporções estabelecidas abaixo, de acordo com a seguinte ordem de prioridade:

CASO 1 – Se o número de cores vermelhas no antecedente atingir um percentual maior ou igual a 15%, a cor conseqüente é vermelha e a pertinência correspondente é a mínima dentre às presentes no antecedente.

CASO 2 – Se o percentual do CASO 1 não tiver sido obtido, verifica-se o número de cores amarelas no antecedente (considerando possíveis presenças de vermelhas). Logo, se o número de amarelas atingir um percentual maior ou igual a 25%, a cor conseqüente é amarela e a pertinência associada é a mínima.

CASO 3 – Não se obtendo os percentuais dos CASOS 1 e 2, verifica-se o número de cores brancas no antecedente (considerando a presença de vermelhas e amarelas). Se o número de brancas atingir um percentual maior ou igual a 35%, a cor conseqüente da regra é branca, com pertinência mínima.

CASO 4 – Se nenhum dos percentuais anteriores tiver sido obtido, verifica-se o percentual de verdes (considerando a presença das demais cores). Se o número de verde representa um percentual maior ou igual a 50%, a cor conseqüente é verde, com pertinência mínima associada.

Os percentuais estabelecido acima, para o modelo proporcional foram definidos junto a especialistas de Angra 2 que tiveram como preocupação, a elaboração de proporções rigorosas e conservativas para uma efetiva avaliação de desempenho.

Para exemplificar este modelo, considere a Figura 4.6 e o fato de se desejar estabelecer regra(s) nebulosa(s) para o indicador A, através do modelo proporcional. Para tal, suponha que as cores e pertinências de seus filhos B, C, D e E obtidos em passos anteriores sejam vermelha ($\mu = 1$), amarela ($\mu = 1$), amarela ($\mu = 1$) e vermelha ($\mu = 1$) gerando o antecedente da regra, enquanto que o conseqüente é constituído pela cor correspondente a uma das proporções descritas nos CASOS 1, 2, 3 e 4. Desta forma, neste exemplo, o número de cores vermelhas no antecedente é igual a dois num total de quatro, o que corresponde a uma proporção de 50%, ou seja, um percentual maior ou igual a 15%, referente ao CASO 1, sendo vermelha ($\mu = 1$), portanto, a cor conseqüente. Logo, se tem como regra nebulosa para o indicador A, a seguinte implicação:

Se (*If*) B é vermelha, C é amarela, D é amarela e E é vermelha, Então (*Then*) A é vermelha.

(3) Modelo Determinístico: Gera regra nebulosa (*If-Then*) para um dado indicador pai, cujo antecedente (*If*) é a combinação das cores dos seus indicadores filhos e a parte conseqüente (*Then*) é gerada pelo resultado da aplicação de um procedimento numérico (média ponderada) sobre os antecedentes da regra.

Desta forma, o modelo determinístico verifica as cores presentes nos antecedentes, associando peso 4, 3, 2 e 1 as cores vermelha, amarela, branca e verde, respectivamente e realiza uma média ponderada entre os pesos representativos das cores dos nós-filhos e suas respectivas notas. Calculando, então, o resultado da média ponderada, tem-se a cor conseqüente, enquanto que a pertinência associada é a mínima dentre às presentes no antecedente.

Para exemplificar este modelo, considere a Figura 4.6 e o fato de se desejar estabelecer regra(s) nebulosa(s) para o indicador A, através do modelo determinístico. Para tal, suponha que as cores e pertinências de seus filhos B, C, D e E obtidos em passos anteriores sejam vermelha ($\mu = 1$), amarela ($\mu = 1$), amarela ($\mu = 1$) e vermelha ($\mu = 1$) gerando o antecedente da regra, enquanto que o conseqüente é a cor fruto da média ponderada de notas versus pesos dos antecedentes. Desta forma, neste exemplo têm-se pesos 4 para B= vermelha, 3 para C = amarela, 3 para D = amarela e peso 4 para E = vermelha, que supondo terem sido gerados pelas notas B = 2.0, C = 5.5, D = 5.3 e E = 4.0, apresentam como resultado para o cálculo da média ponderada a nota = $(4 \times 2.0 + 3 \times 5.5 + 3 \times 5.3 + 4 \times 4.0) / (4 + 3 + 3 + 4) = 4.03$, correspondente a cor conseqüente vermelha ($\mu = 1$). Logo, se tem como regra nebulosa para o indicador A, a seguinte implicação:

Se (*If*) B é vermelha, C é amarela, D é amarela e E é vermelha, Então (*Then*) A é vermelha.

(4) Modelo Especialista: Gera regra nebulosa (*If-Then*) para um dado indicador pai, cujo antecedente (*If*) é a combinação das cores dos seus indicadores filhos e a parte conseqüente (*Then*) é fruto da escolha por especialistas de uma das quatro cores de desempenho. Enquanto que a pertinência associada à cor conseqüente é a mínima dentre as presentes nos antecedentes.

A título de ilustração, considere a mesma Figura 4.6 e o fato de se desejar estabelecer regra(s) nebulosa(s) para o indicador A, através do modelo especialista. Supondo que as cores e pertinências de B, C, D e E obtidas em passos anteriores seja vermelha ($\mu = 1$), amarela ($\mu = 1$), amarela ($\mu = 1$) e vermelha ($\mu = 1$), respectivamente. Sendo assim, de acordo com o modelo especialista o antecedente da regra para o indicador A, é a combinação das cores e pertinências de seus filhos B, C, D e E, no caso

vermelha ($\mu = 1$), amarela ($\mu = 1$), amarela ($\mu = 1$) e vermelha ($\mu = 1$), enquanto que a cor conseqüente é fruto da escolha de especialistas. Como exemplo, suponha que a cor conseqüente definida por especialista para este caso tenha sido vermelha ($\mu = 1$). Logo, se tem como regra nebulosa para o indicador A, a seguinte implicação:

Se (*If*) B é vermelha, C é amarela, D é amarela e E é vermelha, Então (*Then*) A é vermelha.

É importante destacar que o número de regras nebulosas geradas para cada indicador pai está diretamente relacionado às combinações que se consegue gerar com as cores de seus filhos na formação dos antecedentes e conseqüentes das regras. Por exemplo, suponha a mesma Figura 4.6 e o objetivo de se estabelecer regras para o indicador A. Para tal considere que seus filhos B, C, D e E apresentem como cores a seguinte configuração B (amarela e branca), C (vermelha), D (amarela) e E (verde) e que a cor conseqüente estabelecida pelo modelo conservativo seja vermelha. Sendo assim, pode-se obter para o indicador A, através da combinação das cores de seus antecedentes e conseqüentes às duas regras nebulosas abaixo:

Se (*If*) B é amarela, C é vermelha, D é amarela e E é verde, Então (*Then*) A é vermelha.

Se (*If*) B é branca, C é vermelha, D é amarela e E é Verde, Então (*Then*) A é vermelha.

Como segundo exemplo, suponha que o modelo aplicado sobre o indicador A tenham sido o determinístico e que este tenha gerado as cores amarela e branca como conseqüentes. Sendo assim, através da combinação das cores dos antecedentes e conseqüentes do indicador A, obtêm-se as quatro regras nebulosas a seguir:

Se (*If*) B é amarela, C é vermelha, D é amarela e E é verde, Então (*Then*) A é amarela.

Se (*If*) B é branca, C é vermelha, D é amarela e E é verde, Então (*Then*) A é amarela.

Se (*If*) B é amarela, C é vermelha, D é amarela e E é verde, Então (*Then*) A é branca.

Se (*If*) B é branca, C é vermelha, D é amarela e E é verde, Então (*Then*) A é branca.

Desta maneira, é possível formalizar o número de regras nebulosas geradas para cada indicador pai, por meio da equação 2^{n+k-1} , onde n representa o número de filhos com mais de uma cor e k representa o número de cores conseqüentes. Desta forma, para o primeiro exemplo n=1 e k=1, gerando duas regras nebulosas, enquanto que no segundo exemplo n=1 e k=2, gerando quatro regras nebulosas.

É válido salientar que os quatro modelos propostos funcionam diferenciadamente de acordo com a classe de nós, ou seja, para os nós-conectores, os chamados nós-pais (como o caso do nó A da Figura 4.6), esses modelos destinam-se a geração efetiva de regras nebulosas, através da combinação das cores de seus filhos. Entretanto, no caso dos nós-sensores, “portas” de entrada para os valores de aquisição da planta, os modelos propostos apenas estabelecem o que foi denominado por cor(es)-resultante(s), que se traduz pela aplicação da filosofia dos modelos sobre as cores geradas por seus valores de entrada/aquisição, não havendo geração de regras nebulosas para estes nós, diferentemente do que ocorre na classe nó-conector.

Para exemplificar suponha o indicador nó-sensor K da Figura 4.6 e que seu valor de entrada tenha sido traduzido pelas cores amarela e branca e ainda que o modelo a ser aplicado sobre o nó K seja o conservativo. Desta forma, após aplicar o modelo sobre as entradas de K, tem-se como cor-resultante (cor-*status*) deste nó a cor amarela, pois o modelo conservativo tem como filosofia preservar a cor de pior desempenho.

Portanto, as cores-resultantes dos nós-sensores são geradas seguindo a mesma filosofia dos modelos propostos na formação da parte conseqüente das regras nebulosas dos nós-conectores, só que atuam sob cores de entrada e não sob cores de seus filhos.

O modelo de sistema especialista nebuloso foi definido de tal forma que cada nó da estrutura de indicadores é responsável por gerar sua(s) própria(s) regra(s) nebulosa(s) ou no caso dos nós-sensores, estabelecer sua(s) própria(s) cor(es)-resultante(s). Nesse

processo é permitido o surgimento de regras conflitantes, típicas de um modelo de sistema especialista nebuloso, sendo essas perfeitamente gerenciadas pela metodologia de lógica nebulosa.

O uso de tais regras nebulosas se fez importante pelo fato do problema tratado conter conceitos/informações imprecisas, sendo possível com essas regras gerenciar as incertezas inerentes do problema, permitindo melhor representação da realidade, bem como agregar tais conceitos, uma vez que a intenção é a de trabalhar com um conjunto de indicadores em prol de determinar o *status* da usina e não simplesmente com indicadores isoladamente.

Agregar conceitos não é trivial, pois existem casos que não há um senso comum, por exemplo, parece óbvio que o resultado da combinação entre os conceitos de desempenho vermelho, vermelho, vermelho e verde, resultaria em vermelho, porém se os conceitos envolvidos fossem vermelho, verde, verde e amarelo, certamente o resultado desta agregação não seria assim tão simples, podendo haver dúvida entre os próprios especialistas. Todavia, a lógica nebulosa, como dita anteriormente, permite resolver tais conflitos, através especialmente de suas regras nebulosas e pertinências.

Depois de inserido o conceito de lógica nebulosa, fazendo uso de regras nebulosas na estrutura de conhecimento do modelo de sistema especialista nebuloso, pode-se reescrever as regras gerais de classes nos moldes da apresentada anteriormente na forma mais real, como abaixo:

Regra: *If*(Se) Existe Estado (cor e pertinência) de nó B *AND*
 Existe Estado (cor e pertinência) de nó C *AND*
 Existe Estado (cor e pertinência) de nó D *AND*
 Existe Estado (cor e pertinência) de nó E e
 Existem regras nebulosas de nó A

Then (Então) Estabelece Estado (cor e pertinência) de nó A,
através de um processo de inferência nebuloso.

Em conseqüência, quatro conjuntos nebulosos/partições referentes às faixas de desempenho que variam de bom a insatisfatório e que são representadas pelas cores sugeridas pela AIEA, foram criados para cada indicador. As partições definidas são as apresentadas na Figura 4.7 e a estratégia foi a de utilizá-las para todos os indicadores da estrutura criada, tendo sido necessário para isso normalizar seus valores de entrada em um domínio de notas que varia de 0 (zero) a 10 (dez).

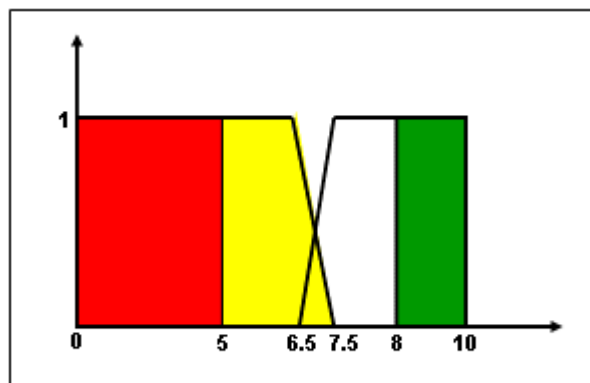


Figura 4.7: Partições definidas para todos os elementos da estrutura de indicadores.

Trabalhar com indicadores normalizados fazendo uso das mesmas partições (Figura 4.7) era fundamental, uma vez que o problema exigia combinar mediante arcos *AND*, indicadores diferenciados em prol de determinar um resultado único, o *status* da usina.

O modelo de sistema especialista nebuloso, à medida que ler um valor de aquisição referente a um indicador do tipo nó-sensor, realiza uma mudança de escala, transformando o dado de aquisição lido em uma nota de 0 (zero) a 10 (dez). Todos os

indicadores são trabalhados nessa escala de notas (com as partições da Figura 4.7) para que se possam relacioná-los posteriormente, mediante arcos *AND*, através das regras suportadas pelo modelo.

A partição denominada vermelha, compreende notas no intervalo de $[0\ 5[$ e representa desempenho insatisfatório (muito ruim); Amarela varia entre $[5\ 7.5]$, representando desempenho ruim; Branca varia entre $[6.5\ 8[$ e representa desempenho necessitando de aperfeiçoamento e verde compreende notas entre $[8\ 10]$ e representa desempenho bom.

Tais partições foram definidas junto a especialistas que mostravam claramente certeza em classificar que qualquer indicador com nota abaixo de 5 apresentavam desempenho insatisfatório e acima de 8 bom desempenho, sendo, portanto, essas faixas representadas pelas cores vermelha e verde, respectivamente, e através de partições críspas. Em contrapartida os especialistas apresentavam incertezas em associar as faixas de desempenho intermediárias que variavam no intervalo de 5 a 8. Por esse motivo, estabeleceu-se para essas faixas, representadas pelas cores amarela e branca, partições nebulosas, cuja preocupação única levantada pelos especialistas era a de ter a partição amarela ocupando uma faixa com praticamente o dobro da ocupada pela branca, de forma a garantir uma análise conservativa dos dados, como pode-se verificar na Figura 4.7.

Para efetiva normalização dos dados de aquisição dos indicadores, utilizou-se uma relação entre os valores referência meta-verde-nota (fixada como nota 8), meta-vermelha-nota (fixada como nota 5), meta-verde (valor numérico real mínimo do indicador do qual deseja-se alcançar), meta-vermelha (limite numérico real do indicador de desempenho insatisfatório que se evita ao máximo) e o valor-aquisição (valor de

entrada real do indicador). Desta forma, a nota do indicador a ser obtida após a leitura do novo dado de aquisição se dá pela relação abaixo:

$$\text{Nota} = \left(\frac{(\text{Valor Aquisição} - \text{Meta Vermelha}) * 3}{(\text{Meta Verde} - \text{Meta Vermelha})} \right) + 5$$

A Figura 4.8 ilustra o processo de normalização dos valores de entrada dos indicadores. Esse processo permite, portanto, trabalhar com os indicadores na mesma unidade, possibilitando combiná-los posteriormente em prol de se obter o estado do nó-pai, no nível hierárquico acima, de forma correta.

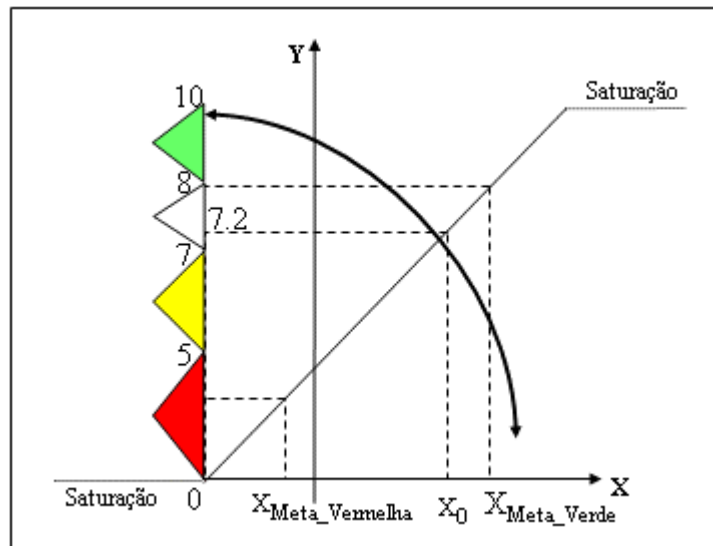


Figura 4.8: Normalização dos valores de aquisição dos indicadores.

Ainda com relação à representação do conhecimento desse trabalho, é válido salientar que além do uso de classes típicas da orientação a objetos, foram feitos extensos uso de diversas outras características dessa metodologia, dentre as quais merecem destaque o polimorfismo e a hereditariedade, mencionados anteriormente.

4.3 – Motor de Inferência do Modelo

No tocante ao componente de “raciocínio”, o motor de inferência desenvolvido pelo modelo de sistema especialista nebuloso é do tipo *backward chaining* associado a uma busca em profundidade, o que permite realizar um processo de encadeamento para trás e em profundidade, iniciando-se com um fato (uma conclusão) pela qual se procura evidências que a comprove. Nesse processo, o motor de inferência do modelo realiza o estabelecimento da cor de cada indicador.

Considerando a Figura 4.6 da seção anterior e o funcionamento geral do motor de inferência do modelo, verifica-se que o nodo A é o primeiro a ter sua cor investigada, se for considerado que este nodo seja o fato (nodo-raiz) que dispara o processo. Seguidamente, os nodos B, F, G, C, H, D, I, J, E, K, L e M, nessa seqüência, como mostrado na Figura 4.9, têm suas respectivas cores investigadas de forma a possibilitar o modelo obter a cor do nodo A, objetivo do disparo do processo.

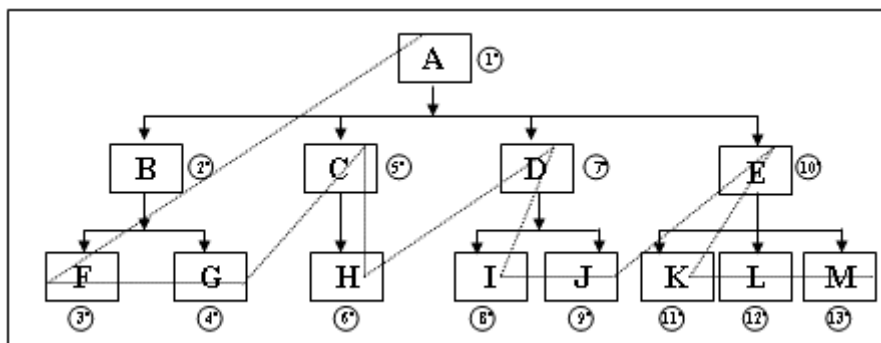


Figura 4.9: Seqüência de investigação/execução realizada pelo motor de inferência na obtenção da cor do nodo A.

É importante salientar que ao contrário do processo de inferência que ocorre de forma encadeada para trás e em profundidade, a partir de um fato (uma conclusão), o recebimento dos dados de aquisição do modelo, realizados pelos nodos do tipo nós-sensores, ocorre no sentido inverso, como esquematizado na Figura 4.10.

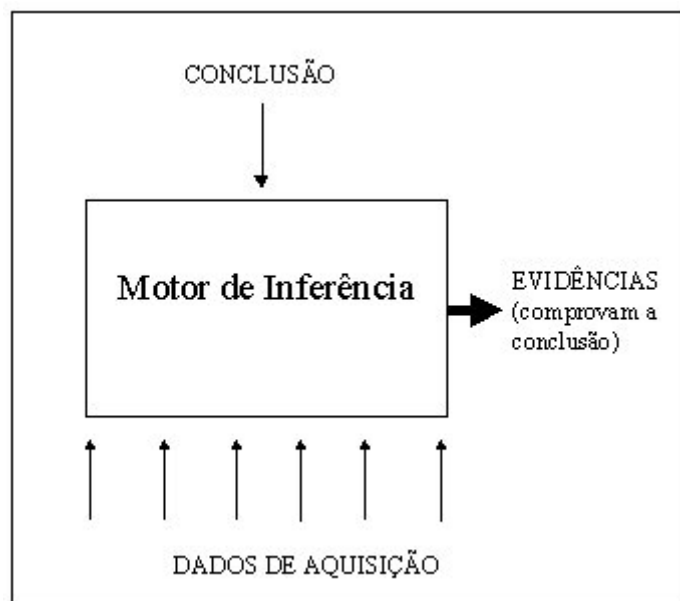


Figura 4.10: Sentido antagônico do processo de inferência e de aquisição de dados.

O que está sendo representado como conclusão na Figura 4.10, indica fato (conclusão), traduzido pelo nodo A no exemplo da Figura 4.9, que dispara o processo de encadeamento para trás e em profundidade do motor de inferência. Nesse mesmo exemplo, os nodos A, B, C, D e E são nós-conectores, pois apresentam filhos relacionados por arcos *AND* e os nodos F, G, H, I, J, K, L e M são nós-sensores responsáveis pela aquisição de dados do modelo que ocorre no sentido inverso do processo de investigação referente a cor do nodo A. Os nós-sensores representam os indicadores específicos e os nós-conectores os demais indicadores da estrutura de índices criada.

No processo de inferência realizado pelo modelo, as regras gerais de classe e as regras nebulosas são geradas e disparadas permitindo o estabelecimento das cores dos nós à medida que são investigados e que existam os parâmetros para estas operações.

A fim de exemplificar o funcionamento do motor de inferência do modelo, considere que o grafo apresentado na Figura 4.6 representa a estrutura de indicadores desenvolvida, da qual se deseja obter o estado (cor) do indicador A.

Inicialmente, o motor de inferência “carrega” os nodos da estrutura de indicadores com seus respectivos atributos. Em seguida, o sistema especialista nebuloso associa a definição, que foi feita por parte do usuário, do modelo (conservativo, proporcional, determinístico ou especialista) pelo qual cada indicador deverá ser tratado. Supondo então, que os nós C, F e K, sejam calculados pelo modelo conservativo, os nós A, G e J, pelo proporcional, enquanto que os nós E, H e L, sejam calculados pelo modo determinístico e finalmente os nós B, D e M, tenham sido estabelecidos pelo usuário como modelo especialista, de acordo com o ilustrado na Figura 4.11.

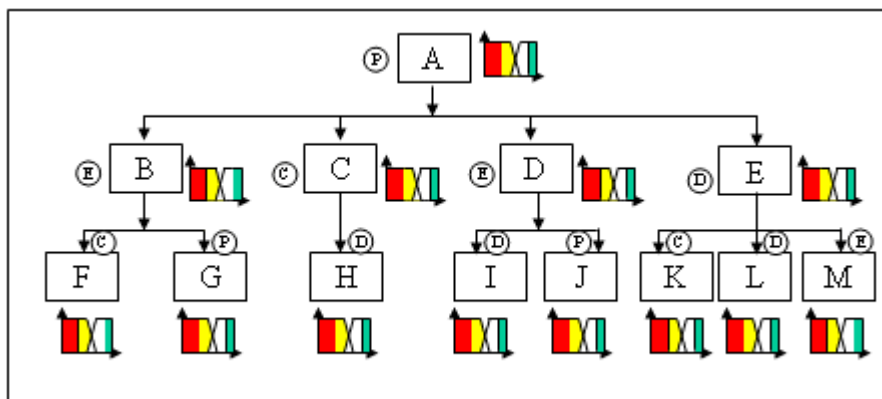


Figura 4.11: Definição, por parte do usuário, do modelo de cada indicador.

Uma vez definido o modelo para cada indicador, efetivamente inicia-se o processo de inferência. Sendo este disparado pelo indicador A, procurando estabelecer sua cor. Porém, para definir a cor de A, é necessário conhecer as cores de seus filhos B, C, D e E. Operação que ainda não é possível, pois esses indicadores são nós-conectores e também possuem filhos dos quais não se conhecem as cores. A partir de então, o

motor de inferência continua seu processamento, desta vez procurando estabelecer as cores dos filhos de B, C, D e E, realizando um processo de encadeamento para trás e em profundidade, determina que o primeiro nó a ser investigado é o nó F (Figura 4.12), filho de B mais profundo e mais à esquerda, na estrutura representada em grafo.

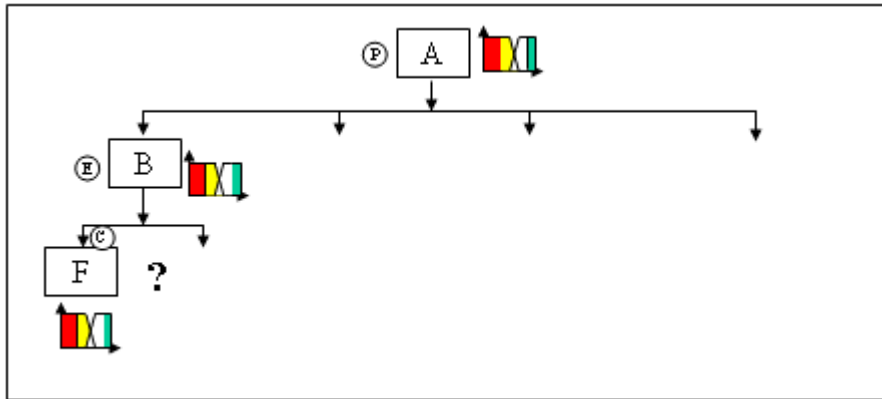


Figura 4.12: Motor de inferência investigando a cor do nó F.

O nodo F é um nó-sensor, ou seja, um indicador específico que realiza leitura de dados de aquisição e obtém sua cor a partir desta operação. Portanto, ao investigar o nó F, o primeiro passo é a realização da leitura do seu valor de aquisição (dado de entrada do indicador) e a conversão deste para uma escala de nota padrão, como ilustra a Figura 4.13.

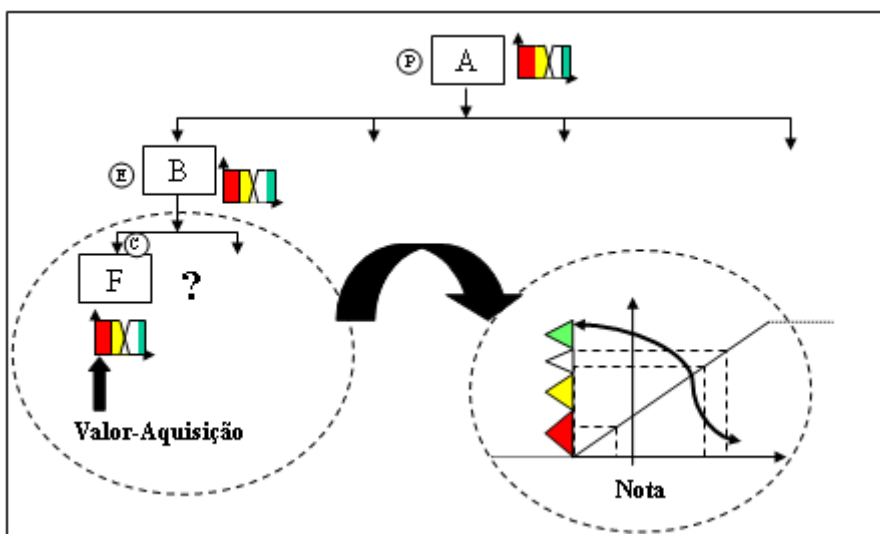


Figura 4.13: Normalização do valor de aquisição do nó F.

Após obter-se a nota de F, um processo de fuzzificação em sua partição é realizado, de forma a transformar o valor de entrada crísp (já convertido para nota) em conjunto(s) nebuloso(s). Supondo que a nota de F, seja 0 (zero) ao ser fuzzificada tem-se conjunto vermelho, com pertinência 1. Para se determinar o estado (cor) de F, é preciso estabelecer a(s) cor(es) resultante(s) de F, de acordo com o modelo especificado pelo usuário para este nó.

O modelo de F, por ser conservativo, estabelece como cor-resultante, a cor de maior gravidade. Neste exemplo, tem-se como cor-resultante exatamente à mesma do processo de fuzzificação. Portanto, o estado do nó F, é (vermelho – 1), como mostrado na Figura 4.14.

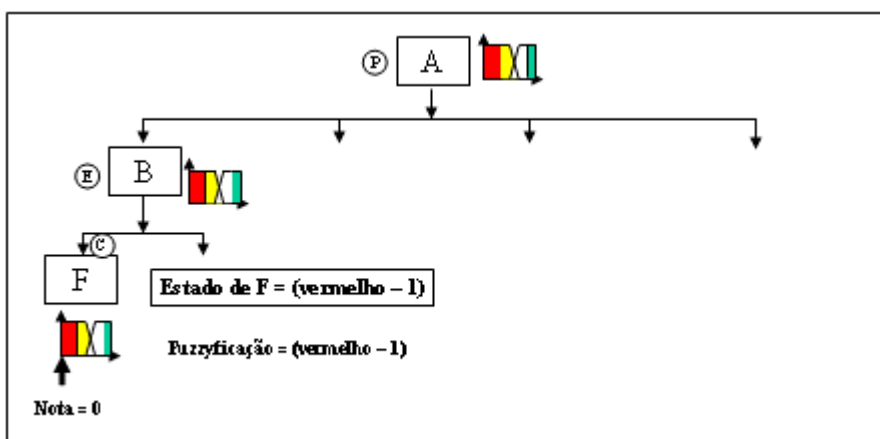


Figura 4.14: Estado do nó F.

De posse do estado de F, ainda não é possível estabelecer o estado do seu nó-pai B, pois este tem outro filho G, com estado desconhecido. O motor de inferência, então, parte no sentido de determinar o estado deste nó.

O nodo G é um nó-sensor. Supondo que receba nota 5, após a conversão do seu valor de aquisição para a escala de notas, esta ao ser fuzzificada, resulta no conjunto amarelo com pertinência 1. Este indicador possui como modelo o tipo proporcional que gera como cor-resultante, a cor correspondente a proporção alcançada, dentre as

presentes no antecedente ou dentre as presentes no resultado da fuzzificação, no caso dos nós-sensores, seguindo as proporções estabelecidas para este modelo de acordo com o descrito no item anterior.

No caso do nó G, como só tem a cor amarela fruto da fuzzificação, sua cor-resultante será amarela. Logo o estado de G é (amarelo - 1), como apresentado na Figura 4.15.

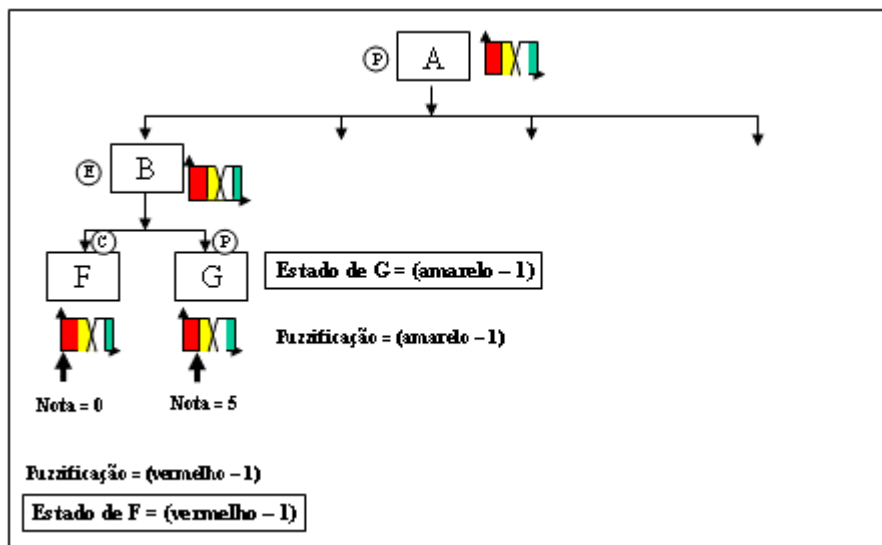


Figura 4.15: Estado do nó G.

Com o estado dos nós F e G é possível estabelecer o nó-pai B, nó-conector que relaciona seus filhos F e G por arco *AND*, sendo necessário, para tal, primeiro, gerar regras nebulosas de acordo com o modelo deste nó.

O modelo do nó B foi definido como especialista, sendo suas regras nebulosas geradas pela combinação das cores dos seus filhos para o antecedente (*If*) e o conseqüente a cor escolhida pelos especialistas, como parte *Then* da regra.

Sendo assim, como o estado de F é vermelho-1 e o estado de G é amarelo-1, a regra nebulosa gerada para B é:

Se (*If*) F é vermelho e G é amarelo, Então (*Then*) B é amarelo, com pertinência = 1.

Estabelecida a regra nebulosa para B é preciso prosseguir com a inferência, disparando essa regra na partição do nó B. Após disparar a regra nebulosa determina-se um único valor numérico, resultado do processo de defuzzificação, representativo da regra disparada e conseqüentemente dos valores de aquisição do modelo. O processo de defuzzificação utilizado foi à média-dos-máximos, descrito no Capítulo 2.

O resultado desta defuzzificação representa a saída dos nós F e G na partição do nó B, posicionado no grafo no nível acima. O valor numérico da defuzzificação (saída de F e G) é utilizado como entrada do nó B, passando a ser, portanto, a nota desse nó.

Com a nota de B o processo reinicia, realizando a fuzzificação na partição B e aplicando o modelo definido como especialista deste nó, para finalmente estabelecer o estado de B (Figura 4.16).

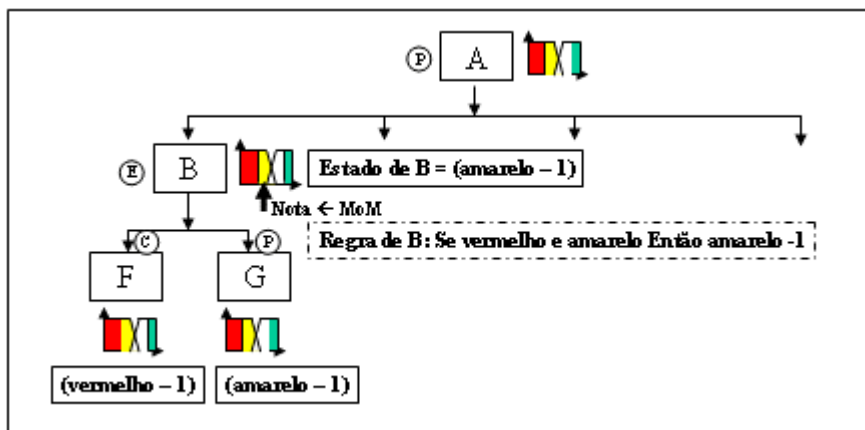


Figura 4.16: Estado do nó B.

Na seqüência o motor de inferência procura estabelecer o estado do próximo filho de A, no caso o nó C. Este nó tem como filho o nó H que necessita ter o seu estado determinado para posterior determinação do estado de C. O processo continua por todos os nós do grafo até que se consiga determinar o estado do nó-raiz A, objetivo inicial.

Nuanças do procedimento realizado pelo motor de inferência serão mostradas no Capítulo 5, onde será apresentada e explicada a codificação do modelo de sistema especialista nebuloso, a estrutura de classes desenvolvida para o mesmo e os

procedimentos de normalização, fuzzificação, defuzzificação, geração de regras nebulosas, entre outros.

4.4 – Aquisição de Conhecimento do Modelo

Desenvolver um modelo de sistema especialista nebuloso cuja estruturação possibilitasse realizar leituras de dados em tempo real apresentava-se como um aspecto importante, uma vez que o intuito era demonstrar a viabilidade de um sistema inteligente nebuloso que manipulasse um conjunto de indicadores de desempenho como uma ferramenta para monitorar, medir, avaliar e auxiliar medidas gerenciais.

Por esse motivo, os nós-sensores, responsáveis pela aquisição de dados da planta, foram estruturados de modo a permitir que a leitura de dados para o modelo possa ser facilmente realizada em tempo real e a partir de diversas fontes, tais como: aquisição do Sistema de Monitoração da Usina de Angra 2, da indicação do operador, entre outras. Todavia, como ambiente de teste, a aquisição oriunda do Sistema de Monitoração da Usina de Angra 2, foi substituída por arquivos do tipo TXT, com leitura de ciclo de 2 segundos.

4.5 – Linguagem de Programação Utilizada para Implementação do Modelo

Uma vez determinado o formalismo de representação do conhecimento, para a implementação do modelo de sistema especialista nebuloso, foi utilizada a linguagem de programação CLOS, explicada no Capítulo 2, por suportar o paradigma de orientação a objetos.

4.6 – Estrutura de Indicadores da Usina Nuclear Angra 2 para o Modelo

Conforme citado anteriormente a estrutura de indicadores da usina nuclear Angra 2, até o nível de indicadores estratégicos foi construída exatamente de acordo com o sugerido pela AIEA, enquanto que o nível específico apresenta indicadores particulares da planta de Angra 2, sugeridos por seus especialistas, dentre os quais um reduzido conjunto de índices que vem sendo utilizados na usina desde 2002 e alguns dos indicadores do INPO, da WANO e da NRC.

A estrutura de indicadores apresenta como primeiro nível o conceito de desempenho de segurança operacional da usina. Conceito este, traduzido por um indicador principal, trabalhado em um nível mais alto dentro de uma estrutura hierárquica e procurando interagir projeto, segurança operacional e desempenho humano.

No nível seguinte, foram estabelecidos atributos de segurança operacional mapeados por indicadores chaves. Três aspectos importantes foram observados e associados a usinas que operam com segurança – operação normal, operação emergencial e operação com equipe da planta agindo sobre segurança. Nesta base, três indicadores chaves foram estabelecidos:

- Usina opera sem problemas: Indicador associado a usinas que apresentam operação normal, quando em operação. Mede o nível de facilidade/desempenho com que a planta opera. Está relacionado com o aspecto de projeto, dentre os três necessários para se alcançar um alto nível de desempenho de segurança operacional;

- Usina opera com baixo risco: Indicador associado a usinas que apresentam operação emergencial, quando em operação. Monitora/considera o risco geral da planta. Está relacionado com o aspecto de segurança operacional; e

- Usina opera com atitude positiva de segurança: Indicador associado a usinas que apresentam operação com a equipe da planta agindo de forma segura, quando em

operação. Monitora a atitude da equipe em relação a segurança. Está relacionado com o aspecto de desempenho humano.

Uma vez estabelecidos os indicadores chaves, os mesmos foram expandidos até um nível quantificável, através dos indicadores gerais, estratégicos e específicos, como descritos na seqüência:

4.6.1 – Indicador Chave - Usina Opera sem Problemas

No que tange à usina que opera sem problemas, o primeiro meio de se evitar acidentes é tentar operações de alta qualidade com raros desvios da condição normal de operação. Sistemas de operação normal em uma usina nuclear cuidam simplesmente da produção de energia. A sua operação normal não representa dificuldade para a segurança da planta.

Os problemas, em planta com operação normal, são predominantemente causados por falhas de equipamento em processo ou sistemas de automação e por erros de testes, manutenção e operações. Portanto, desafios gerados por ocorrências anormais antecipadas, causariam reações de forma clara e uma resposta apropriada de sistemas normais.

Neste contexto, três indicadores gerais foram criados: Desempenho operacional, condições das estruturas, sistemas e componentes e eventos.

(a) Indicador geral – Desempenho operacional

Indicativo da produção de energia.

(a.1) Indicador estratégico – Reduções e interrupções forçadas de energia.

Esta medida reflete reduções forçadas de energia pré-definidas e interrupções forçadas.

(a.1.1) Indicadores específicos

- Fator de disponibilidade: Informa a disponibilidade da planta em atender ao sistema elétrico;

- Fator de perda de disponibilidade não planejada: Contabiliza perdas forçadas (não planejadas) na geração de energia;

- Fator de capacidade bruto: Contabiliza o que a usina realmente produziu em termos de energia, descontando as perdas de rendimento. Traduz o que efetivamente “chega” à turbina em termos de energia;

- Energia bruta e líquida gerada: Energia bruta informa a energia produzida pelo gerador elétrico principal, enquanto que a energia líquida se traduz pela energia bruta no período descontando a energia consumida pelos auxiliares da usina;

- Desempenho térmico: Apresenta o valor do rendimento em percentual, mostrando a diferença entre o que “chega” na turbina e o que efetivamente foi produzido pelo reator;

- Número de dias com a unidade sincronizada: Número de dias em que a usina ficou atendendo ao sistema elétrico;

- Taxa de perda forçada: Totaliza as reduções de potência e as perdas de energia não planejadas; e

- Depleção do combustível nuclear: Explicita o número de dias efetivos a plena potência no ciclo, mediante a depleção do combustível nuclear.

(b) Indicador geral - Condições das estruturas, sistemas e componentes.

Indicativo da detecção e correção de deficiências nas estruturas, sistemas e componentes de uma usina nuclear.

A detecção e correção das deficiências é parte das atividades normais diária de uma planta nuclear. O objetivo do programa de manutenção de uma planta é preservar a

confiança, disponibilidade, e segurança inerente às suas estruturas, sistemas e componentes e restabelecê-las quando forem afetados.

Além de um programa de manutenção bom e eficiente, um controle químico na planta ajudará a garantir que a vida do equipamento relacionado à segurança será tão longa quanto o esperado de acordo com o projeto do equipamento.

(b.1) Indicador estratégico - Ordens emitidas de trabalho corretivo.

Uma ordem de trabalho corretivo é usada para direcionar e documentar as atividades de manutenção. Normalmente, uma ordem de trabalho corretivo é emitida para verificação de defeitos, manutenção corretiva e pequenas modificações. Uma grande quantidade de manutenção corretiva pode refletir em problemas potenciais, de confiabilidade, e também deficiências de manutenção.

(b.1.1) Indicadores específicos

- *Backlog* de manutenção corretiva: Contabiliza o número de ordens e trabalho corretivo. Um alto número de ordens de trabalho corretivo emitidas significa uma deterioração clara da confiabilidade do sistema;

- Controladores em manual na usina: Contabiliza o número de estações de controle automáticas sendo operados em manual na sala de controle e no campo e que por algum motivo ainda não foi consertada; e

- Aderência ao programa de 8 semanas: Porcentagem obtida entre o total de LTS (Licenças de Trabalho) efetivamente realizadas e o total estabelecido pelo programa de 8 semanas como meta inicialmente planejada.

(b.2) Indicador estratégico – Condição material

Mede o controle químico da planta, bem como seu grau de envelhecimento de forma que se possa assegurar a vida útil da usina de acordo com a projetada.

(b.2.1) Indicadores específicos

-Indicador químico: Índice químico da usina que leva em conta as razões entre as médias ponderadas dos parâmetros Na, Cl, SO₄, Fe e Cu;

- *Workaround* de operadores: número de equipamentos em condições de operação diferente daquele para os quais foram projetados causando problemas operacionais;

- Vazamentos identificados: Quantidade de vazamentos existentes na usina, ressaltando os existentes nos sistemas de segurança; e

- Volume de efluente líquido liberado na área convencional (GNB): Totaliza o volume líquido não radioativo (convencional) em m³, liberado para o meio ambiente.

(b.3) Indicador estratégico – Estado das barreiras

Mede o estado das barreiras que evitam a contaminação do meio ambiente e doses radioativas às pessoas.

(b.3.1) Indicadores específicos

- Índice de confiabilidade do combustível: Mostra a integridade da primeira barreira de proteção radioativa. Esse índice é calculado baseado na média da atividade do I – 131 visando determinar a integridade do combustível;

- Taxa de fuga do primário – Vazamento do primário para o secundário: Medida em galões por dia da taxa de fuga através dos geradores de vapor;

- Taxa de fuga do primário – Fugas não identificadas: Vazão em Kg/s da taxa de vazamento não identificada do sistema primário; e

- Taxa de fuga do primário – Fugas identificadas: Vazão em Kg/s da taxa de vazamento identificada do sistema primário.

(c) Indicador geral – Eventos

Indicativo de alguma deficiência (evento) da planta. Alguns eventos podem desafiar vários sistemas de uma usina e causar distúrbios que não seriam facilmente

suavizados. O significado de um evento pode ser mínimo para a segurança (por exemplo, a falha de um único fusível, que não gera nenhuma consequência) ou bastante significativo (por exemplo, a falha geral de um sistema de segurança).

(c.1) Indicador estratégico – Eventos relatados

O objetivo deste indicador é monitorar os eventos que são considerados de grande importância para a segurança, especialmente aqueles de interesse de outras organizações, tais como a CNEN e a WANO.

(c.1.1) Indicadores específicos

- Pendências com a CNEN por órgão: Contabiliza o número de pendências com a CNEN, em aberto.

(c.2) Indicador estratégico – Incidentes significativos

O objetivo deste indicador é monitorar aqueles eventos que embora não sejam necessários de serem relatados externamente, são importantes de serem relatados internamente para fins de experiência operacional.

(c.2.1) Indicadores específicos

- Pendências de elaboração de RES/RDO: Número de relatórios (RDO – Relatório de Desvio Operacional e RES – Relatório de Evento Significativo) de experiência operacional interna com prazo de elaboração vencido; e

- Pendências de ARES/ARDO: Número de recomendações (ARDO – Ação Recomendada por Desvio Operacional e ARES – Ação Recomendada de Eventos Significativos) dos relatórios de experiência operacional interna com prazo de implementação vencido.

4.6.2 – Indicador Chave - Usina Opera com Baixo Risco

Esse indicador leva em consideração o risco geral da usina, preocupando-se com a segurança operacional como um todo.

Sendo assim, três indicadores gerais foram definidos, são eles: Desafios aos sistemas de segurança, habilidade da planta em responder a um desafio e risco de configuração da planta.

(a) Indicador geral - Desafios aos sistemas de segurança

Indicador que monitora a demanda dos sistemas de segurança.

(a.1) Indicador estratégico – Desafios atuais

Contabiliza o número de desafios atuais aos sistemas de segurança.

(a.1.1) Indicadores específicos

- Desligamentos automáticos por 7.000 h críticas: Totaliza o número de desligamentos da usina no período de 7.000 h críticas (Considera-se 7.000 h críticas = 1 ano, já descontando, em horas, o período de recarga).

(a.2) Indicador estratégico – Desafios potenciais

Refletem uma advertência sobre futuros desafios à planta. Representam desafios que podem se tornar atuais.

(a.2.1) Indicadores específicos

- Número de falhas iniciais e ou parciais em sistemas de segurança: É um meio indireto de monitorar o número de fugas. Devido ao fato do número de fugas serem normalmente muito baixo esse indicador é útil para detecção antecipada de deficiência que poderiam causar fugas no reator mais tarde.

(b) Indicador geral - Habilidade da planta em responder a um desafio

Indicador que monitora o desempenho da usina na ocorrência de um desafio, de forma a garantir a integridade da planta e da população.

Quando um desafio acontece, a usina deve responder de tal forma a prevenir qualquer dano ao núcleo do reator, e na ocorrência desse dano, a planta deve minimizar as consequências para prevenir vazamentos de radioatividade para o meio ambiente. Se

mesmo assim, houver vazamento de radioatividade, é necessário proteger a população e garantir a segurança pública.

(b.1) Indicador estratégico – Desempenho dos sistemas de segurança

Fornece uma indicação geral da prontidão do sistema de segurança para responder aos desafios da usina.

(b.1.1) Indicadores específicos

- *Performance* dos sistemas JND – Alta Pressão: Apresenta a fração de tempo indisponível do sistema de Injeção de Segurança de Alta Pressão (JND- Alta Pressão):

- *Performance* dos sistemas LAR: Apresenta a fração de tempo indisponível do sistema de água de Alimentação de Emergência (LAR);

- *Performance* dos geradores diesel de 4.16 Kv: Apresenta a fração de tempo indisponível dos geradores diesel 4.16 Kv;

- Atuações indevidas de equipamentos e/ou sistemas: Representa o número de atuação de equipamentos ou de falhas de instrumentação causando distúrbio na condição operacional de equipamentos e sistemas; e

- Desempenho do programa de testes periódicos: Retrata a relação entre o número de testes requeridos pelas especificações técnicas, executados na data programada pelo numero total de testes executados.

(b.2) Indicador estratégico – Estado de preparação dos operadores

As ações do operador durante o curso de eventos anormais podem ser tais que venham a agravar a progressão de um acidente. Então, indicadores que monitoram este domínio podem potencialmente detectar áreas de deficiência antes que se torne um problema.

(b.2.1) Indicadores específicos

- Número de horas destinadas ao treinamento: Contabiliza o número de horas referentes ao treinamento do pessoal de sala de controle e de outras equipes que, em caso de distúrbios da planta, devem estar aptos a responder a tal desafio;

- Número de reprovação em exames de licenciamento: É uma medida da qualidade do treinamento e do processo de seleção do operador; e

- Erros de operador durante acidentes no simulador: Representa uma medida do preparo dos operadores para enfrentar uma variedade de situação de acidentes ou anormais.

(b.3) Indicador estratégico – Estado de preparação de emergência

Gerenciamento de emergência é a última barreira para proteger o público se o vazamento externo de radioatividade não puder ter sido evitado. Assim, o nível de preparo da usina para enfrentar uma emergência também fornece uma medida da habilidade da planta em responder desafios.

(b.3.1) Indicadores específicos

- Número de horas destinadas a treinamento de planos de emergência: Representa uma medida do preparo da planta para colocar em prática o plano de emergência, protegendo o público no caso de não se poder evitar um vazamento de radioatividade; e

- Número de pessoas que recebem treinamento para planos de emergência: Representa uma medida do preparo de pessoal para colocar em prática o plano de emergência, protegendo o público no caso de não se poder evitar um vazamento de radioatividade.

(c) Indicador geral – Riscos de configuração da planta

Monitora aspectos relacionados a violações de projeto e riscos de configuração.

Configurações diferentes do projeto base da usina acontecem devido a atividades de manutenção planejadas, requisitos operacionais e ocorrência de eventos operacionais, sendo, portanto, importante estabelecer meios para monitorar este parâmetro.

(c.1) Indicador estratégico – Risco durante operação

Indicador para monitorar o risco da usina durante a produção de energia.

(c.1.1) Indicadores específicos

- PAETS em aberto: Totaliza o número de PAETS (Pedidos de Alteração de Especificação Técnica) em aberto; e

- CLOS não Planejadas: Totaliza o número de CLOS (Condições Limites de Operação) abertas devido à inoperância não planejada de equipamentos de segurança.

(c.2) Indicador estratégico – Risco durante desligamento

Indicador de nível de risco durante o estado de desligamento que promoverá o anúncio de risco e ajudar a minimizar as horas gastas em configurações significativas de risco durante condições de desligamento.

(c.2.1) Indicadores específicos

- Índice de risco durante desligamento: Representa uma medida de risco associada à configuração tais como comprimento das funções de segurança e dos requisitos de especificação técnica.

4.6.3 – Indicador Chave – Usina Opera com Atitude Positiva de Segurança

Uma porcentagem significativa de eventos ocorridos em plantas nucleares pode ser atribuída, pelo menos em parte, a deficiências de desempenho humano. Até mesmo incidentes relativamente menos importantes podem ser problemáticos. Porém, como custo, competitividade e confiabilidade pública dependem de operação produtiva e

contínua, aperfeiçoar desempenho humano e reduzir os erros geram economias substanciais com operações e manutenção enquanto aumentam a segurança.

Desta forma, dois indicadores gerais foram criados. São eles: Atitude em relação à segurança e busca por aperfeiçoamento.

(a) Indicador geral – Atitude em relação à segurança

Indicador que cobre implementação e atitudes em relação a programas de gerenciamento necessários para operar a usina de maneira segura, respeitando limites administrativos, com baixo impacto na saúde e segurança dos operadores. Consiste no controle de gerenciamento e supervisão, implementação de bons programas de garantia, adesão aos requisitos de licenciamento e/ou especificações técnicas, e respeito por procedimentos internos da usina. Atitudes de segurança impróprias resultariam em colapso ou falta de controle de gerenciamento ou controle de supervisão adequada, problemas na operação, inspeção, ou procedimentos de teste, violação das especificações técnicas, etc.

(a.1) Indicador estratégico – Cumprimento de procedimentos, regras e requisitos de licenciamento.

Tem como objetivo avaliar como a equipe mantém a usina cumprindo os requisitos de licenciamento e outros procedimentos e regras.

(a.1.1) Indicadores específicos

- Número de violação de especificação técnica: Monitora o nível de flexibilidade nos procedimentos e regras;

- Número de violação dos requisitos de licenciamento: Monitora o nível de flexibilidade nos requisitos de licenciamento; e

- Pendências de SACS por órgão: Totaliza o número de SACS (Solicitações de Ação Corretiva) em aberto.

(a.2) Indicador estratégico – Atitude em relação a procedimentos, políticas e regras.

Avalia o cumprimento de regras, recomendações, procedimentos internos e externos em especial na ocorrência de algum desvio de segurança.

(a.2.1) Indicadores específicos

- Recomendação de CAON e CROU pendentes: Número de recomendações da CAON e da CROU com prazos de implementação vencidas;

- Alarmes atuados nos painéis da sala de controle: Número de alarmes HAS (*Hardware Alarm System*) atuados na sala de controle indevidamente; e

- Modificações temporárias instaladas: Número de SMTS (Solicitações de Modificações temporárias) instalados.

(a.3) Indicador estratégico – Eficiência do programa de proteção radiológica

É uma indicação da eficiência do programa de proteção radiológica, da relação do controle administrativo e do nível da cultura de segurança da usina. Estas medidas são indicadas para a eficiência das barreiras de proteção, equipamentos de proteção pessoal, controle de exposição de pessoal, contaminação de materiais e de áreas da planta, entre outros fatores.

(a.3.1) Indicadores específicos

- Exposição coletiva à radiação: Retrata a dose equivalente efetiva coletiva, ou seja, o somatório das doses dos trabalhadores da usina;

- Áreas das salas com contaminação radiológica nos pisos: Área de piso em m² com contaminação fixa ou transferível, não considerando as áreas do edifício do reator.

Este indicador reflete a eficiência do programa de proteção à radiação em minimizar o alcance da contaminação dos trabalhadores;

- Contaminações pessoais externas por tipo empregado: Número de trabalhadores com contaminação na superfície do corpo ou vestimentas pessoais acima de 85 Bq/100 cm²;

- Volume de rejeito líquido liberado na área restrita (KPK 29): Volume de líquido em m³ resultado do processo de evaporação e liberado para o meio ambiente; e

- Volume de rejeito sólido radioativo: Volume de rejeito sólido radioativo em m³ oriundo dos processos operacionais da usina.

(a.4) Indicador estratégico – Desempenho humano

Tem como propósito monitorar a influência dos fatores humanos em atividades relacionadas à segurança. Indica o grau de importância de erros humanos nestas atividades.

(a.4.1) Indicadores específicos

- Número de eventos devido falhas humanas: Medida da contribuição de erros humanos para a planta. Indica o grau de preparo da equipe operacional para lidar com as tarefas de rotina;

- Acidentes industriais com perda de tempo por 200.000 hh trabalhadas: Contabiliza o número de acidentes que acarretaram perda de tempo, no período de 200.000 hh trabalhadas.

(a.5) Indicador estratégico – *Backlog* de casos relacionados à segurança

Fornece uma medida da capacidade da organização em solucionar problemas.

(a.5.1) Indicadores específicos

- *Backlog* de manutenção preventiva: Total de SOTS (Solicitações de Ordem de Trabalho) classificados como “preventiva” (sob condição), “preventiva” e “programa de preventiva”, com data programada vencida ou nula, exceto LTS (Licenças de trabalho) com *status* “pendente”; e

- Aderência ao programa de manutenção preventiva: Porcentagem obtida entre a quantidade de manutenção preventiva efetivamente realizada e o total estabelecido pelo programa de manutenção.

(a.6) Indicador estratégico – Anúncio/Informações de segurança

Avalia o nível de interesse em aprimorar o conhecimento da equipe sobre problemas relacionados à segurança, a segurança nuclear e a abertura a novas idéias.

(a.6.1) Indicadores específicos

- ETOS pendentes: Totaliza o número de ETOS (Esclarecimentos Técnicos para Operação) em aberto;

- Número de revisão externa de segurança, auditorias e avaliação: Fornece uma medida de interesse da gerência em encontrar suas deficiências baseada na experiência fornecida por outros especialistas, externos à planta. Isto mede o nível de receptividade e do interesse em aprender e aprimorar práticas de auto-avaliação; e

- Número de seminários sobre problemas relacionados à segurança: Fornece uma medida do interesse da gerência em introduzir novos conceitos em cultura de segurança entre a equipe e do interesse em “aprender com os outros”.

(b) Indicador geral – Busca por aperfeiçoamento

Indicador que avalia, a busca pelo aperfeiçoamento. Buscar aperfeiçoamento significa que a usina estabeleceu uma forte e positiva cultura de segurança onde o aperfeiçoamento é contínuo e o comportamento esperado é um compromisso de todos os empregados.

(b.1) Indicador estratégico – Auto-avaliação

Revisões de segurança e auditorias são parte muito importante na estrutura das atividades de auto-avaliação da usina. Revisões internas e auditorias são desempenhadas para avaliar a eficiência dos programas e procedimentos, para verificar

se os mesmos estão de acordo com os requisitos especificados, para avaliar a eficiência do controle e atividades de verificação, para relatar as descobertas e deficiências de todos os níveis de gerenciamento que precisem ser informados, para determinar quem deve tomar a ação corretiva, para verificar que ações corretivas devem ser planejadas, iniciadas ou completadas.

(b.1.1) Indicadores específicos

- Programa nacional de intercomparação – Variação percentual de desempenho: Apresenta o valor percentual de acertos dos resultados obtidos no programa nacional de intercomparação de amostragem radioativas coordenadas pelo CNEN/IRD.

(b.2) *Feedback* de experiência em operação

Resultam dos eventos de revisões que aconteceram na planta. O propósito é identificar vulnerabilidades potenciais e aperfeiçoar o nível de segurança operacional da usina.

(b.2.1) Indicadores específicos

- Número de desvios e falhas repetidas ou similares: Indicação da qualidade de operação de experiência de *feedback* e particularmente da análise de causa raiz.

A representação gráfica da estrutura de indicadores para Angra 2, construída por este trabalho, encontra-se no Anexo A.

Capítulo 5

Implementação do Modelo de Sistema Especialista Nebuloso para o Cálculo de Indicadores de Desempenho e Segurança

O modelo de sistema especialista nebuloso, descrito no Capítulo 4, define como parte principal de sua representação do conhecimento, uma estrutura de indicadores em um contexto nebuloso, agrupados na forma de grafo. Fato que induziu ao conceito de classes de objetos e, portanto, ao estabelecimento da representação do conhecimento através do uso de regras gerais de classes associadas a regras nebulosas, na teoria de orientação a objetos. A partir do qual, ficava evidenciada, a necessidade da construção de uma estrutura de classes, genérica e hierarquicamente organizada, para o estabelecimento de propriedades e comportamentos das instâncias (nós/indicadores) que compõem o conhecimento da estrutura de indicadores suportada pelo modelo.

Como mencionado anteriormente, as classes definidas para o modelo, dos quais os indicadores podem genericamente agrupar-se de acordo com suas funções são: nós-sensores e nós-conectores. Os nós-sensores representam os indicadores específicos responsáveis pela aquisição de dado da planta e estão posicionados no último nível da estrutura hierárquica de indicadores e, portanto, não apresentam filhos, ou seja, a obtenção do seu *status* não depende de outros indicadores. Enquanto que os nós-conectores representam os demais indicadores da estrutura genérica, do qual a obtenção de seu *status* depende da combinação do *status* de seus indicadores filhos, sendo, portanto, nós-pais que relacionam seus filhos por arcos do tipo *AND*.

Desta forma, para implementação do modelo, essas classes foram mapeadas em uma efetiva estrutura de classes. Estrutura essa, representada pelo diagrama de classes

(RUMBAUGH, BIAHA, et al, 1994) da Figura 5.1 e composta por uma superclasse denominada NÓ e pelas classes NÓ-E e NÓ-SENSOR que traduzem, respectivamente, os descritos nós-conectores e os nós-sensores, bem como seus respectivos atributos e métodos.

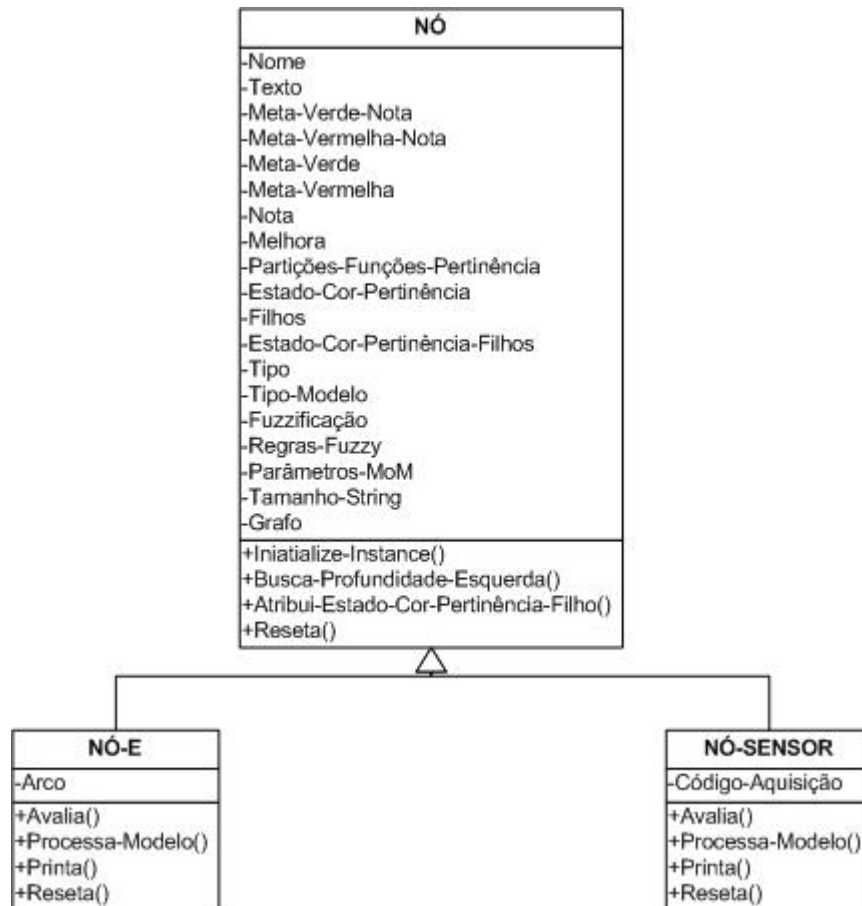


Figura 5.1: Diagrama de classe do modelo.

De acordo com o diagrama da Figura 5.1, observa-se que a superclasse NÓ apresenta todos os seus atributos (Tabela 5.1) e métodos herdados pelas demais classes (conceito de herança, própria da metodologia de orientação a objetos). Tais atributos e métodos caracterizam a composição mínima dos objetos (nós) da estrutura de indicadores. A classe NÓ-E que representa os nós-conectores, herda atributos (Tabela 5.2) e métodos da superclasse NÓ e seus objetos apresentam arco do tipo *AND*,

relacionando o nó-pai aos seus respectivos filhos. Enquanto que na classe NÓ-SENSOR seus objetos são responsáveis por realizar a leitura de novas aquisições de dados da planta, não possuem filhos e também herda atributos (Tabela 5.3) e métodos da superclasse NÓ.

Tabela 5.1: Atributos da superclasse NÓ.

Nome	Atributo identificador do objeto. O nome do objeto é indicado por um código único.
Texto	Atributo que apresenta o nome real e textual do objeto.
Meta-verde-nota	Valor referência, representativo do bom desempenho para todos os indicadores na escala de notas (Meta-verde-nota = 8)
Meta-vermelha-nota	Valor referência, representativo de desempenho insatisfatório para todos os indicadores na escala de notas (Meta-vermelha-nota = 5)
Meta-verde	Valor referência, representativo do bom desempenho para cada indicador na escala numérica.
Meta-vermelha	Valor de referência, representativo do desempenho insatisfatório para cada indicador na escala numérica.
Nota	Atributo com o valor do indicador na escala de notas.
Melhora	Atributo que indica o sentido para onde o indicador melhora.
Partições-funções-pertinência	Atributo que apresenta uma lista com as cores das partições, seus respectivos domínios e pertinências.
Estado-cor-pertinência	Atributo que apresenta o estado do nó, em cores

	pertinências associados.
Filhos	Atributo em lista contendo o nome dos nós-filhos de um dado nó-pai.
Estado-cor-pertinência-filhos	Atributo que apresenta uma lista com os estados dos nós-filhos, em cores e pertinências, de um dado nó-pai.
Tipo	Atributo que indica a classe da qual o objeto (nó) pertence.
Tipo - Modelo	Atributo que indica o modelo geração de regras nebulosas do qual o objeto deverá ser processado.
Fuzzificação	Atributo que guarda o resultado da operação de fuzzificação.
Regras -Fuzzy	Atributo que guarda as regras nebulosas geradas para o nó.
Parâmetros - MoM	Atributo que guarda dados para o cálculo do valor (MoM) de defuzzificação.
Tamanho - string	Atributo que indica um número de caracteres para o objeto de acordo com a sua posição hierárquica.
Grafo	Atributo que aloca as classes.

Tabela 5.2: Atributos específicos da classe NÓ-E

Arco	Atributo que indica <i>AND</i> como sendo o arco que relaciona o nó-pai com seus respectivos filhos.
------	--

Tabela 5.3: Atributos específicos da classe NÓ-SENSOR

Código – aquisição	Atributo que apresenta um código único para cada objeto do tipo nó-sensor, possibilitando realizar a leitura da nova aquisição desse objeto.
--------------------	--

Ainda na Figura 5.1, nota-se a presença dos métodos denominados AVALIA, PROCESSA-MODELO, PRINTA e RESETA, nas classes definidas. Esses são responsáveis pelas principais funcionalidades do modelo. Como cada nó da estrutura de indicadores pertence a uma das classes, isto significa que cada um deles possui esses métodos e são capazes de realizar os procedimentos neles embutidos. Contudo, é válido ressaltar que os métodos apesar de apresentarem os mesmos nomes e as mesmas funcionalidades para todas as classes, possuem implementações distintas, o que nos permite entender que cada nó realiza um AVALIA, PROCESSA-MODELO, PRINTA e RESETA de acordo com a classe da qual faz parte.

Utilização de métodos com nomes iguais e implementações distintas, foi possível através da utilização do conceito de polimorfismo, próprio da teoria de orientação a objeto e fator de importante contribuição na obtenção de uma codificação concisa para o modelo.

O AVALIA é o principal método, pois é responsável por estabelecer o valor de estado dos nós. Este, em meio ao seu procedimento, dispara o método PROCESSA-MODELO para a geração de regras nebulosas de modo a permitir, mediante um processo de inferência nebuloso, a determinação do estado do nó. Enquanto que os métodos PRINTA e RESETA, permitem a exibição do estado do nó e a preparação dos mesmos para uma nova execução, respectivamente.

Além dos métodos, três funções básicas foram implementados para o modelo, a função GOAL, IMPRIME e RESET-ALL. A função GOAL gerencia o processo de obtenção do estado dos nós, fazendo executar os métodos AVALIA e PROCESSA-MODELO. A função IMPRIME prepara os nós para impressão em tela, mediante a chamada do método PRINTA e a função RESET-ALL que à medida que executa o método RESETA, prepara os nós para uma nova avaliação de seus estados.

A função GOAL, cuja implementação pode ser verificada abaixo e em (SOUTO e SCHIRRU, 2005), merece destaque por ser a grande responsável pelo gerenciamento do processo de inferência do modelo sobre a estrutura de indicadores, permitindo estabelecer através do método AVALIA e PROCESSA-MODELO a cor de cada um dos nós, mediante a execução de regras gerais de classes e nebulosas, num processo encadeado para trás e em profundidade.

```
(defun goal (track)
  (unless (null track)
    (progn
      (setf nodo (car(last track)))
        (nome nodo)
        (avalia nodo)
        (cond ((equal (estado-cor-pertinencia nodo) '(Null))
              (setf track (append track (busca-nodo-pelo-nome (busca-profundidade-esquerda nodo))))))
              ((not(equal (estado-cor-pertinencia nodo) '(Null)))
               (progn
                 (unless (null (cdr track)) (atribui-estado-filho (first (cdr (reverse track))))))
                 (setf track (reverse (cdr (reverse track))))))
               )))
    (goal track) )
```

A GOAL realiza sua operação, basicamente, através da “chamada” do método AVALIA do nó que desenvolve sua execução de acordo com a classe da qual pertence.

Sendo assim, se o nó a ser avaliado for do tipo nó-sensor, ou seja, pertencer à classe NÓ-SENSOR, o método AVALIA deverá executar, a fim de estabelecer o estado deste nó, os seguintes procedimentos:

(1º) Lê o valor de aquisição do nó;

Através do atributo código-aquisição o nó-sensor faz a leitura do seu novo dado de entrada, como o primeiro passo na determinação do seu estado (cor e pertinência).

(2º) Muda valor de aquisição para escala de notas;

Após a leitura do dado de aquisição do nó, é realizada uma mudança de escala (normalização) desse dado numérico para uma escala de notas padrão, utilizada por todos os nós.

Tal escala, apresentada no Capítulo 4, foi definida junto a especialistas que mostravam certeza em classificar que qualquer indicador com nota abaixo de 5 apresentava desempenho insatisfatório e acima de 8 bom desempenho, sendo, portanto, essas faixas representadas pelas cores vermelha e verde, respectivamente, e através de partições não nebulosas. Em contrapartida, as partições amarela e branca se interpõem, apresentando uma região nebulosa. Essa região de nebulosidade se dá pela incerteza dos especialistas em estabelecer faixas de notas precisas para os indicadores com representação de desempenho ruim e com necessidade de aperfeiçoamento.

Estabelecidas às partições, a efetiva nota do indicador a ser obtida após a leitura do novo dado de aquisição se dá por uma relação entre valores referência, seguindo o procedimento descrito no Capítulo 4.

(3º) Fuzzifica nota;

De posse da nota do indicador e das partições, realiza-se o processo de fuzzificação para transformar o valor numérico na forma de nota, em conjuntos

nebulosos. Nesse momento passasse a ter cor(es) com o(s) grau(s) de pertinência(s) respectivo(s).

(4º) Processa modelo (gera cor-resultante e pertinência mínima)

Essa operação é realizada no modelo pelo método PROCESSA-MODELO, disparado pelo AVALIA. Os nós-sensores são portas de entradas para modelo de sistema especialista nebuloso e por esse motivo não faz sentido falar em geração de regras nebulosas para esses nós, sendo o método PROCESSA-MODELO nesse caso, utilizado não para geração de regras nebulosas, mais sim para a determinação do que se denominou cor-resultante e pertinência mínima associada, gerada utilizando uma filosofia semelhante ao da construção de regras nebulosas do modelo.

A cor-resultante seria a aplicação do tipo-modelo do nó (conservativo, proporcional, determinístico ou especialista) na(s) cor(es) e pertinência(s) gerada(s) pela fuzzificação (e não nas cores antecedentes dos filhos, no caso dos nós-conectores) para determinar o estado final do mesmo.

Fazendo uma analogia ao método PROCESSA-MODELO dos nós-conectores, pode-se dizer que a(s) cor(es) e pertinência(s) frutos da fuzzificação funcionam como espécies de cor(es) e pertinência(s) antecedente(s), enquanto que a cor-resultante e pertinência mínima, faz o papel da cor e pertinência consequente de uma regra nebulosa, gerada de acordo com o modelo do nó.

A geração da cor-resultante e pertinência (no caso dos nós-sensores) ocorre através da aplicação da filosofia dos modelos conservativo, proporcional, determinístico e especialista, explicada com clareza no método PROCESSA-MODELO da classe NÓ-E.

(5º) Atualiza o estado do nó com a cor-resultante e pertinência mínima associada.

Nessa fase o modelo apenas faz o atributo estado-cor-pertinência do nó-sensor receber o valor cor-resultante e pertinência mínima encontrada na operação anterior, obtendo-se, finalmente, o estado do nó-sensor.

Tendo obtido o estado (cor-pertinência) do nó, o método AVALIA retorna para a função GOAL que segue o processamento determinando outros nós até obter o estado do nó-raiz que disparou o processo.

No caso da função GOAL chamar o método AVALIA para um nó-conector, ou seja, pertencente classe NÓ-E, os procedimentos a serem realizados para a atribuição do estado do mesmo, são:

(1º) Processa modelo (gera regras nebulosas);

O método PROCESSA-MODELO dos nós-conectores, assim como nos nós-sensores também é disparado pelo método AVALIA, porém destina-se a geração de regras nebulosas para o modelo de sistema especialista nebuloso.

Os antecedentes das regras nebulosas são gerados pela combinação dos estados dos nós-filhos, enquanto que o conseqüente das regras é formado de acordo com o tipo-modelo do nó, a partir dos antecedentes, como descrito abaixo:

- Modelo Conservativo: Verifica as cores presentes no antecedente da regra e faz valer como conseqüente aquela representa maior gravidade, ou seja, a cor que indica pior grau de desempenho de acordo com a escala sugerida pela AIEA (vermelha, amarelo, branco e verde). Enquanto que a pertinência associada à cor conseqüente é a mínima dentre as pertinências presentes nos antecedentes.

- Modelo Proporcional: Verifica as cores presentes no antecedente da regra, fazendo valer como cor conseqüente, àquela que corresponde a uma das proporções estabelecidas para cada cor de desempenho, sendo testadas em uma prioridade

conservativa. As proporções e suas ordens de prioridade definidas para o modelo proporcional, foram as seguintes: Se o número de cores vermelhas no antecedente for maior ou igual a 15%, a cor conseqüente é vermelha e a pertinência correspondente é a mínima dentre às presentes no antecedente. Caso não seja vermelha, verifica-se o número de amarelas (considerando possível presença de vermelhas). Se o percentual de amarela for maior ou igual a 25% a cor conseqüente é amarela e a pertinência associada é a mínima. Caso não seja vermelha, nem amarela, verifica se o número de brancas (considerando presenças de vermelhas e amarelas) é maior ou igual a 35%. Sendo, a cor conseqüente é branca, com pertinência mínima. Caso não seja vermelha, amarela nem branca e se o percentual de verde (considerando a presença das demais cores) for maior ou igual a 50%, a cor conseqüente é verde, com pertinência mínima associada.

- Modelo Determinístico: Verifica as cores presentes no antecedente, associando peso 4, 3, 2 e 1 para as cores vermelha, amarela, branca e verde, respectivamente e realiza uma média ponderada entre os pesos representativos das cores dos nós-filhos e suas respectivas notas. Calculado o resultado da média ponderada, tem-se a cor conseqüente e a pertinência é a mínima dentre às presentes no antecedente.

- Modelo Especialista: A cor conseqüente é fruto de uma escolha dos especialistas, baseada nas cores antecedentes. Para isto o modelo interrompe a execução momentaneamente, apresenta os indicadores antecedentes com suas respectivas cores e aguarda a indicação por parte do especialista da cor conseqüente. Apenas quando essa indicação é efetivada a execução prossegue.

Após a geração das regras nebulosas, as mesmas são disparadas na partição do próprio nó-conector em questão (nó responsável pelo disparo do método), gerando uma área nessa partição de saída para posterior processo de defuzzificação.

(2º) Defuzzifica (nota \leftarrow MoM);

Com o resultado do disparo das regras nebulosas na partição do nó, um valor numérico único é calculado, através do método de defuzzificação média dos máximos (MoM). O valor numérico resultado da defuzzificação é representativo da área gerada na partição de saída, fruto das regras nebulosas geradas a partir dos valores de entrada do nó. O modelo de sistema especialista nebuloso atualiza o atributo nota do nó-conector pelo valor numérico da defuzzificação. Desta maneira a saída dos nós-filhos (valor numérico da defuzzificação) passa a ser entrada (nota) do nó-pai.

(3º) Fuzzifica nota;

Com a nota do nó-conector, o modelo realiza o processo de fuzzificação, transformando o valor da nota em conjuntos nebulosos. Nesse momento tem-se a(s) cor(es) e a(s) pertinência(s) correspondente a nota de entrada.

(4º) Atualiza o estado do nó com a cor e pertinência resultante da fuzzificação;

Nessa fase o modelo apenas faz o atributo estado-cor-pertinência do nó-conector receber a cor e a pertinência resultante da fuzzificação, encontrada na operação anterior, obtendo-se finalmente o estado do nó-conector.

Note que a GOAL é uma função recursiva e que no senso convencional de programação, apresenta uma codificação bastante concisa, sendo capaz de realizar a atribuição do estado de um dado nó-raiz, através da atribuição do estado dos demais nós posicionados em níveis inferiores na estrutura de grafo.

A Figura 5.3 abaixo explica melhor a codificação da GOAL através de um fluxograma representativo da mesma.

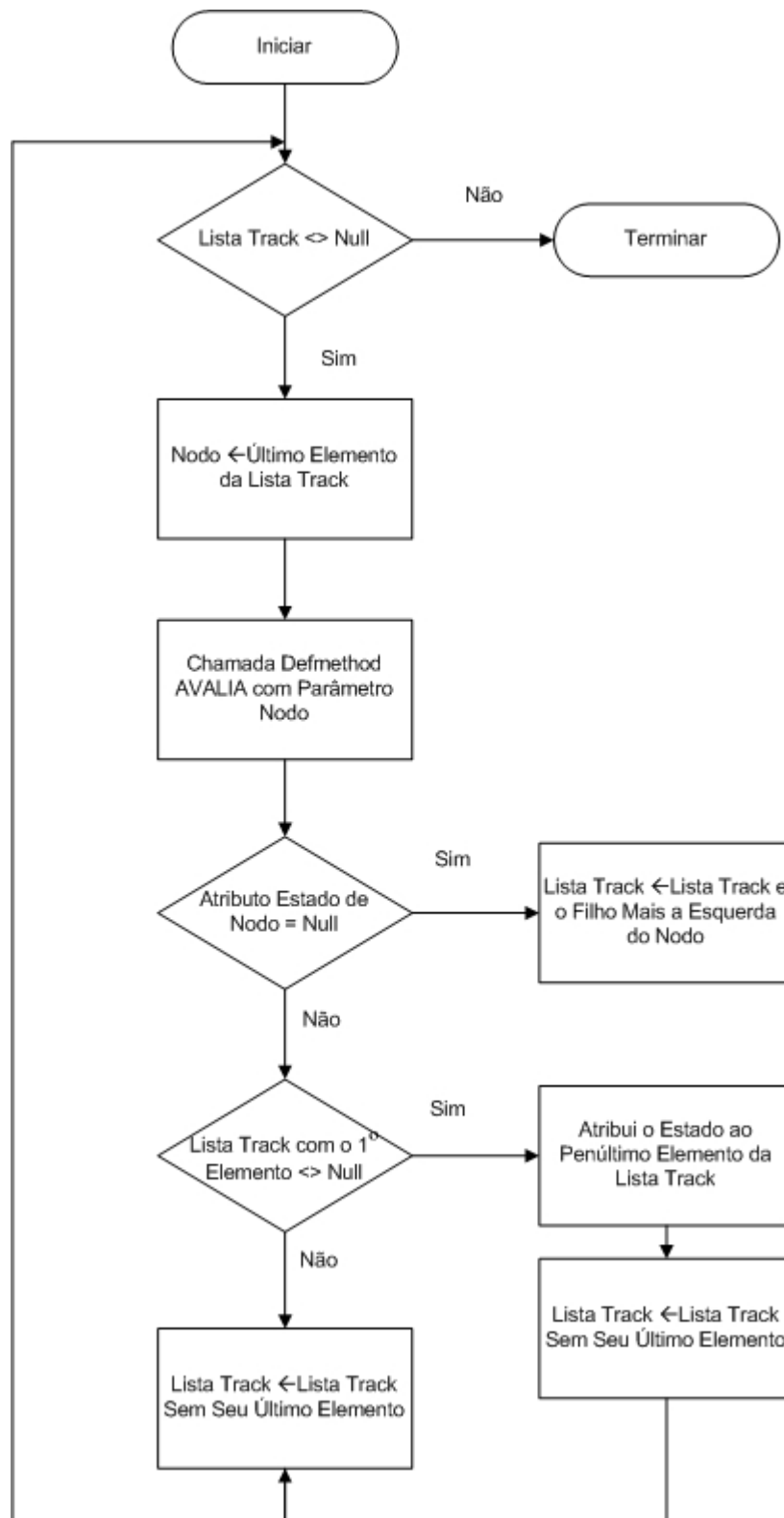


Figura 5.3: Fluxograma representativo da função GOAL

Capítulo 6

Ambiente de Teste - Sistema de Monitoração de Desempenho

Após definida e implementada a base do Sistema de Monitoração de Desempenho e o conhecimento a ser manipulado, desenvolveu-se um ambiente de teste para o mesmo, com a finalidade de verificar e validar seu funcionamento, seja do ponto de vista de abrangência seja do ponto de vista de desempenho computacional.

O ambiente de teste construído apresenta-se de forma simples, mas permite demonstrar o funcionamento do sistema, diante da estrutura de indicadores elaborada para a usina de Angra 2, possibilitando uma melhor visualização e análise dos resultados por especialistas no intuito de avaliar o mesmo.

O sistema inicia “carregando” o conhecimento a ser manipulado pelo motor de inferência. Essa operação, no ambiente de teste, dá-se mediante o acionamento do botão INICIAR contido na tela de iniciação, como se verifica na Figura 6.1. Tal botão carrega o grafo da estrutura de indicadores da aplicação e em seguida aciona a tela da Figura 6.2 da qual o usuário deverá indicar o tipo-modelo de cada índice.

Apenas a título de ilustração, suponha que a estrutura de indicadores seja o grafo apresentado na Figura 4.1, ao acionar o botão INICIAR, os elementos que compõem essa estrutura serão carregados e armazenados pelo sistema.



Figura 6.1: Tela de iniciação do sistema.

A tela representada pela Figura 6.2 apresenta inicialmente todos os indicadores da estrutura de conhecimento como do tipo modelo conservativo. A partir do qual cabe ao especialista reorganizar, relacionando os índices aos modelos da forma que julgar mais adequada e posteriormente confirmar sua definição através do acionamento do botão GRAVAR, presente nesta tela.

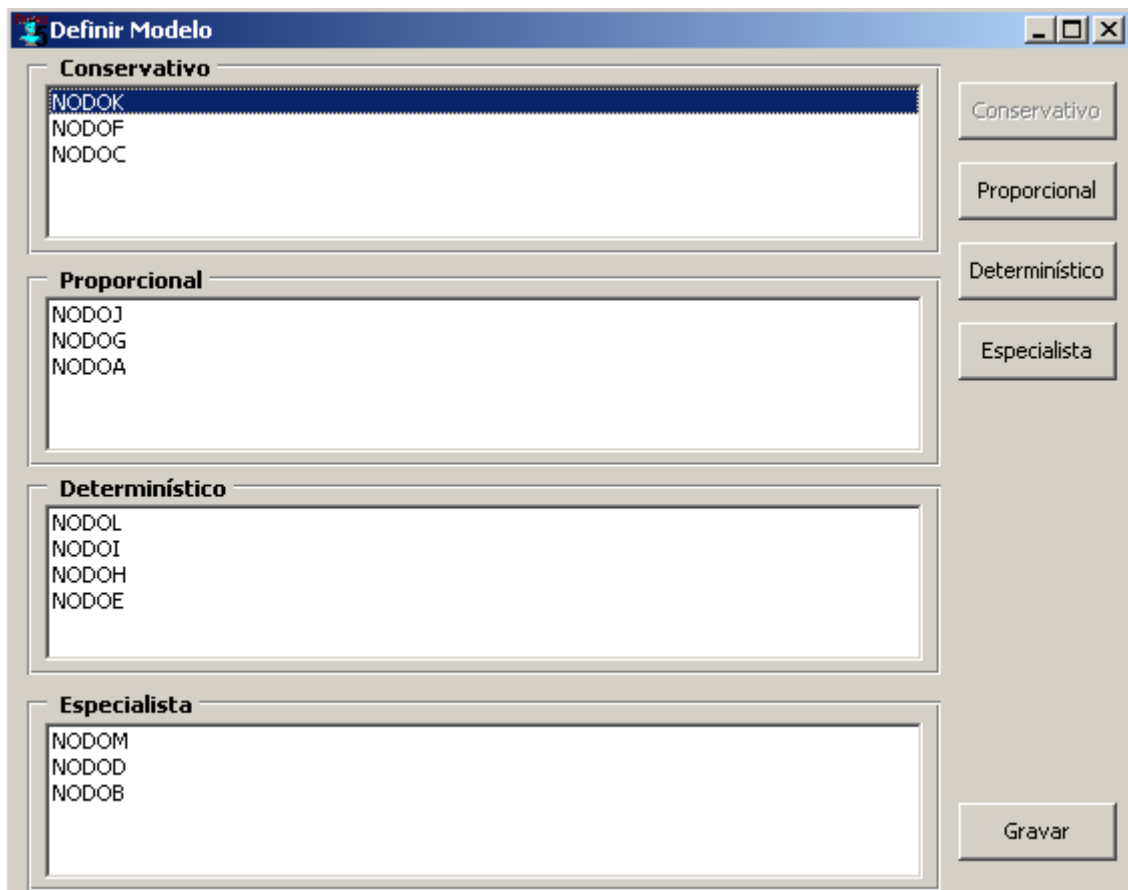


Figura 6.2: Tela de definição de modelo.

Sequencialmente o botão GRAVAR, da Figura 6.2, dispara a tela apresentada na Figura 6.3, para a determinação por parte do usuário, do índice que deseja analisar e posteriormente verificar o resultado final apresentado pelo processamento do sistema relativo a tal índice.

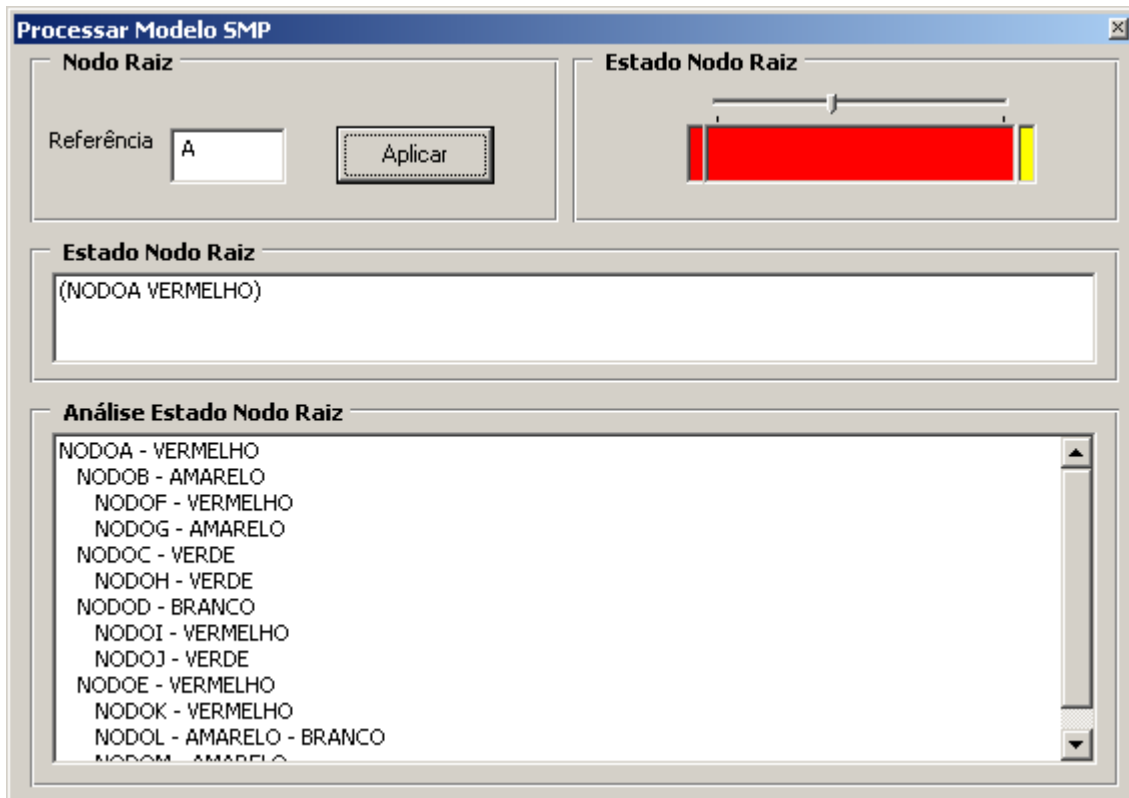


Figura 6.3: Tela de processamento do sistema.

Como mencionado anteriormente, o sistema permite analisar qualquer elemento da estrutura de indicadores através, apenas, da indicação do índice que retrata o objetivo do especialista. Desta forma, o usuário poderá indicar a referência de qualquer índice que componha a estrutura de indicadores e após o processamento do motor de inferência terá seu *status* (cor) estabelecido para o mesmo, bem como, o *status* de todos os indicadores hierarquicamente inferiores ao escolhido, responsáveis pelo seu resultado.

Tanto a indicação da referência do índice, como a análise do seu resultado pode se verificar na Figura 6.3.

Caso a opção o usuário, na tela da Figura 6.2, tenha sido modelo especialista para algum dos índices (*nó-And*) da estrutura de conhecimento, o processamento do motor de inferência será interrompido, durante a avaliação deste índice, para a formação da(s) sua(s) regra(s) nebulosa(s), através da tela representada pela Figura 6.4 que de acordo com o modelo especialista, solicita ao usuário a indicação da(s) cor(es)

conseqüente(s) para as regras do nó-*And* a partir da(s) cor(es) do(s) seu(s) filho(s), retomando o processamento após tal indicação.

The screenshot shows a software window titled "Gerar Regras Fuzzy - Modelo Especialista". It is divided into four sections:

- Indicadores Antecedentes - Estado:** A text area containing the text "(NODOF VERMELHO)" and "(NODOG AMARELO)".
- Indicador Consequente:** A text area containing the text "(NODOB)".
- Estado para Indicador Consequente:** A section with four radio buttons labeled "Vermelho", "Amarelo", "Branco", and "Verde". The "Amarelo" radio button is selected.
- Criar Nova Regra:** A section with a label "Regra Número:" followed by a text box containing the number "1", a "Gerar Regra" button, and a "Gravar" button.

Figura 6.4: Tela para geração de regras nebulosas do modelo especialista.

Diversos testes foram realizados, inicialmente com estruturas de indicadores hipotéticas e posteriormente com a estrutura de indicadores real elaborada para a usina de Angra 2. No que relaciona as estruturas de indicadores hipotéticas, é descrito abaixo o teste realizado para avaliar o *status* do sistema de refrigeração da usina Angra 2 no período de abril de 2004. Tal teste é merecedor de destaque, por possuir subsídios de comparação com outro trabalho (Estimativa manual de avaliação de desempenho, elaborado por especialistas da própria usina para o problema – Sistema de Refrigeração, abril de 2004). No que tange a estrutura de indicadores real construída para Angra 2, são apresentados na seqüência dois casos exemplos que destacam-se por terem sido trabalhados com dados que refletem a realidade da usina, retratando o desempenho da

usina nos meses de janeiro e maio de 2005 e cujos resultados foram avaliados por especialistas.

6.1 – Sistema de Refrigeração – Abril 2004

Em abril de 2004 foi realizado, por especialistas da usina Angra 2, uma avaliação do desempenho de alguns sistemas da usina, dentre os quais ressalta-se o sistema de refrigeração que foi escolhido como um objeto definido para ter seus resultados comparados com os apresentados pelo Sistema de Monitoração de Desempenho.

O trabalho realizado pelos especialistas em abril de 2004, tratou-se de uma avaliação numérica, da qual os valores dos indicadores foram mapeados em notas – cores de acordo com a seguinte gradação:

[0 5[→ Vermelha;

[5 7[→ Amarela;

[7 8[→ Branca; e

[8 10] → Verde.

Para a agregação dos indicadores nessa avaliação, foi utilizado um processo numérico, representado por uma média ponderada entre as notas e os pesos das cores dos indicadores envolvidos. Para as cores vermelha, amarela, branca e verde foram estabelecidos os pesos 4, 3, 2 e 1, respectivamente.

O modelo determinístico implementado no Sistema de Monitoração de Desempenho faz uma analogia a essa avaliação realizada em 2004 por especialistas, de forma a permitir uma comparação, objetivando avaliar o sistema.

Os indicadores e classes utilizados nesta avaliação, referente ao sistema de refrigeração, foram transformados em grafo, colocando-os em ordem hierárquica de como foi procedida à avaliação e de forma a ser utilizado como uma estrutura de

indicadores para o Sistema de Monitoração de Desempenho. Tais dados e seus resultados de desempenho em cores referentes à avaliação dos especialistas em abril de 2004, são apresentados abaixo, tendo como resultado principal, para o indicador sistema de refrigeração a cor amarela:

Sistema de refrigeração - Amarela

Operador *workaround* refrigeração - Verde

Operador *workaround* PAA - Verde

Operador *workaround* PAB - Verde

Operador *workaround* PAC - Verde

Operador *workaround* PEB - Verde

Operador *workaround* PEC - Verde

Simulação de I&C refrigeração - Branca

Simulação de I&C PAA - Verde

Simulação de I&C PAB - Verde

Simulação de I&C PAC - Amarela

Simulação de I&C PEB - Verde

Simulação de I&C PEC - Verde

SMTS instaladas refrigeração - Branca

SMTS instaladas PAA - Verde

SMTS instaladas PAB - Verde

SMTS instaladas PAC - Verde

SMTS instaladas PEB - Amarela

SMTS instaladas PEC - Branca

Walkdown refrigeração - Verde

Walkdown PAA - Verde

Walkdown PAB - Verde

Walkdown PAC - Verde

Walkdown PEB - Verde

Walkdown PEC - Verde

Alarmes atuados refrigeração - Verde

Alarmes atuados PAA - Verde

Alarmes atuados PAB - Verde

Alarmes atuados PAC - Verde

Alarmes atuados PEB - Verde

Alarmes atuados PEC - Verde

Controladores em manual refrigeração - Verde

Controladores em manual PAA - Verde

Controladores em manual PAB - Verde

Controladores em manual PAC - Verde

Controladores em manual PEB - Verde

Controladores em manual PEC - Verde

Vazamentos externos refrigeração - Amarela

Vazamentos externos PAA - Verde

Vazamentos externos PAB - Verde

Vazamentos externos PAC - Verde

Vazamentos externos PEB - Amarela

Vazamentos externos PEC - Verde

CLOS não planejadas refrigeração - Verde

CLOS não planejadas PAA - Verde

CLOS não planejadas PAB - Verde

CLOS não planejadas PAC - Verde

CLOS não planejadas PEB - Verde

CLOS não planejadas PEC - Verde

Cartões amarelos refrigeração - Verde

Cartões amarelos PAA - Verde

Cartões amarelos PAB - Verde

Cartões amarelos PAC - Verde

Cartões amarelos PEB - Verde

Cartões amarelos PEC - Verde

Desempenho do programa de manutenção refrigeração - Amarela

Desempenho do programa de manutenção PAA - Verde

Desempenho do programa de manutenção PAB - Verde

Desempenho do programa de manutenção PAC - Verde

Desempenho do programa de manutenção PEB - Verde

Desempenho do programa de manutenção PEC - Vermelha

Backlog preventiva refrigeração - Vermelha

Backlog preventiva PAA - Vermelha

Backlog preventiva PAB - Vermelha

Backlog preventiva PAC - Verde

Backlog preventiva PEB - Vermelha

Backlog preventiva PEC - Vermelha

Backlog corretiva refrigeração - Vermelha

Backlog corretiva PAA - Vermelha

Backlog corretiva PAB - Vermelha

Backlog corretiva PAC - Vermelha

Backlog corretiva PEB - Vermelha

Backlog corretiva PEC - Verde

Backlog classificação refrigeração - Branca

Backlog classificação PAA - Verde

Backlog classificação PAB - Verde

Backlog classificação PAC - Amarela

Backlog classificação PAB - Verde

Backlog classificação PAC – Branca

Ao ser aplicado as mesmas condições de abril de 2004 para o modelo determinístico do Sistema de Monitoração de Desempenho que fazendo uma analogia a avaliação dos especialistas, confirmou-se o resultado apresentado (Figura 6.5), ou seja, a mesma cor amarela do processo manual, para o desempenho do sistema de refrigeração.

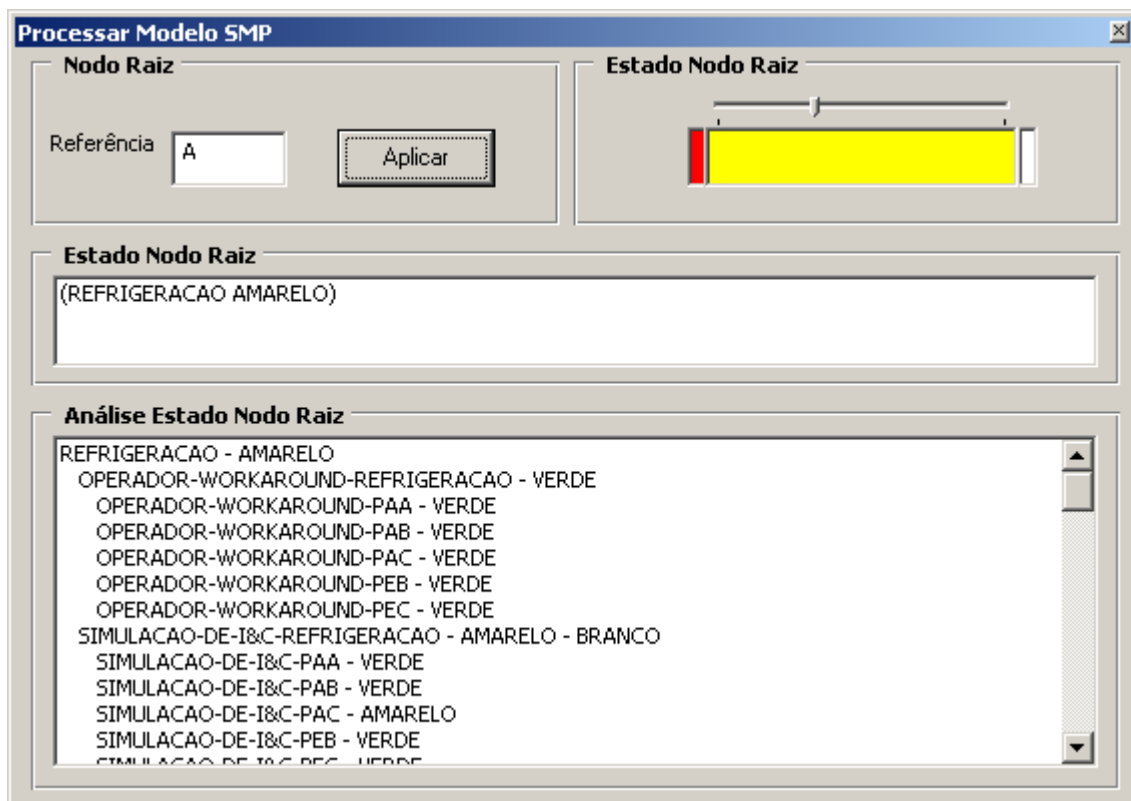


Figura 6.5: Resultado do desempenho do sistema de refrigeração de Angra 2 em abril de 2004 - Modelo determinístico.

No modelo especialista foi confirmado o mesmo resultado (cor amarela), como se verifica na Figura 6.6.

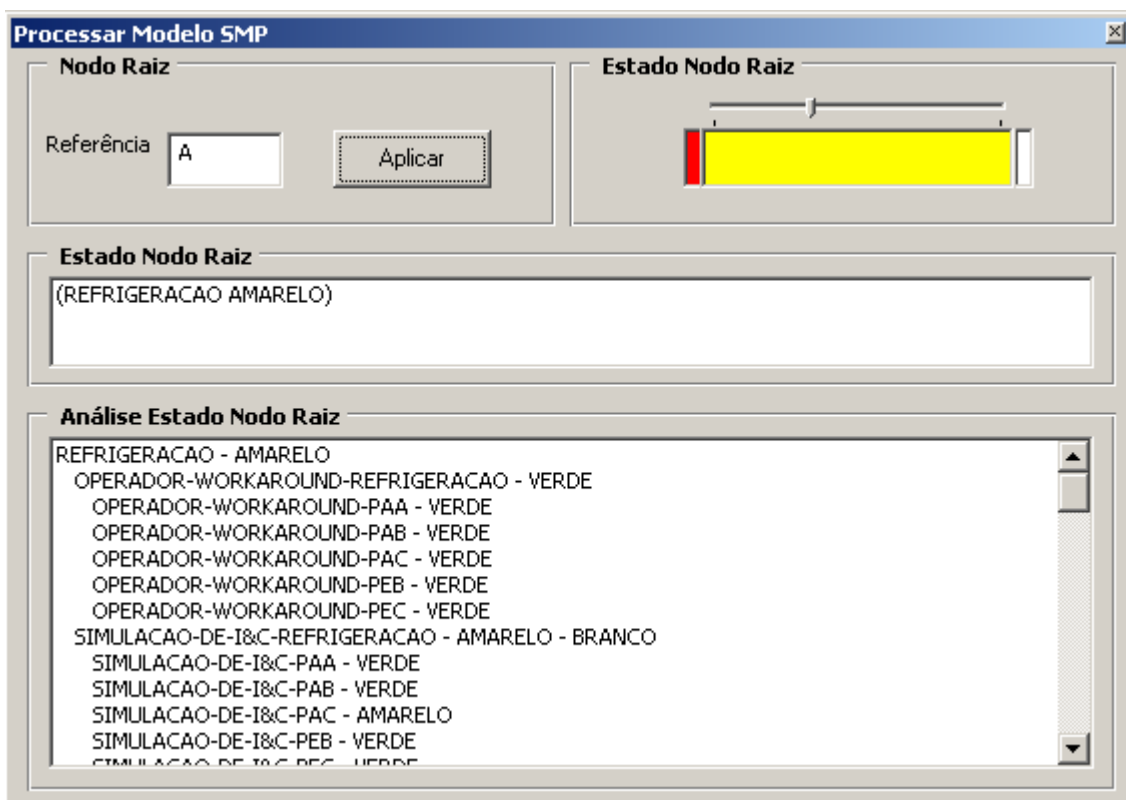


Figura 6.6: Resultado do desempenho do sistema de refrigeração de Angra 2 em abril de 2004 - Modelo especialista.

Os modelos conservativo e proporcional apresentaram como resultado a cor vermelha, fato já esperado, uma vez que os citados modelos realizam avaliação de forma mais rigorosa, como pode ser observado nas Figuras 6.7 e 6.8, respectivamente.

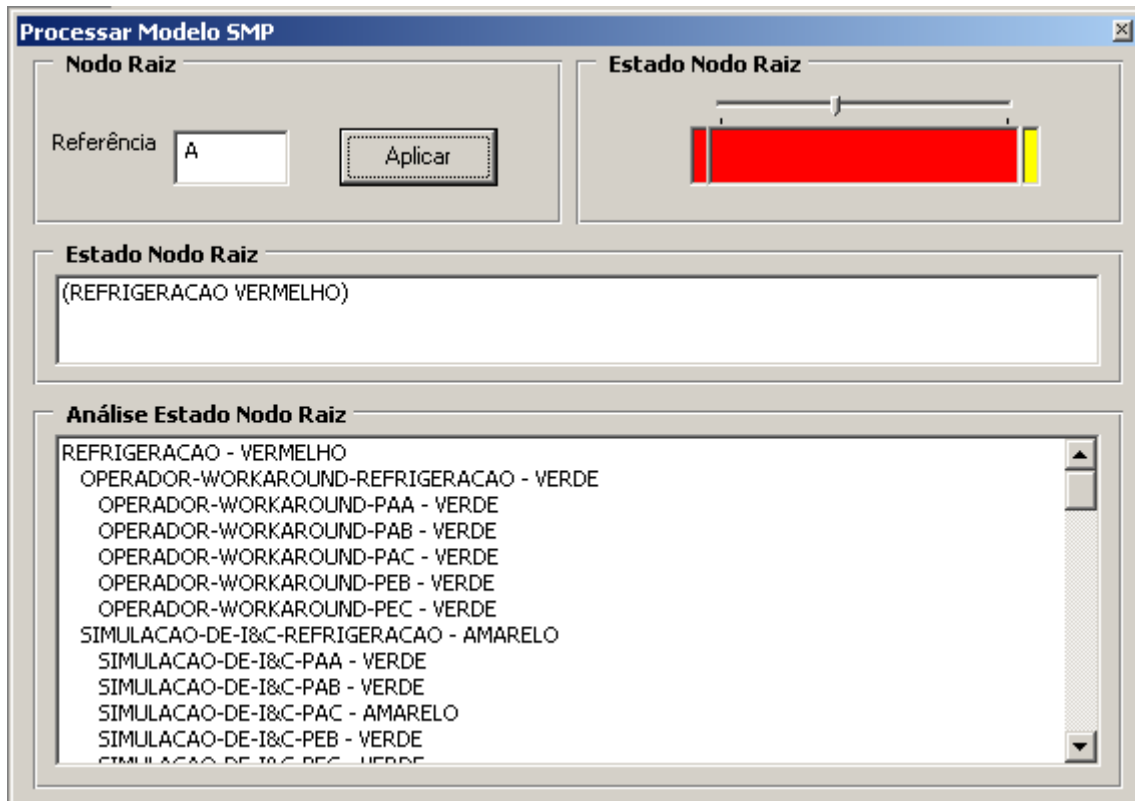


Figura 6.7: Resultado do desempenho do sistema de refrigeração de Angra 2 em abril de 2004 - Modelo conservativo.

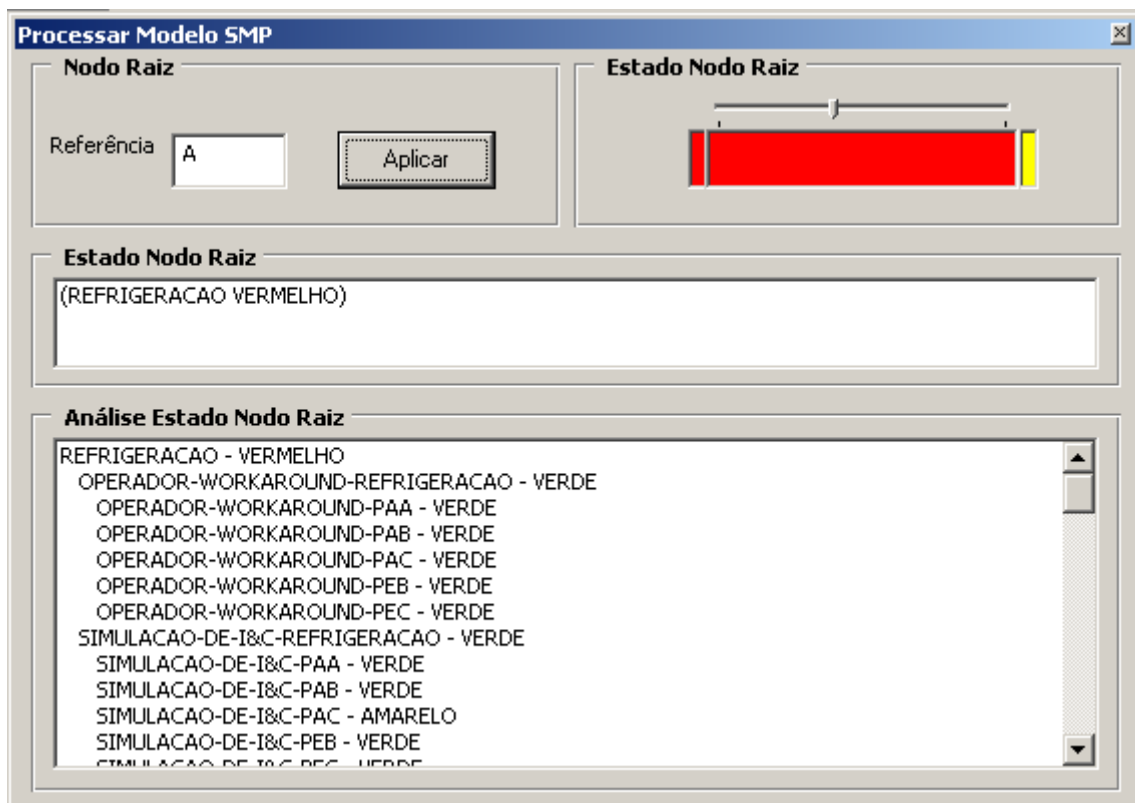


Figura 6.8: Resultado do desempenho do sistema de refrigeração de Angra 2 em abril de 2004 - Modelo proporcional.

O modelo determinístico realiza uma avaliação, utilizando um tratamento numérico, traduzido por uma média ponderada, enquanto o modelo especialista traz uma flexibilidade maior em relação aos demais modelos, permitindo ao próprio usuário estabelecer paulatinamente às cores para cada indicador. Já o conservativo é o que faz a verificação mais rigorosa dos índices e finalmente o modelo proporcional realiza uma avaliação, também rigorosa, baseada em percentuais.

A Tabela 6.1 traz um resumo dos resultados da avaliação de desempenho do sistema de refrigeração para as condições de abril de 2004, obtidos pela avaliação manual dos especialistas e pelo Sistema de Monitoração de Desempenho, através dos modelos determinístico, especialista, conservativo e proporcional, respectivamente.

Tabela 6.1: Resultados referentes ao desempenho do sistema de refrigeração – abril 2004

Indicadores	Avaliação especialista	Determinístico	Especialista	Conservativo	Proporcional
Sistema de refrigeração	Amarela	Amarela	Amarela	Vermelha	Vermelha
Operador <i>workaround</i> refrigeração	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde
Operador <i>workaround</i> PAA	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde
Operador <i>workaround</i> PAB	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde
Operador <i>workaround</i> PAC	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde
Operador <i>workaround</i> PEB	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde

Operador <i>workaround</i> PEC	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde
Simulação de I&C refrigeração	Branca	Amarela e Branca	Amarela e Branca	Amarela	Verde
Simulação de I&C PAA	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde
Simulação de I&C PAB	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde
Simulação de I&C PAC	Amarela	Amarela	Amarela	Amarela	Amarela
Simulação de I&C PEB	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde
Simulação de I&C PEC	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde
SMTS instaladas refrigeração	Branca	Amarela e Branca	Amarela e Branca	Amarela	Amarela
SMTS instaladas PAA	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde
SMTS instaladas PAB	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde
SMTS instaladas PAC	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde
SMTS instaladas PEB	Amarela	Amarela	Amarela	Amarela	Amarela
SMTS instaladas PEC	Branca	Amarela e Branca	Amarela	Amarela	Amarela
<i>Walkdown</i> refrigeração	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde
<i>Walkdown</i> PAA	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde
<i>Walkdown</i> PAB	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde
<i>Walkdown</i> PAC	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde
<i>Walkdown</i> PEB	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde
<i>Walkdown</i> PEC	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde
Alarmes atuados refrigeração	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde
Alarmes atuados PAA	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde
Alarmes atuados PAB	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde
Alarmes atuados PAC	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde
Alarmes atuados PEB	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde
Alarmes atuados PEC	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde
Controlador	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde

em manual refrigeração					
Controlador em manual PAA	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde
Controlador em manual PAB	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde
Controlador em manual PAC	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde
Controlador em manual PEB	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde
Controlador em manual PEC	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde
Vazamentos externos refrigeração	Amarela	Amarela e Branca	Amarela e Branca	Amarela	Verde
Vazamentos externos PAA	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde
Vazamentos externos PAB	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde
Vazamentos externos PAC	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde
Vazamentos externos PEB	Amarela	Amarela	Amarela	Amarela	Amarela
Vazamentos externos PEC	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde
CLOS não planejadas refrigeração	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde
CLOS não planejadas PAA	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde
CLOS não planejadas PAB	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde
CLOS não planejadas PAC Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde
CLOS não planejadas PEB	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde
CLOS não planejadas PEC	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde
Cartões amarelos refrigeração	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde
Cartões amarelos PAA	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde
Cartões amarelos PAB	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde
Cartões amarelos PAC	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde
Cartões	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde

amarelos PEB					
Cartões amarelos PEC	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde
Desempenho do programa de manutenção refrigeração	Amarela	Amarela	Amarela	Vermelha	Vermelha
Desempenho do programa de manutenção PAA	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde
Desempenho do programa de manutenção PAB	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde
Desempenho do programa de manutenção PAC	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde
Desempenho do programa de manutenção PEB	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde
Desempenho do programa de manutenção PEC	Vermelha	Vermelha	Vermelha	Vermelha	Vermelha
<i>Backlog</i> preventiva refrigeração	Vermelha	Vermelha	Vermelha	Vermelha	Vermelha
<i>Backlog</i> preventiva PAA	Vermelha	Vermelha	Vermelha	Vermelha	Vermelha
<i>Backlog</i> preventiva PAB	Vermelha	Vermelha	Vermelha	Vermelha	Vermelha
<i>Backlog</i> preventiva PAC	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde
<i>Backlog</i> preventiva PEB	Vermelha	Vermelha	Vermelha	Vermelha	Vermelha
<i>Backlog</i> preventiva PEC	Vermelha	Vermelha	Vermelha	Vermelha	Vermelha
<i>Backlog</i> corretiva refrigeração	Vermelha	Vermelha	Vermelha	Vermelha	Vermelha
<i>Backlog</i> corretiva PAA	Vermelha	Vermelha	Vermelha	Vermelha	Vermelha
<i>Backlog</i> corretiva PAB	Vermelha	Vermelha	Vermelha	Vermelha	Vermelha
<i>Backlog</i> corretiva PAC	Vermelha	Vermelha	Vermelha	Vermelha	Vermelha
<i>Backlog</i> corretiva PEB	Vermelha	Vermelha	Vermelha	Vermelha	Vermelha
<i>Backlog</i> corretiva PEC	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde

<i>Backlog</i> classificação refrigeração	Branca	Amarela e Branca	Amarela e Branca	Amarela	Amarela
<i>Backlog</i> classificação PAA	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde
<i>Backlog</i> classificação PAB	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde
<i>Backlog</i> classificação PAC	Amarela	Amarela	Amarela	Amarela	Amarela
<i>Backlog</i> classificação PEB	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde
<i>Backlog</i> classificação PEC	Branca	Amarela e Branca	Amarela	Amarela	Amarela

Comparando os resultados obtidos, mediante a Tabela 6.1, para cada indicador que compõe a estrutura da avaliação do sistema de refrigeração, observa-se uma certa similaridade dentre os resultados fornecidos pelos modelos determinístico e especialista e a avaliação/estimativa realizada manualmente por especialista da usina. As principais diferenças estão na presença das cores amarela e branca simultaneamente para os indicadores: Simulação de I&C refrigeração, SMTS instaladas refrigeração, SMTS instaladas PEC, Vazamentos externos refrigeração, *Backlog* classificação refrigeração e *Backlog* classificação PEC, presentes nos resultados apresentados pelo modelo determinístico. Isto ocorre devido à utilização de conjuntos nebulosos para as partições amarela e branca, usadas no Sistema de Monitoração de Desempenho e que não foi levado em consideração na avaliação manual dos especialistas.

Na Tabela 6.1 pode-se, ainda, observar a presença de cores indicativas de desempenho mais grave, nos resultados apresentados pelos modelos conservativo e proporcional, o que mostra um maior rigor por parte destes modelos no processo de avaliação, conforme o esperado.

Comparando o Sistema de Monitoração de Desempenho e o processo de avaliação de desempenho manual, foram observadas as seguintes vantagens no processo automatizado:

(1) - Uma simples análise numérica realizada manualmente por especialistas, para avaliar desempenho, como no caso do ocorrido no sistema de refrigeração, não substitui a real necessidade de implementação de um sistema inteligente para este fim, haja vista que diante de um problema complexo, com um número elevado de indicadores, como no caso de monitoração do desempenho de toda uma usina nuclear, realizar uma análise manual tornaria a tarefa extremamente demorada e susceptível a erros. Enquanto que um sistema inteligente, como o caso do Sistema de Monitoração de Desempenho, realizaria a mesma tarefa rapidamente ou até mesmo em tempo real;

(2) - O Sistema de Monitoração de Desempenho fornece quatro modelos distintos de processamento, cabendo ao especialista apenas escolher para a avaliação de cada um dos indicadores, de acordo com a ótica que considerar mais adequada;

(3) - O sistema apresenta como resultado a cor do indicador referência pesquisado, sua indicação de tendência, bem como a cor de todos os demais índices hierarquicamente abaixo;

(4) - Permite a flexibilidade da escolha de qualquer índice da estrutura de conhecimento como referência, para que possa ter seu *status* pesquisado;

(5) - O sistema trabalha com conhecimento nebuloso, sendo capaz de gerenciar incertezas inerentes ao problema traduzido por um maior realismo nos resultados; e

(6) - Por se tratar de um sistema especialista, os resultados apresentados vêm de um processo automatizado que parte da agregação do conhecimento de diversos especialistas, não de um julgamento individual que pode muitas das vezes ser não validado.

Diante dos resultados obtidos nos diversos testes realizados com estruturas de indicadores hipotéticas, em especial os que se referem ao desempenho do sistema de refrigeração de Angra 2, vários outros testes foram elaborados, estes com a estrutura de indicadores construída para Angra 2 (Capítulo 4 e Anexo A). Dentre os quais se destacam os casos exemplos descritos a seguir, por terem sido trabalhados com dados que refletem a realidade da usina e validados por especialistas.

6.2 – Caso Exemplo – Janeiro 2005

Durante o mês de janeiro de 2005, à usina nuclear Angra 2 encontrava-se parada no que diz respeito a sua atividade fim e por este motivo, dados que refletem a realidade da usina relacionados a este mês, foram coletados para cada indicador específico da estrutura de indicadores, de forma a possibilitar uma análise do desempenho da usina neste período, por parte do Sistema de Monitoração de Desempenho e uma posterior avaliação dos resultados pelos especialistas.

Os dados (meta-verde, meta-vermelha e valor aquisição) utilizados para cada indicador específicos relativo ao mês de janeiro de 2005, podem ser verificados no Anexo B.

Todas as etapas do processamento para a obtenção automática do desempenho da usina foram acompanhadas e analisadas por especialistas. Tais etapas do processamento podem ser verificadas abaixo:

Inicialmente a estrutura de indicadores foi carregada dando início à execução do sistema e ativando a tela para definição do tipo-modelo de cada um dos indicadores, por parte dos especialistas. Sendo assim, os indicadores ficaram distribuídos dentre os modelos, da forma como descrito a seguir e apresentado na Figura 6.9.

Modelo Conservativo: Desempenho de segurança operacional, usina opera sem problemas, usina opera com baixo risco, usina opera com atitude positiva de segurança,

eventos relatados, eventos, desempenho operacional, risco durante desligamento, risco de configuração da planta, auto-avaliação, *feedback* de experiência em operação e busca por aperfeiçoamento e todos os indicadores específicos.

Modelo Proporcional: Ordem emitidas de trabalho corretivo, estado das barreiras, condições das estruturas, sistemas e componentes, reduções e interrupções forçadas de energia, desempenho dos sistemas de segurança, estado de preparação dos operadores, estado de preparação de emergência e habilidade da planta em responder desafios.

Modelo Determinístico: Desafios atuais, desafios potenciais, desafios aos sistemas de segurança, cumprimento de procedimentos, regras e requisitos de licenciamento, atitude em relação a procedimentos, políticas e regras, eficiência do programa de proteção radiológica, desempenho humano, *backlog* de casos relacionados à segurança e atitude em relação à segurança.

Modelo Especialista: Anúncio/informações de segurança, risco durante operação, incidentes significativos e condição material.

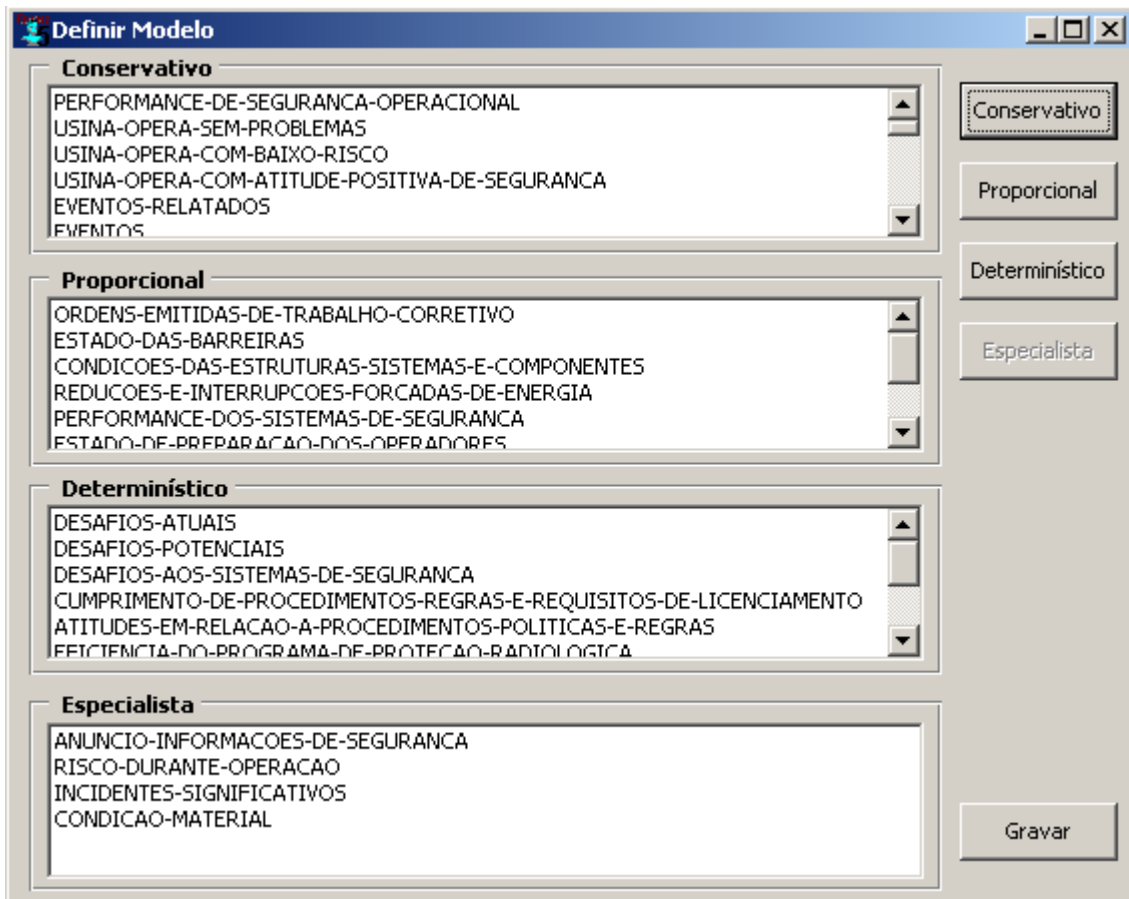


Figura 6.9: Distribuição dos indicadores x modelos

Em seguida foi realizada a indicação do nó referência (IP1) – Desempenho de Segurança Operacional, na tela da Figura 6.10, para a obtenção da cor representativa do desempenho da usina, durante o mês de janeiro de 2005, mediante o processamento do sistema sob a estrutura de indicadores de Angra 2.

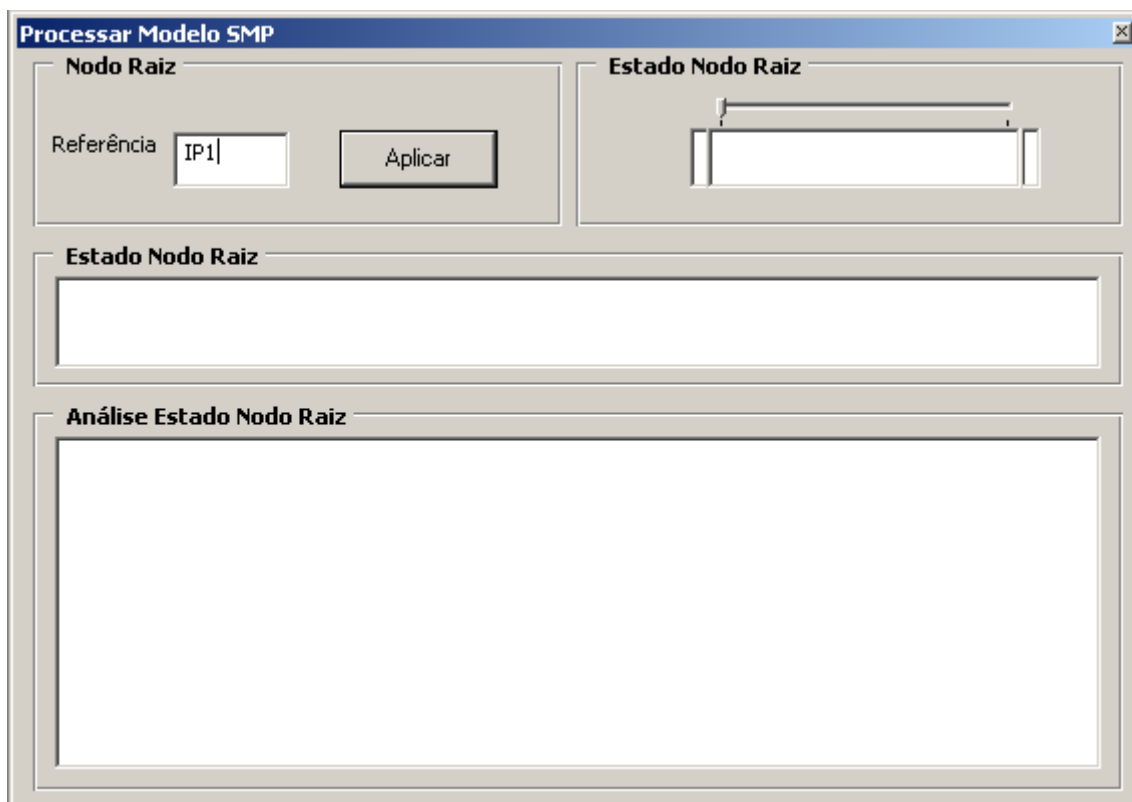


Figura 6.10: Indicação do nó-referência - Desempenho de Segurança Operacional.

Durante a execução do motor de inferência, o mesmo foi temporariamente interrompido por quatro vezes para a indicação por parte do usuário da(s) cor(es) conseqüente(s) no processo de formação da(s) regra(s) nebulosa(s) dos nós-*And* indicados como modelo especialista como visto na Figura 6.9.

Desta forma, para o nó-*And* Condição Material do tipo modelo especialista, cujos filhos são: Indicador químico, *wokaround* de operadores, vazamentos identificados e volume de efluente líquido liberado na área convencional GNB, apresentando as cores verde, amarela, vermelha e vermelha respectivamente, a indicação por parte do especialista foi cor amarela, como mostra a Figura 6.11. Já no caso dos nós-*And* incidentes significativos, risco durante operação e anúncio/informações de segurança, as cores indicadas para a formação das regras nebulosas do nó foi amarela nos três casos.

Gerar Regras Fuzzy - Modelo Especialista

Indicadores Antecedentes - Estado

(INDICADOR-QUIMICO VERDE)
(WORKAROUND-DE-OPERADORES AMARELO)
(VAZAMENTOS-IDENTIFICADOS VERMELHO)
(VOLUME-DE-EFLUENTE-LIQUIDO-LIBERADO-NA-AREA-CONVENCIONAL-GNB VERMELHO)

Indicador Consequente

(CONDICAO-MATERIAL)

Estado para Indicador Consequente

Vermelho Amarelo Branco Verde

Criar Nova Regra

Regra Número :

Figura 6.11: Geração de regra nebulosa para o indicador Condição Material.

Após o processamento completo do sistema, o resultado do desempenho da usina no mês de janeiro de 2005, é representado simplesmente pela cor vermelha e pela indicação da tendência deste resultado através de um diagrama de cores, como representado na Figura 6.12.

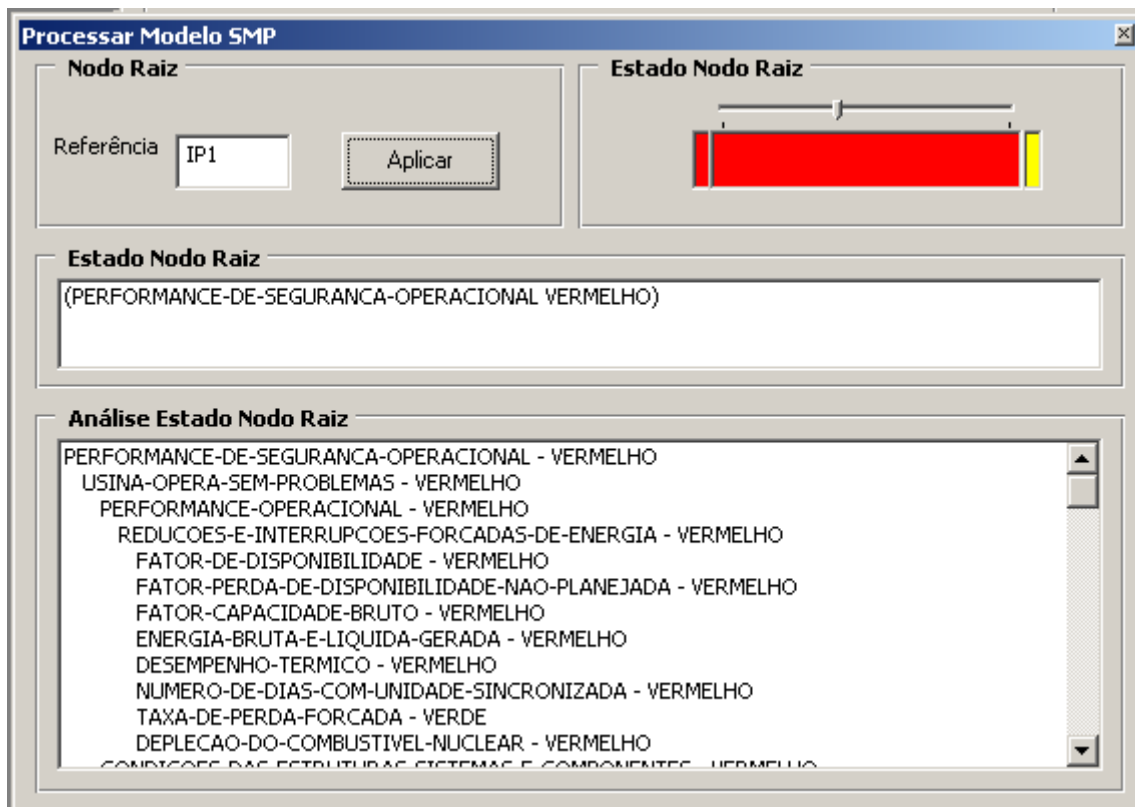


Figura 6.12: Resultado do Desempenho de Segurança Operacional de Angra 2 em janeiro de 2005.

Ressalta-se que a opção de ter o desempenho expresso em uma cor, torna a visualização do resultado extremamente simples e clara, pelo usuário. Todavia se o especialista desejar realizar, uma análise mais detalhada do mesmo, o sistema fornece na própria tela da Figura 6.12, todos os indicadores da estrutura de conhecimento, hierarquicamente abaixo ao nó referência, organizados de forma destacada e, com suas respectivas cores.

Observando o resultado apresentado pelo sistema da Figura 6.12, nota-se que o desempenho da usina foi insatisfatório durante o mês de janeiro de 2005, no que diz respeito ao desempenho de segurança operacional. Resultado esperado, uma vez que a usina encontrava-se com a produção de energia parada neste período e, portanto, com grande parte de suas atividades comprometidas, em relação aos dados de operação.

Ainda com relação ao resultado apresentado pelo sistema, observa-se que os problemas macro principais da usina neste período e que levou a um resultado insatisfatório foram:

Desempenho operacional – Vermelha

Reduções e interrupções forçadas de energia – Vermelha.

Condições das estruturas, sistemas e componentes – Vermelha.

Ordens emitidas de trabalho corretivo – Vermelha.

Eventos – Vermelha.

Eventos relatados – Vermelha.

Desafios aos sistemas de segurança – Vermelha.

Desafios potenciais – Vermelha.

Habilidade da planta em responder desafios – Vermelha.

Desempenho do sistema de segurança – Vermelha.

Estado de preparação dos operadores – Vermelha.

Estado de preparação de emergência – Vermelha.

Risco de configuração da planta – Vermelha.

Risco durante desligamento – Vermelha.

Em contrapartida, observa-se que apesar dos problemas, a usina apresentou desempenho aceitável e até mesmo bom (Figura 6.12) no que tange as questões de:

Condição material – Amarela.

Estado das barreiras – Verde.

Desafios atuais – Amarela.

Atitude em relação à segurança – Amarela.

Atitude em relação a procedimentos, políticas e regras – Amarela.

Eficiência do programa de proteção radiológica – Verde.

Desempenho humano – Verde.

Backlog de casos relacionados à segurança – Amarela.

Anúncio/informações de segurança – Amarela.

Auto-avaliação – Amarela.

Essas questões macro, ou até mesmo um simples indicador específico, pode ter o seu desempenho melhor detalhado pelo sistema, bastando apenas que o especialista indique como nó-referência os índices relacionados a essas questões.

Desta forma o sistema apresenta como resultado para a questão do Desempenho Humano no mês de janeiro de 2005, o apresentado na Figura 6.13.

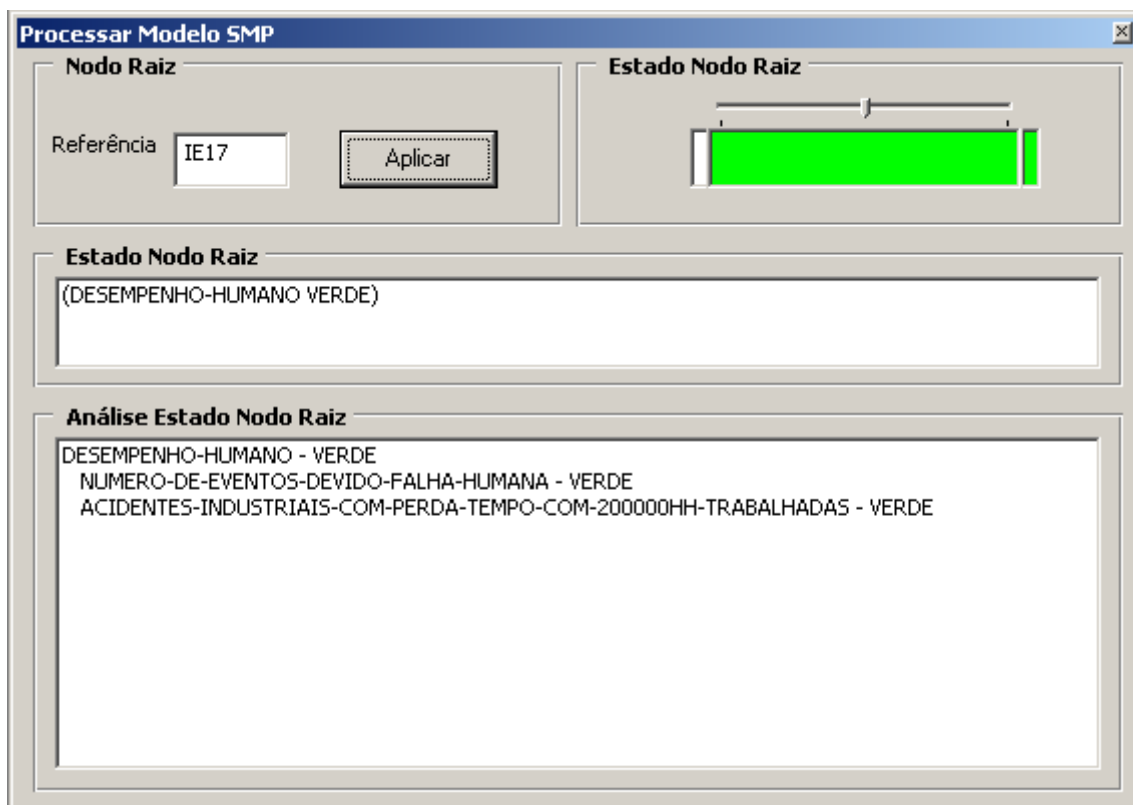


Figura 6.13: Resultado do Desempenho Humano de Angra 2 em janeiro de 2005.

6.3 – Caso Exemplo – Maio 2005

A usina nuclear Angra 2, após ter passado os meses de janeiro, fevereiro e parte do mês de março parada, retornando seu processo normal de produção de energia a partir deste período. Sendo assim, o mês de maio de 2005, apesar de ainda apresentar reflexos do longo período em que a usina ficou parada, foi escolhido para a avaliação de desempenho da mesma, em comparação com o mês de janeiro do mesmo ano.

O objetivo era uma comparação entre meses daquele ano, para a garantia dos mesmos valores de meta e condições de operacionalidade semelhantes. Portanto, maio de 2005 foi considerado a melhor opção para essa comparação, uma vez que em fevereiro e março a usina ainda estava parada e o mês de abril apresentava forte influência dos meses anteriores.

Assim como no caso exemplo – Janeiro 2005, foram utilizados dados que refletem a realidade da usina (Anexo B), o objetivo principal foi o índice Desempenho de Segurança Operacional, o arranjo de indicadores x modelo utilizado foi exatamente igual ao caso anterior e utilizou-se dos mesmos critérios para a indicação da(s) cor(es) conseqüente(s) na formação das regras nebulosas dos nós-*And* especialistas.

Sob essas condições o resultado de desempenho da usina, referente ao indicador Desempenho de Segurança Operacional foi amarelo, com a tendência apresentada na Figura 6.14.

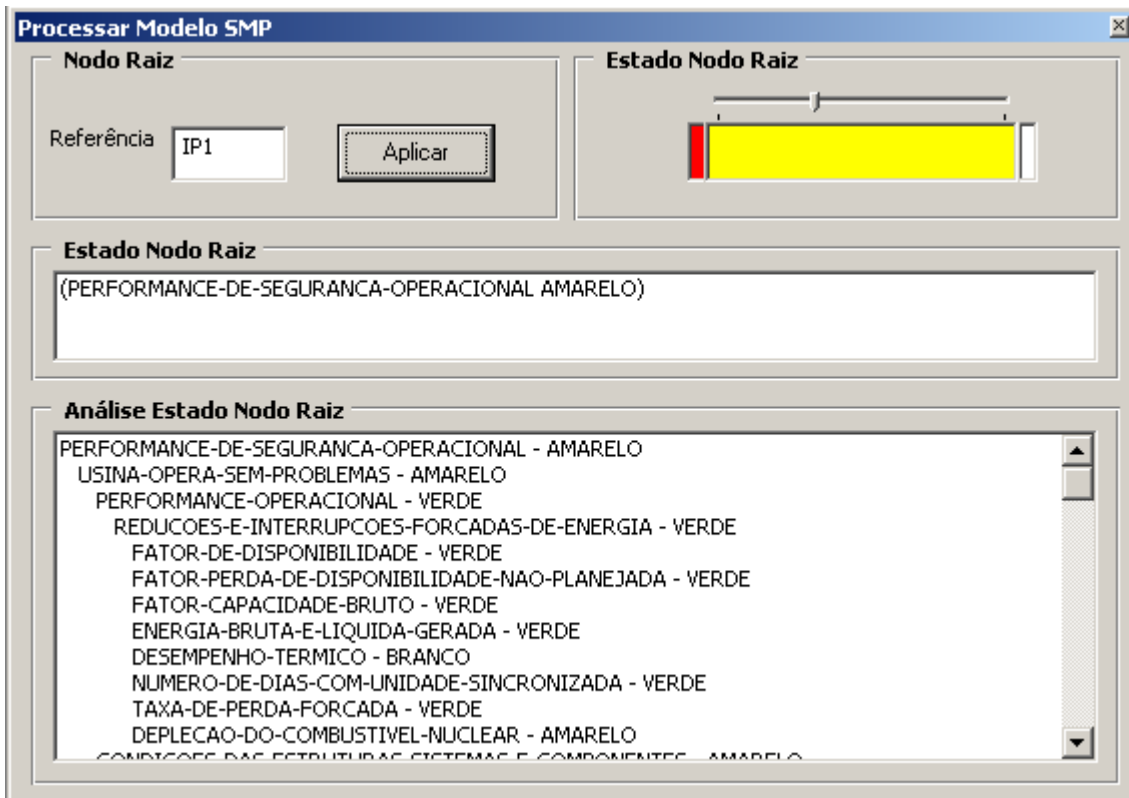


Figura 6.14: Resultado do Desempenho de Segurança Operacional de Angra 2 em maio de 2005.

Mais detalhadamente pode-se observar que em diversos setores, a usina apresentou desempenho melhor que ao mês de janeiro. Para os mesmos problemas macro estudados no caso anterior, observam-se os seguintes resultados:

Desempenho de segurança operacional – Amarela.

Usina opera sem problemas – Amarela.

Desempenho operacional – Verde.

Reduções e interrupções forçadas de energia – Verde.

Condições das estruturas, sistemas e componente – Amarela.

Ordens emitidas de trabalho corretivo – Amarela.

Condição material – Amarela.

Estado das barreiras – Amarela.

Eventos – Amarela.

Eventos relatados – Amarela.

Incidentes significativos – Amarela.

Usina opera com baixo risco – Amarela.

Desafios aos sistemas de segurança – Amarela e Branca.

Desafios atuais – Amarela.

Desafios potenciais – Verde.

Habilidade da planta em responder desafios – Amarela.

Desempenho dos sistemas de segurança – Verde.

Estado de preparação dos operadores – Amarela.

Estado de preparação de emergência – Amarela.

Risco de configuração da planta – Amarela.

Risco durante a operação – Amarela.

Risco durante desligamento – Verde.

Usina opera com atitude positiva de segurança – Amarela.

Atitude em relação à segurança – Amarela.

Cumprimento de procedimentos, regras e requisitos de licenciamento – Amarela.

Atitude em relação a procedimentos, políticas e regras – Amarela.

Eficiência do programa de proteção radiológica – Verde.

Desempenho humano – Amarela.

Backlog de casos relacionados à segurança – Amarela.

Anúncio/informação de segurança – Amarela.

Busca por aperfeiçoamento – Amarela.

Auto-avaliação – Verde.

Feedback de experiência operacional – Amarela.

Tais resultados possibilitam que a gerência da usina, reveja suas metas, combata seus pontos deficientes, planejando-se estrategicamente com vistas à melhoria do desempenho da usina de acordo com a missão e a situação da mesma.

Os resultados para maio de 2005 confirmam a consistência do modelo desenvolvido.

Capítulo 7

Conclusões

O presente trabalho é decorrente da necessidade crescente de monitoração das usinas nucleares, em virtude principalmente das exigências de segurança, operação manutenção e do aumento da complexidade e potencialidade das mesmas, bem como, da carência na área nuclear de modelos gerenciais que auxiliem o planejamento estratégico da empresa.

Neste trabalho foi desenvolvido um sistema inteligente, cuja estrutura foi detalhada no Capítulo 5 e comprovada sua eficiência no Capítulo 6 através de um ambiente de testes construído com a finalidade de verificar suas funcionalidades e demonstrar a viabilidade de se desenvolver um sistema especialista aliado a um conjunto de indicadores de desempenho bem estruturados e mapeado de forma nebulosa, como uma eficiente ferramenta de monitoração, gerência e análise de diversos parâmetros de uma usina nuclear.

A metodologia empregada na avaliação dos resultados apresentados pelo sistema nas simulações realizadas, baseou-se:

- Na comparação dos resultados obtidos pelo Sistema de Monitoração de Desempenho com uma avaliação numérica manual realizada por especialistas em abril de 2004, referente ao problema da verificação de desempenho do sistema de refrigeração de Angra 2; e

- Na análise de especialistas, no que se refere ao problema da verificação de desempenho de Angra 2 nos meses de janeiro e maio de 2005, diante das condições indicadas, tais como: meta-verde, meta-vermelha, valor de aquisição, nó-referência e critérios de cores, na formação de regras nebulosas do modelo especialista.

No que tange ao problema do sistema de refrigeração de Angra 2, o Sistema de Monitoração de Desempenho obteve a cor amarela, através dos modelos determinístico e especialista, como resultado de desempenho do problema estudado, confirmando a mesma cor amarela, obtida pelo processo numérico manual dos especialistas, para as mesmas condições de abril de 2004. Resultado, exatamente de acordo com o esperado. Enquanto que os modelos conservativo e proporcional apresentaram como resultado a cor vermelha, fato já esperado, uma vez que os citados modelos realizam avaliações de forma mais rigorosa em relação aos demais.

Com relação às simulações para verificação do desempenho de Angra 2 nos meses de janeiro e maio de 2005, mediante o uso da estrutura de indicadores construída por este trabalho para esta finalidade, a usina apresentou como resultado as cores vermelha e amarela, respectivamente. Resultado de acordo com o esperado, uma vez que a unidade no mês de janeiro apresentava-se com a produção de energia parada e, portanto, com grande parte de suas atividades prejudicadas e no mês de maio com sua atividade fim retomada, porém apresentando reflexos de um longo período de parada. Esse resultado demonstrou, ainda, consistência na estrutura de indicadores elaborada por este trabalho para a obtenção do desempenho de Angra 2.

Em todas as simulações realizadas o motor de inferência demonstrou concordância nos resultados, o que permite às seguintes conclusões:

(1) – É viável o desenvolvimento de um sistema especialista mapeado dentro de um conceito nebuloso e associado a uma estrutura de indicadores de desempenho e segurança como uma eficaz ferramenta gerencial de apoio ao planejamento estratégico de uma usina nuclear, por permitir uma constante monitoração, medição e avaliação dos seus diversos aspectos;

(2) – A combinação da técnica dos sistemas especialistas com a funcionalidade da lógica nebulosa gera um avanço na tecnologia deste tipo de sistema, pois permite uma melhor representação da realidade em relação ao comportamento do raciocínio humano;

(3) – O modelo de sistema especialista nebuloso é flexível e genérico o suficiente para suportar qualquer estrutura de indicadores que venha a ser elaborada futuramente, desde que possa ser montada na forma de grafo e que permita definir para seus nós, um método de avaliação (AVALIA), com procedimentos especializados, permitindo que cada um dos indicadores da estrutura de conhecimento em questão, saiba se auto-avaliar de forma a determinar seu próprio *status* (cor);

(4) – A lógica nebulosa permite combinar diversos indicadores da estrutura de conhecimento em prol de estabelecer a cor de um outro indicador com nível hierárquico superior, através do uso de regras nebulosas;

(5) – A associação de regras nebulosas com regras em orientação a objetos possibilitam uma estratégia de implementação eficiente para a criação de projetos de sistemas inteligentes, tendo este trabalho demonstrado que esta abordagem representa um significativo avanço no desenho e construção de sistemas inteligentes voltados à monitoração e suporte à decisão;

(6) – A estrutura de classes, em particular os nós-sensores, responsáveis pela aquisição de dados da planta, foi elaborada de modo a permitir que a leitura de dados para o sistema possa, a posteriori, ser facilmente realizada em tempo real e a partir de diversas fontes de aquisição; e

(7) – A programação em CLOS possibilitou uma codificação bastante concisa, uma vez que a função GOAL, principal responsável pelo processamento do sistema,

contém um reduzido número de linhas de código, assim como todo o sistema, fato que simplifica muito o processo de verificação e validação do mesmo.

(8) – Independência entre o motor de inferência e a estrutura de indicadores do sistema, que baseado na própria filosofia de sistemas especialistas encontram-se em estruturas separadas, de forma a permitir a utilização desse mesmo motor de inferência com outras estruturas de indicadores, desde que essas possam ser escritas na forma de grafo e avaliadas por um dos métodos AVALIA do sistema.

Contudo, é importante destacar que as contribuições principais deste trabalho estão no fato de realizar automaticamente uma avaliação do desempenho representativo da usina, apresentando um resultado de forma simples (em uma cor específica e com a tendência de melhora ou piora deste, demonstrado em cores adjacentes), através da agregação de indicadores de desempenho, podendo-se obter não apenas o resultado individual de cada indicador, mais sim, o resultado significativo de um conjunto de indicadores analisados paulatinamente, através do uso das metodologias de sistema especialista e lógica nebulosa que permitem uma proximidade ao raciocínio humano, bem como uma melhor representação das características complexas do problema tratado. Este resultado significativo serve como ferramenta gerencial para identificação dos pontos chaves de deficiências da usina.

Outro ponto importante, deste trabalho, está no conhecimento propriamente dito, construído para a usina Angra 2 e traduzido por uma estrutura de indicadores que foi desenvolvida de acordo com o guia estabelecido pela AIEA, com indicadores sugeridos pelo INPO, WANO, NRC e com sugestões de especialistas da própria usina. Tal estrutura representa efetivamente a usina nuclear Angra 2, possibilitando uma análise do seu *status* representativo, apesar da dificuldade e subjetividade que envolve a tarefa de desenvolvê-la. Análise esta, que não depende do julgamento individual de um

especialista, mas sim, de um processo automatizado que se baseia na agregação do conhecimento de vários especialistas, permitido pelo uso da metodologia de sistema especialista.

Como melhoria para este trabalho, sugere-se:

- Rever a estrutura de indicadores, de forma a torná-la mais eficiente no que tange a abrangência dos diversos problemas macro dos setores da usina, de forma a tornar a avaliação de desempenho realizada pelo sistema o mais representativo possível, bem como elaborar uma forma efetiva de validar tal estrutura;

- Estabelecer pesos para os indicadores de forma a identificar e privilegiar com vigor àqueles que refletirem maior importância no desempenho da usina; e

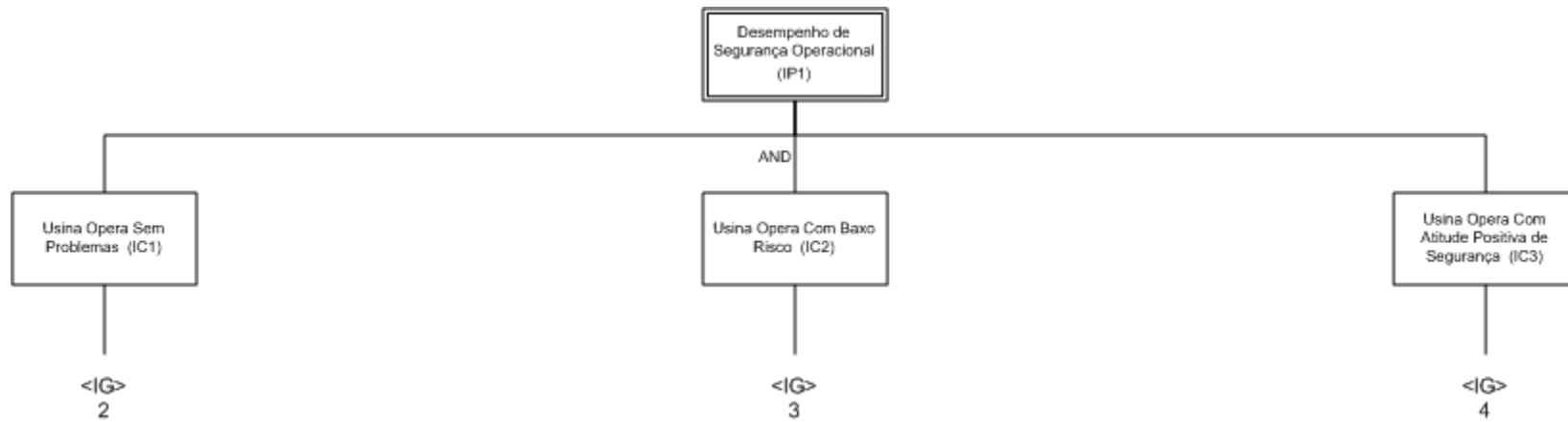
- Fazer com que o Sistema de Monitoração de Desempenho trabalhe efetivamente em tempo real, realizando a leitura dos seus dados de aquisição diretamente do sistema de monitoração da usina.

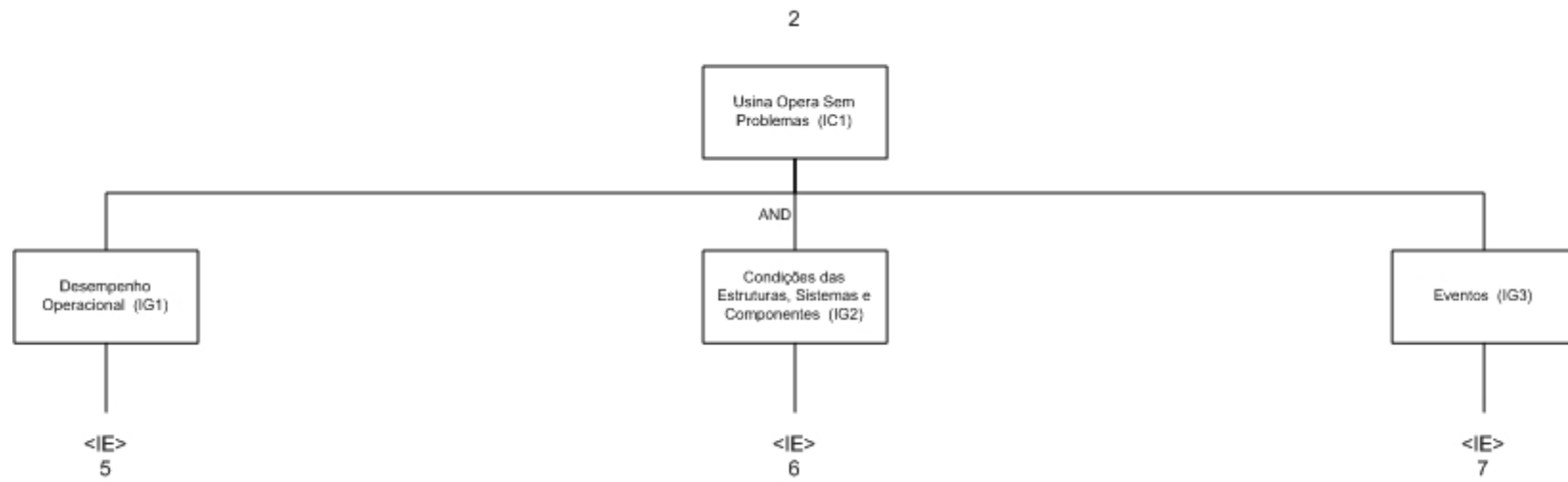
- Organizar de forma a utilizar o Sistema de Monitoração de Desempenho como uma ferramenta de predição, de forma a antecipar-se a problemas.

- Agregar indicadores diferenciados através de conceitos, mediante a lógica nebulosa, entretanto levando em consideração a incerteza na medida.

Anexo A

A - Estrutura de Indicadores da Usina Nuclear Angra 2 para o Modelo de Sistema Especialista Nebuloso no Cálculo de Indicadores de Desempenho





5

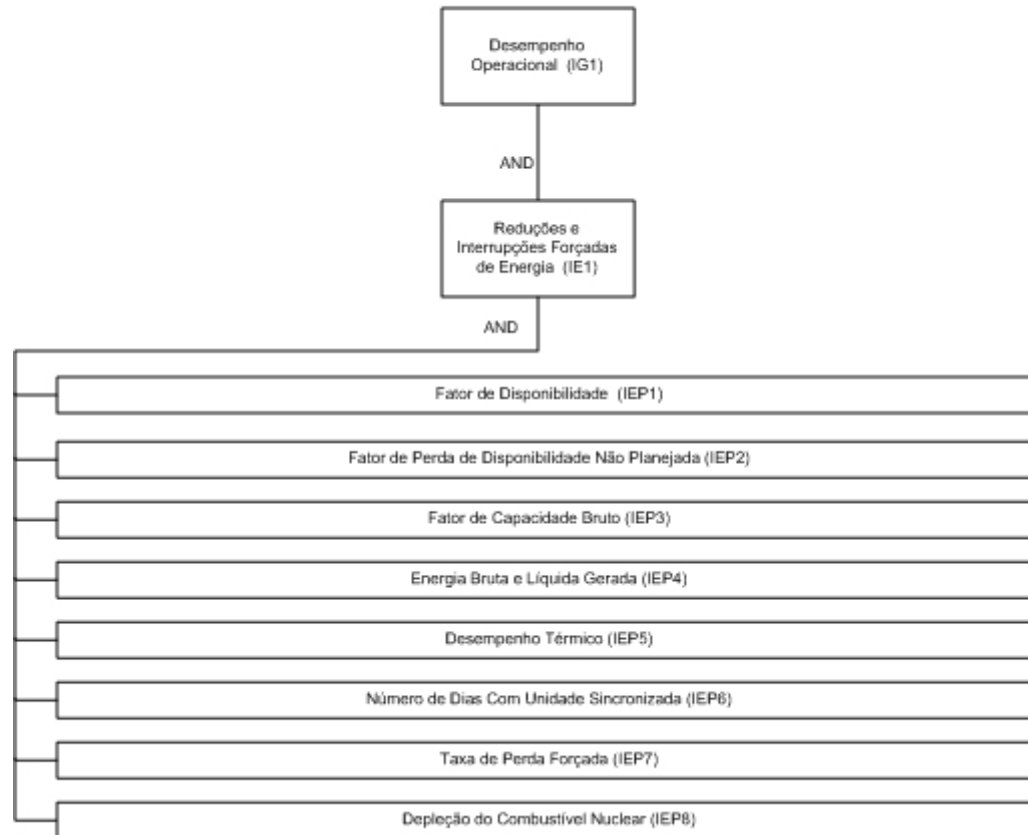
Desempenho Operacional (IG1)

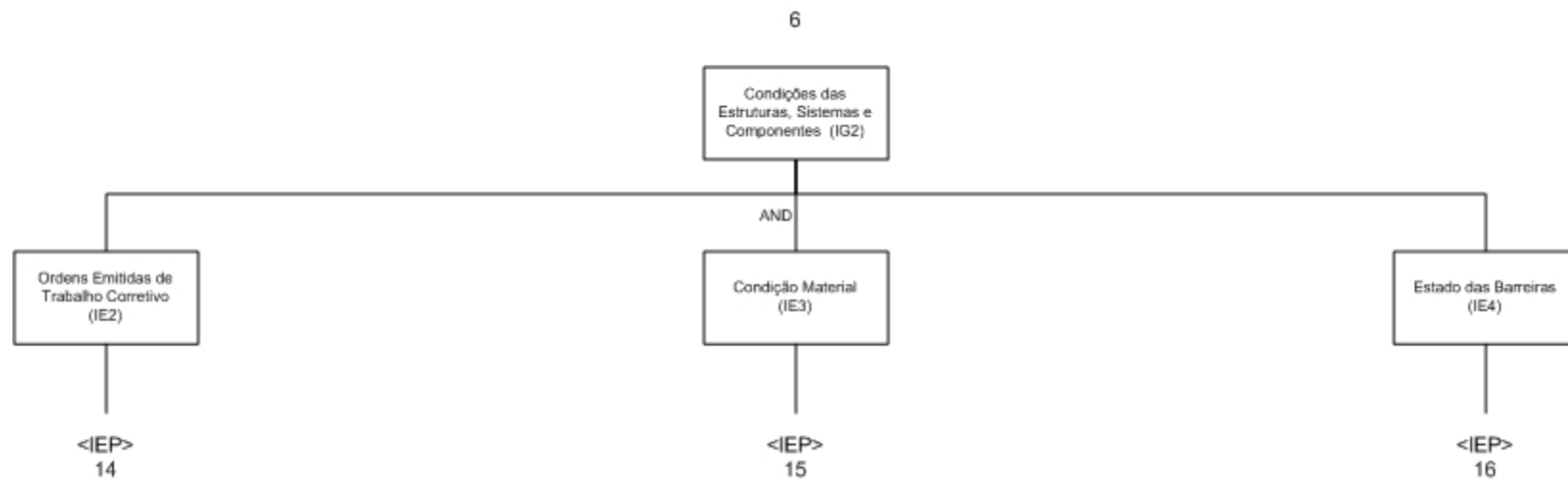
AND

Reduções e Interrupções Forçadas de Energia (IE1)

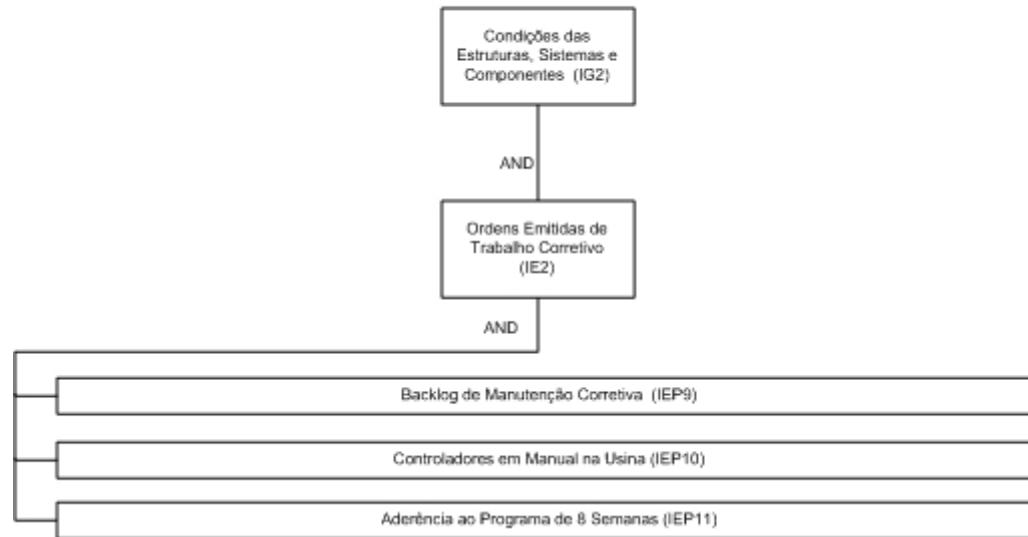
<IEP>
13

13

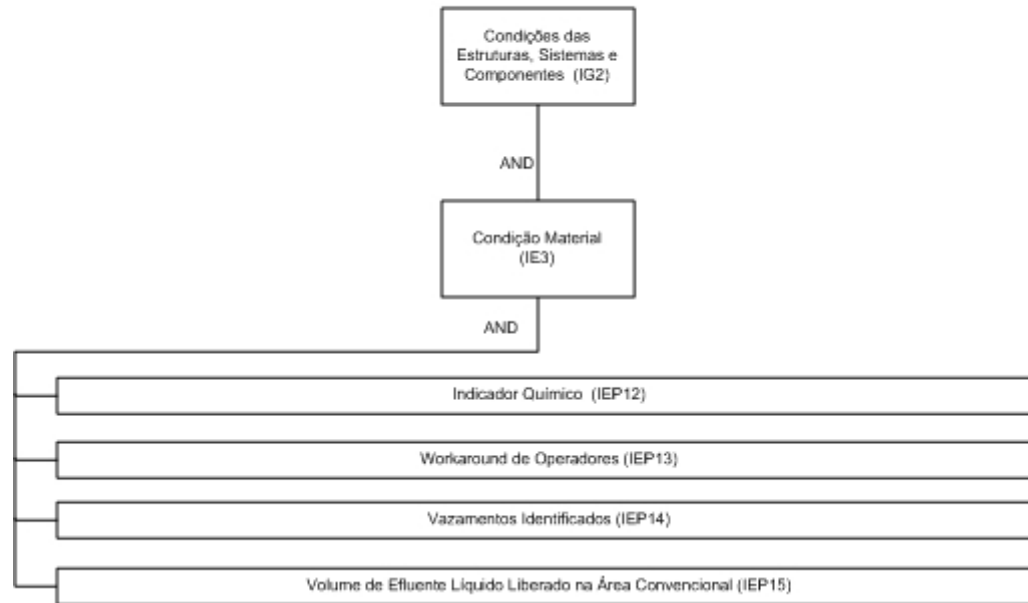




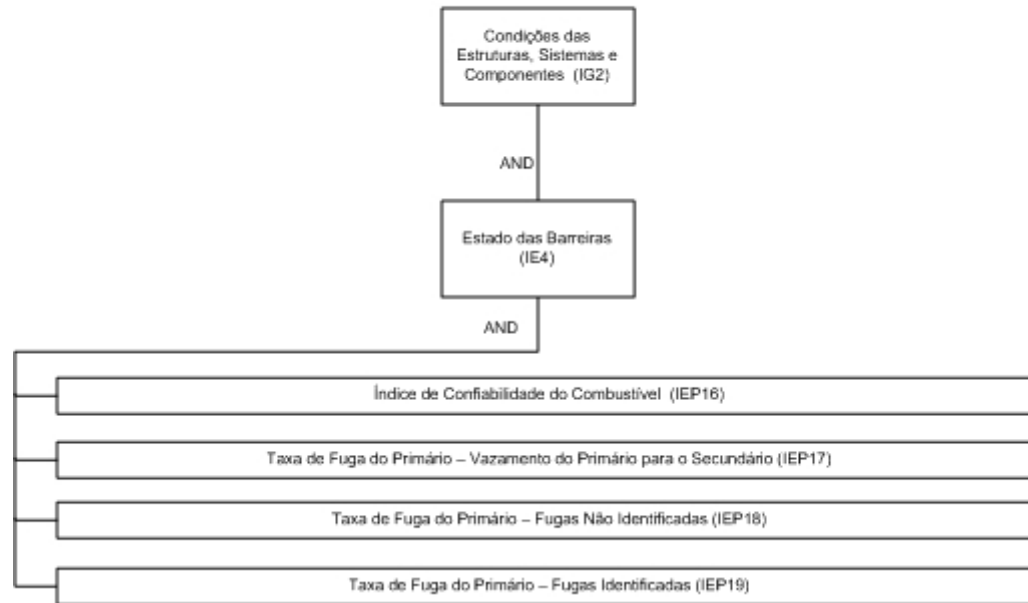
14

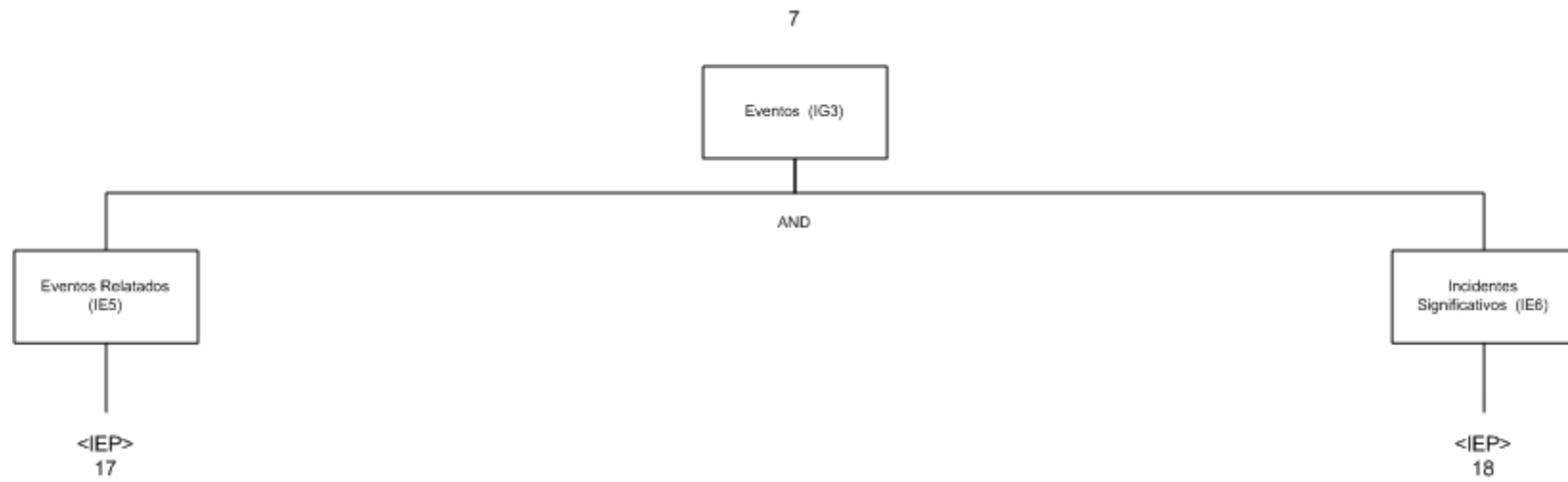


15

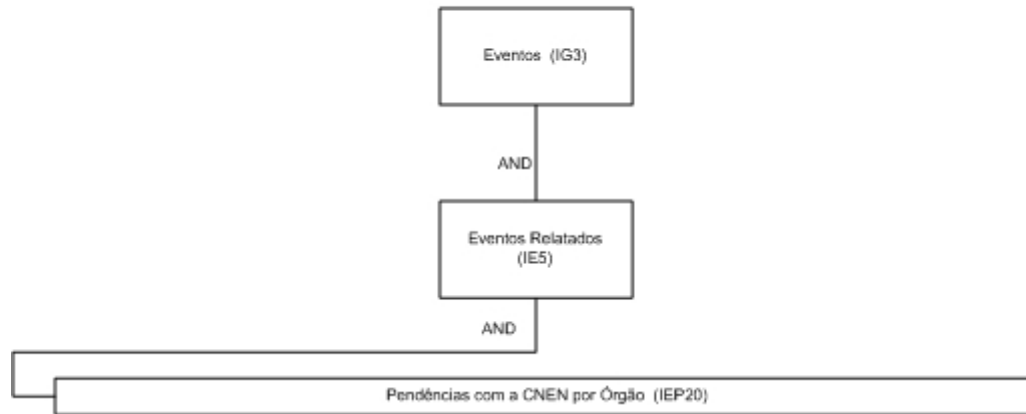


16

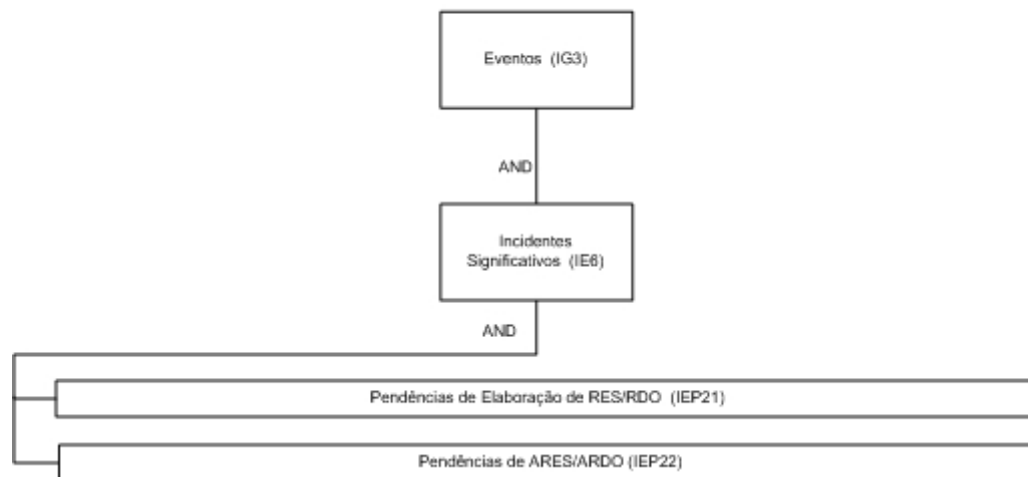


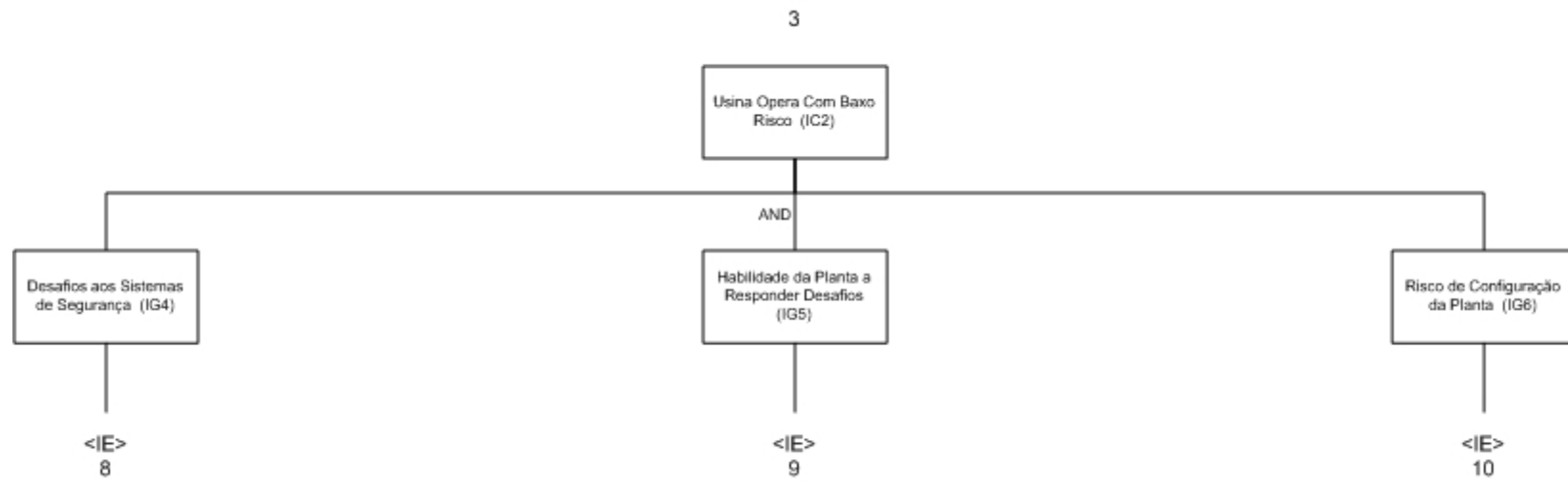


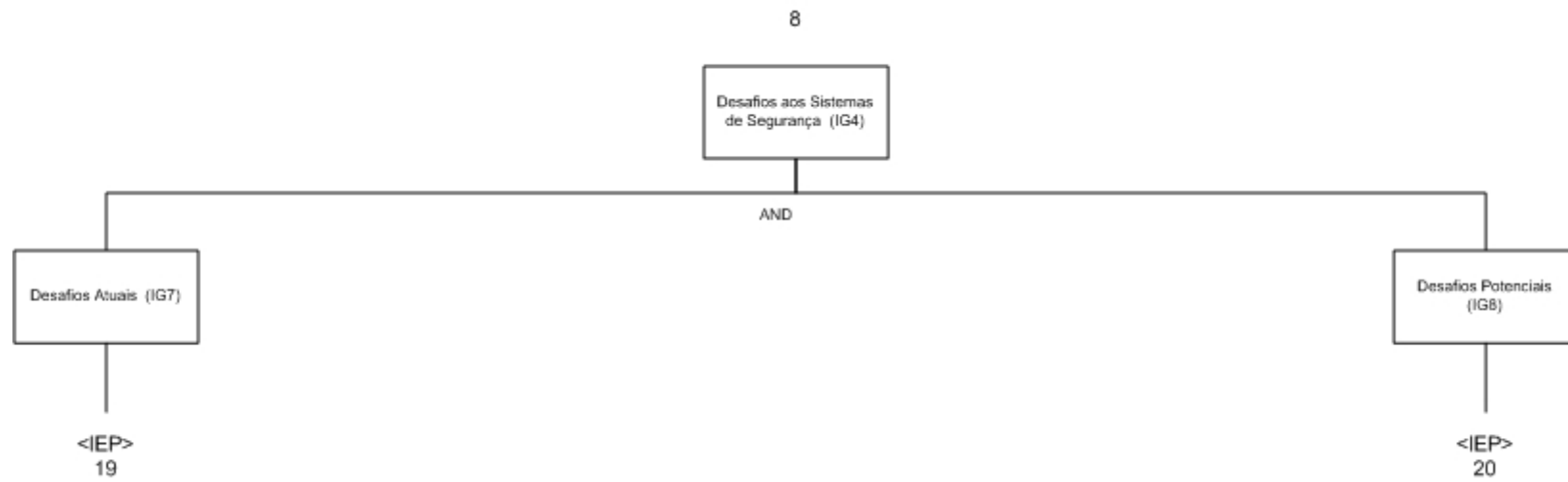
17



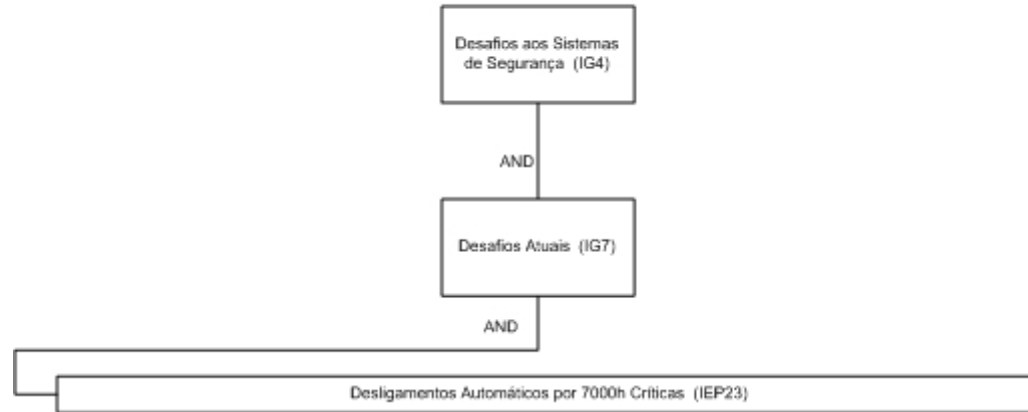
18







19



20

Desafios aos Sistemas
de Segurança (IG4)

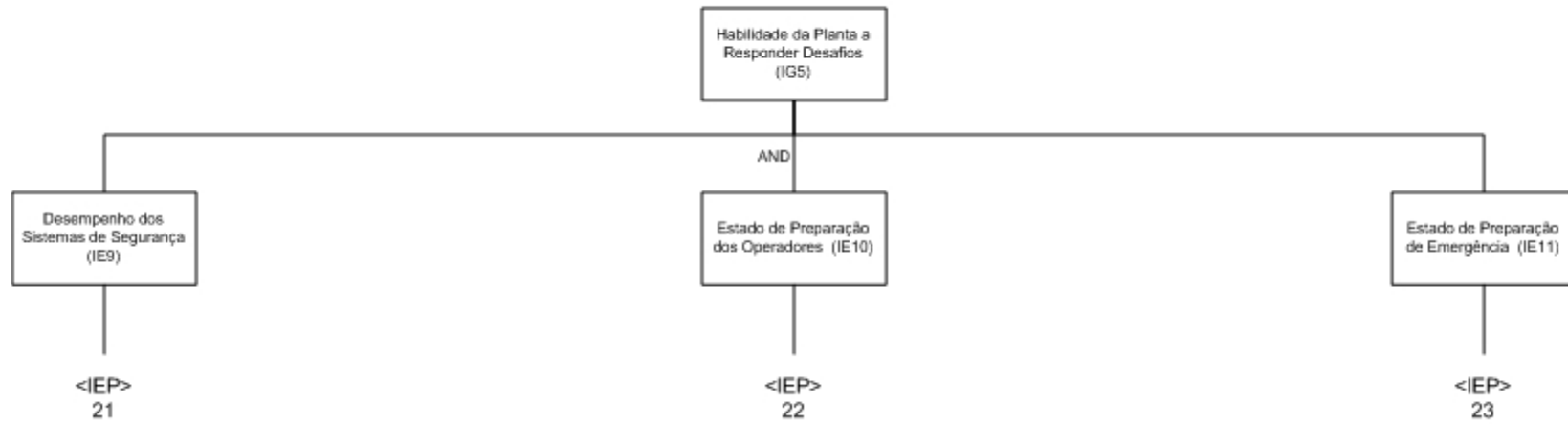
AND

Desafios Potenciais
(IG8)

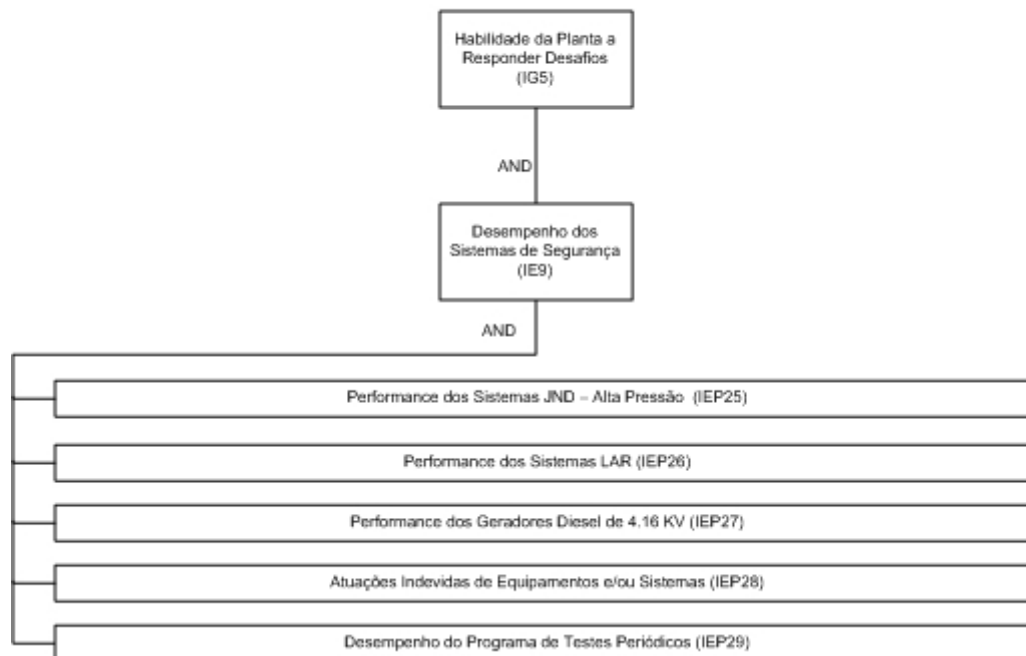
AND

Número de Falhas Iniciais/Parciais em Sistemas de Segurança (IEP24)

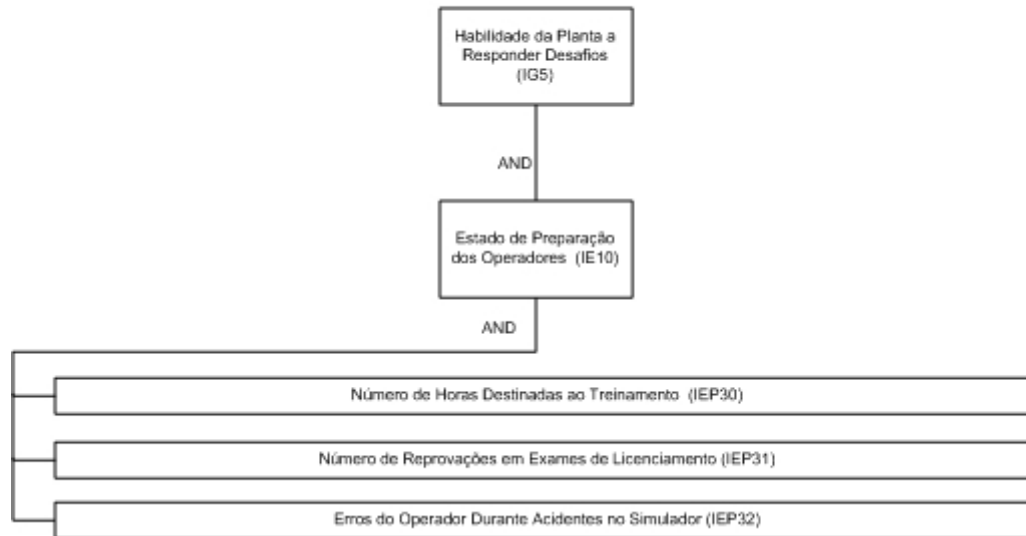
9



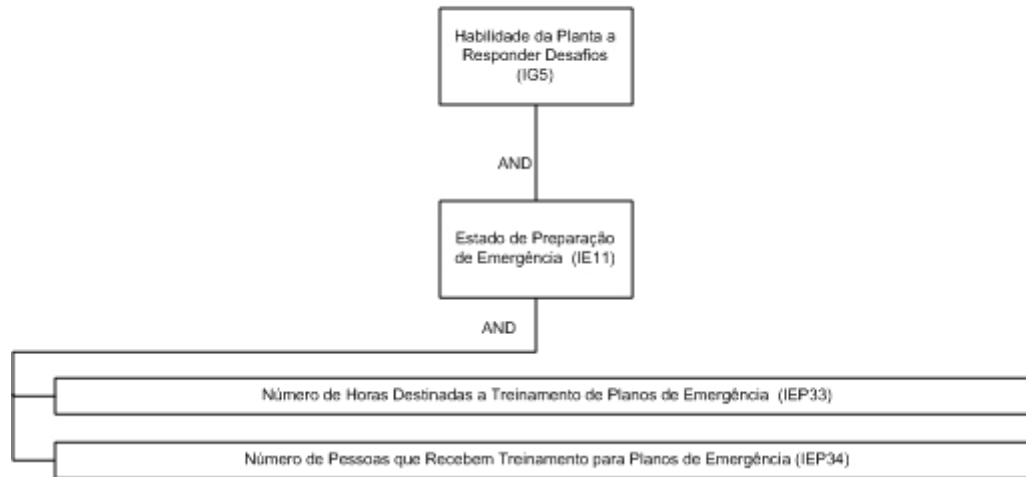
21

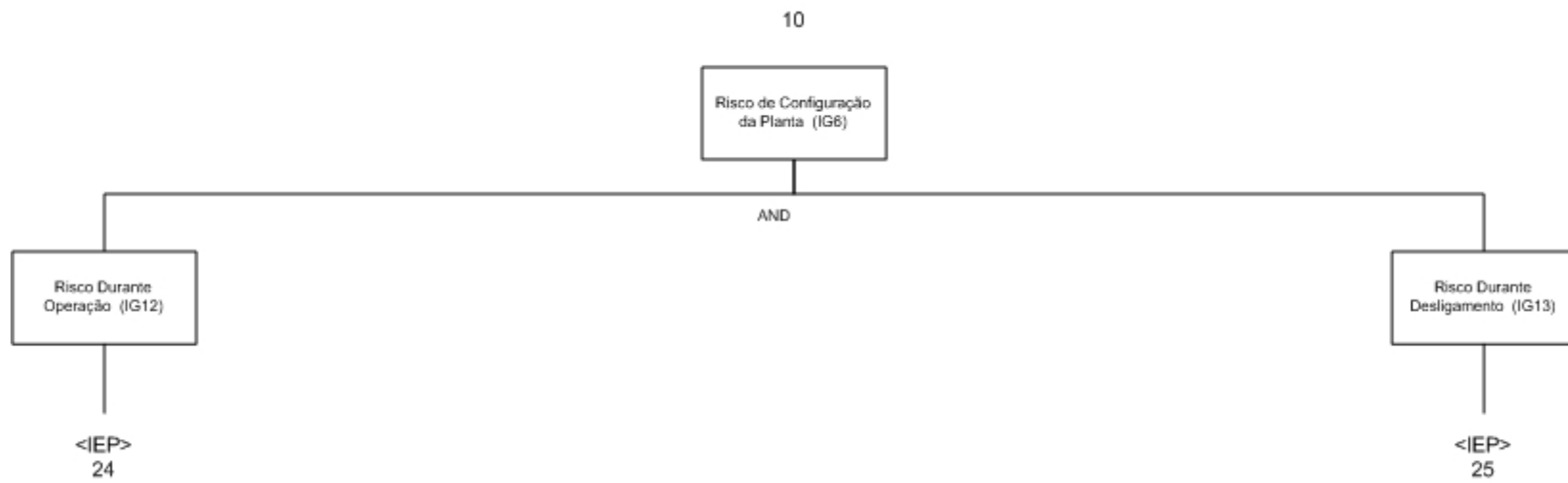


22

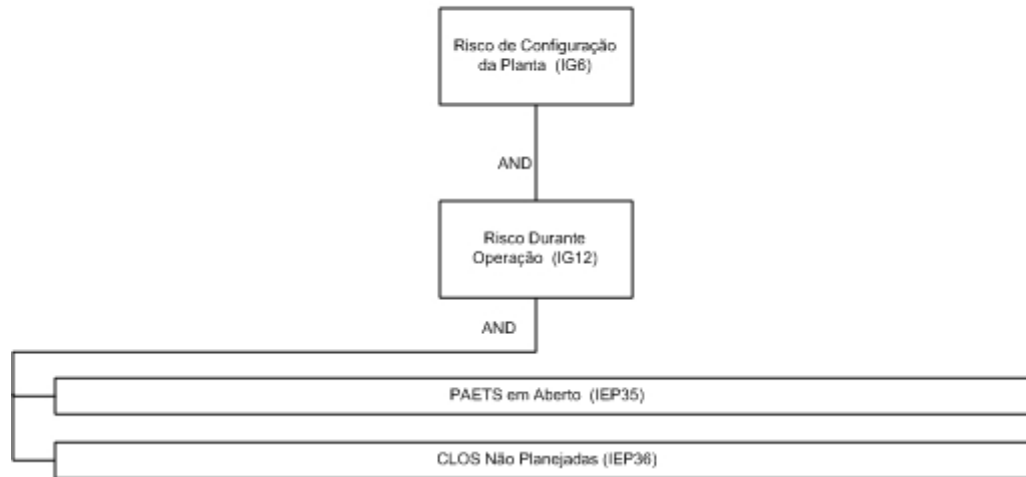


23

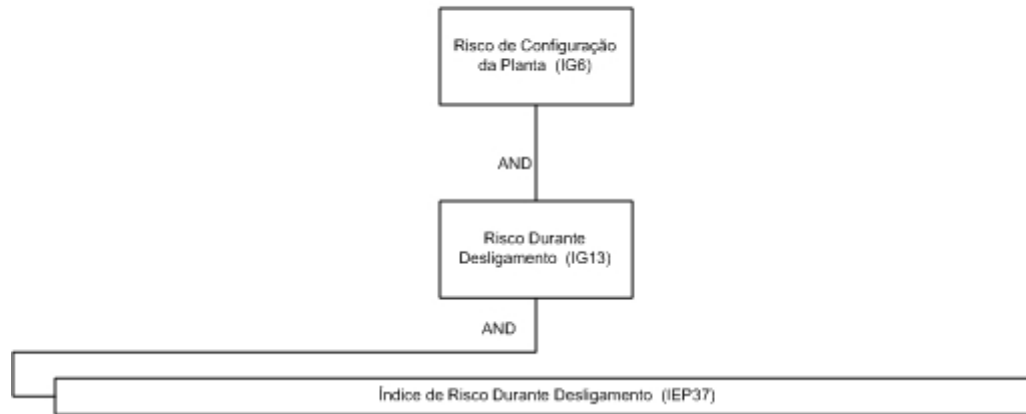


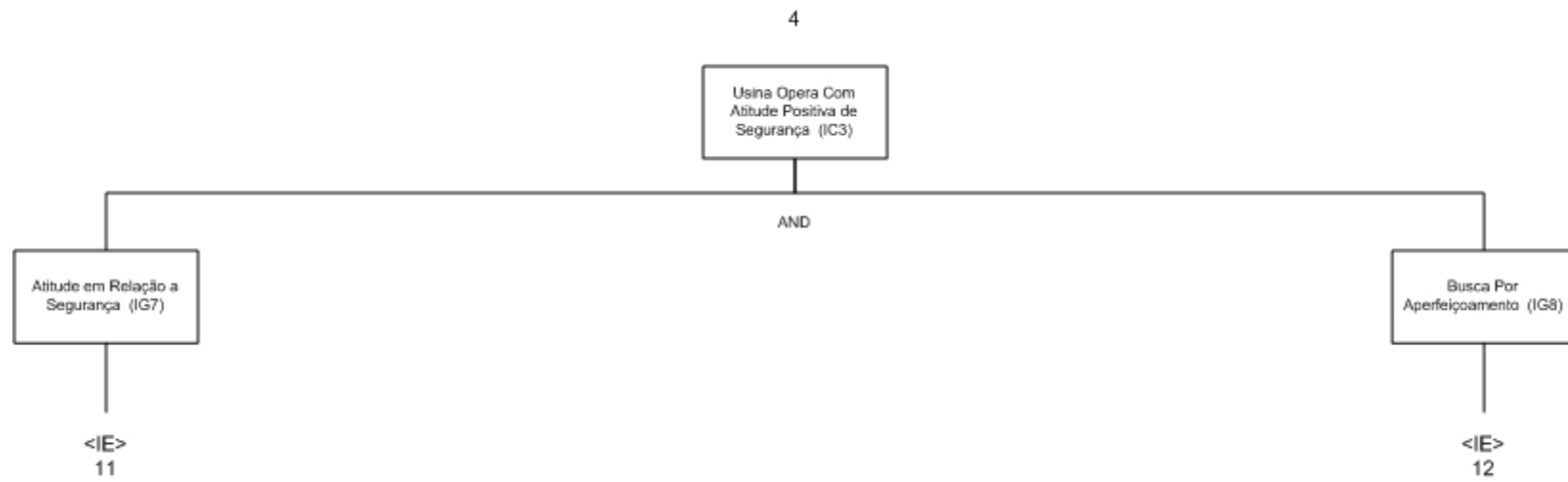


24

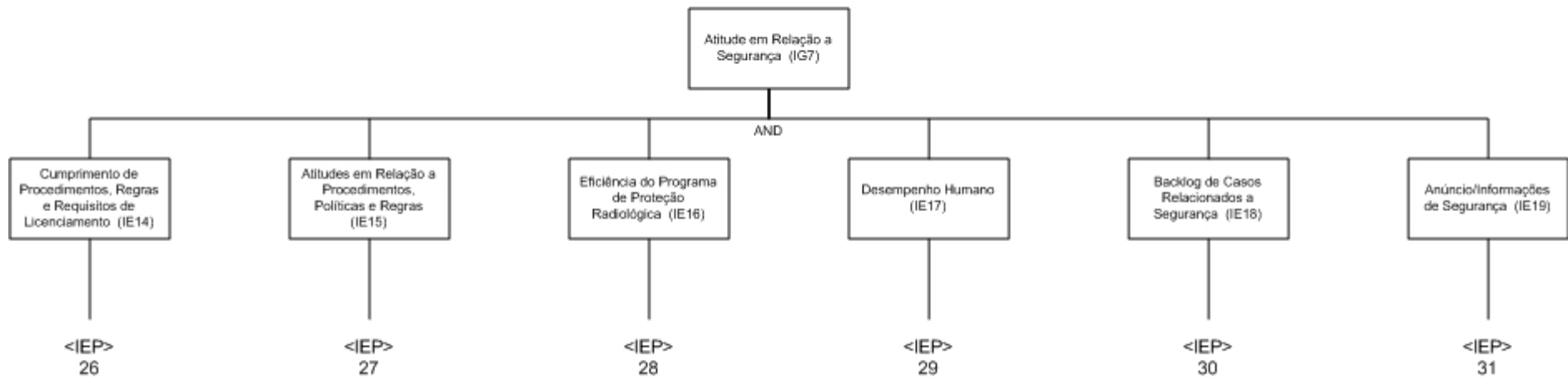


25

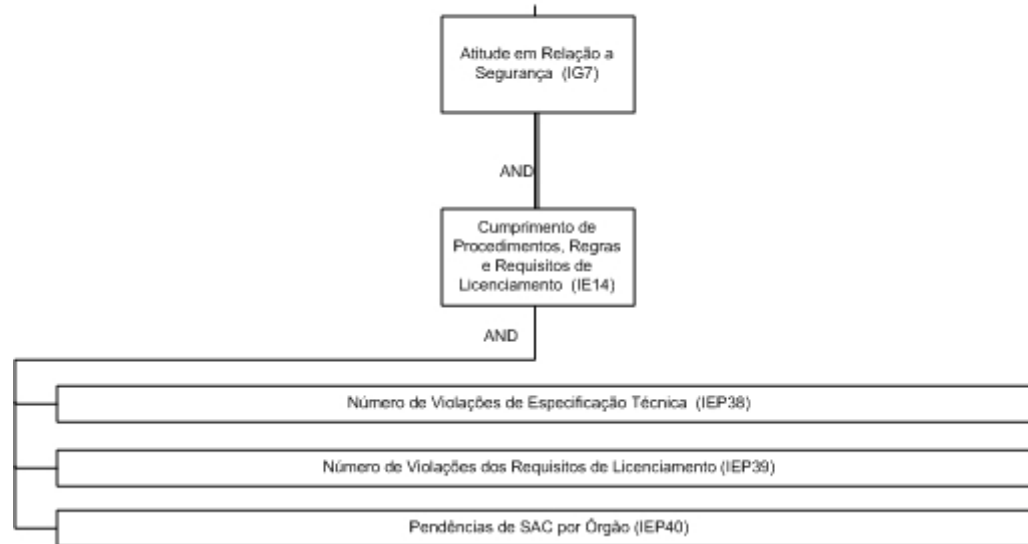




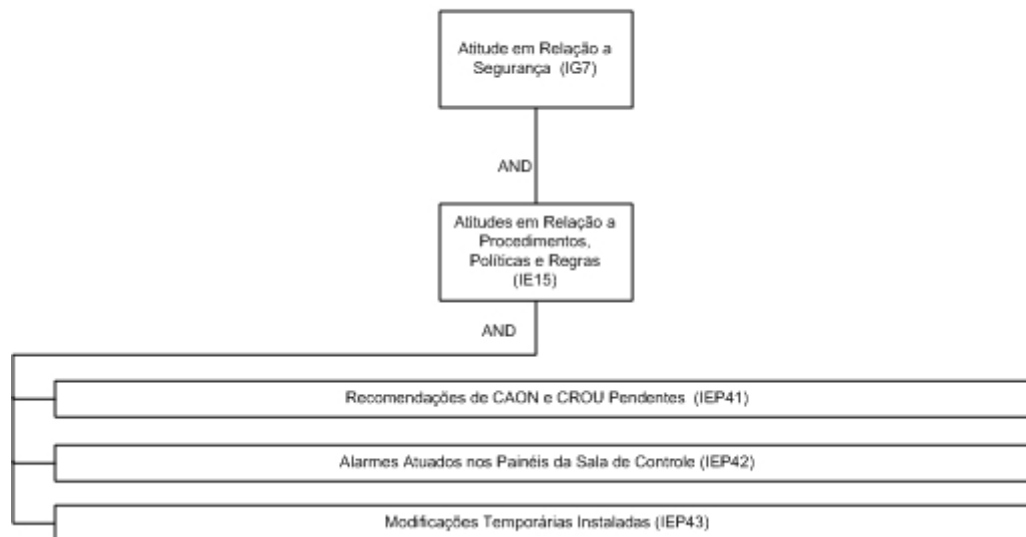
11



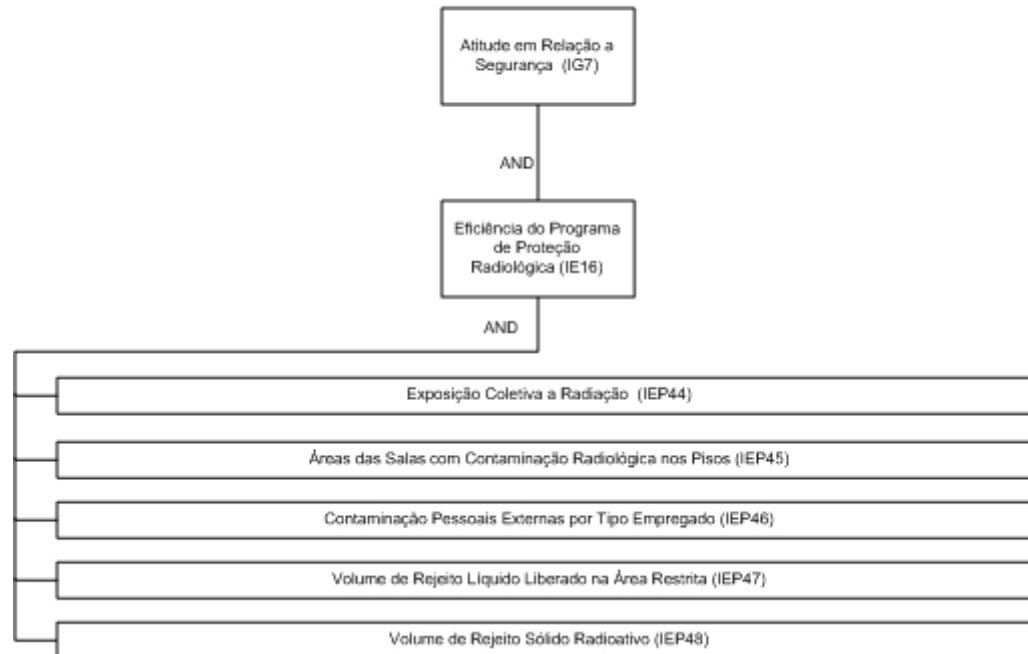
26



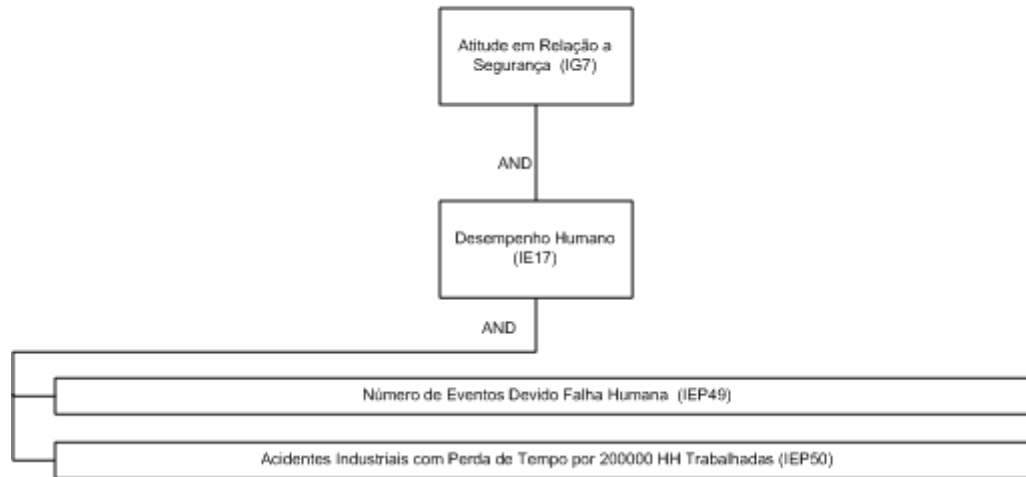
27



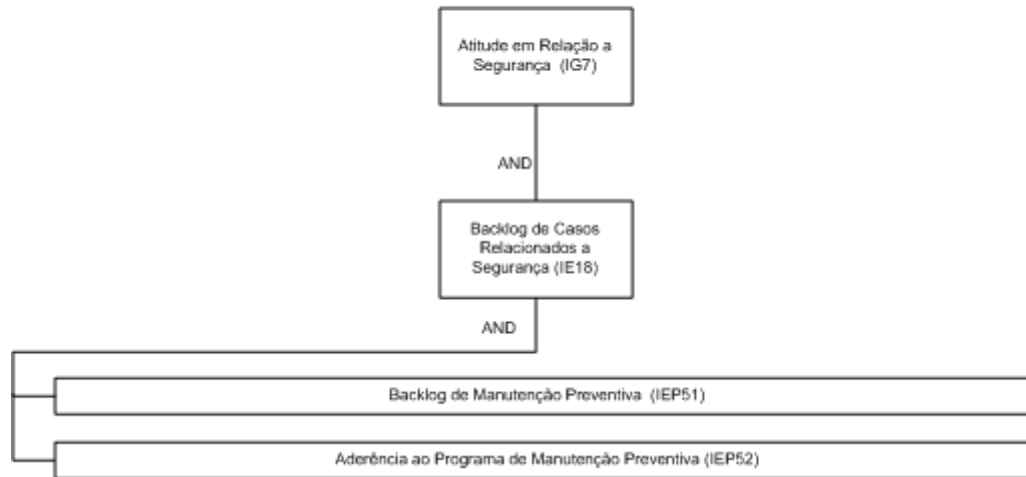
28



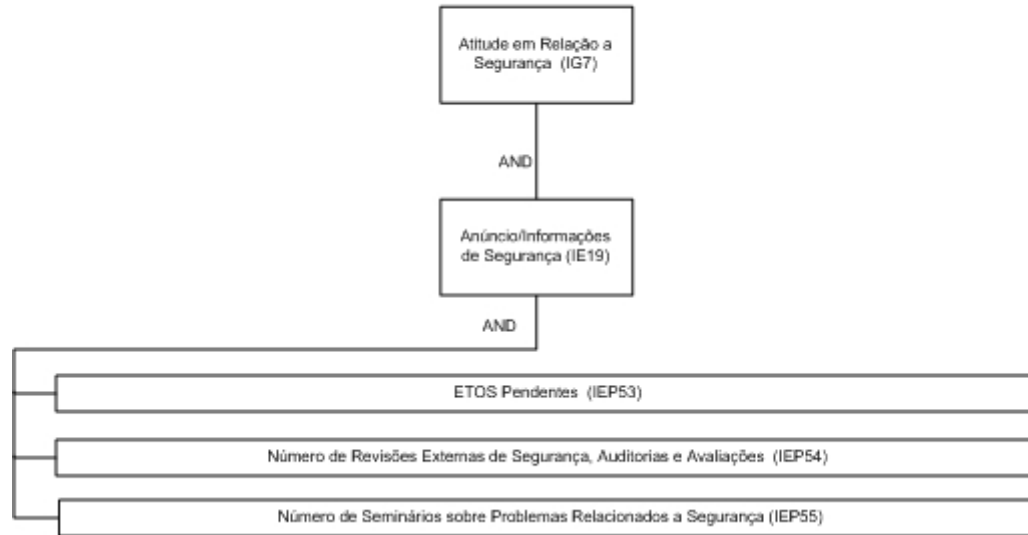
29

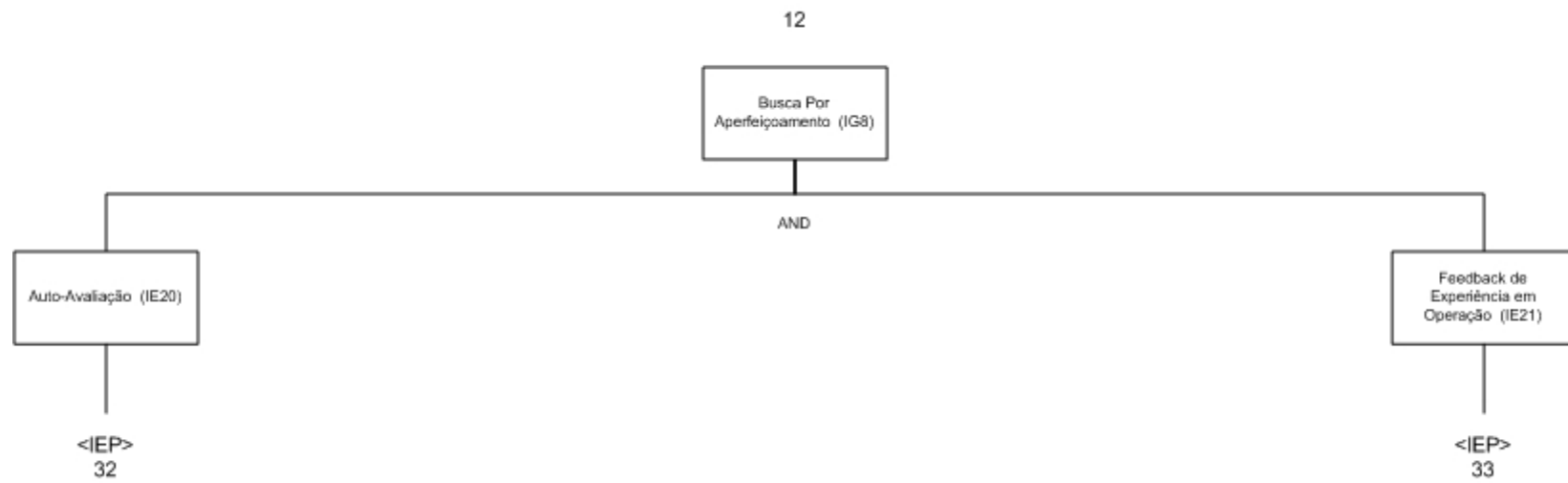


30

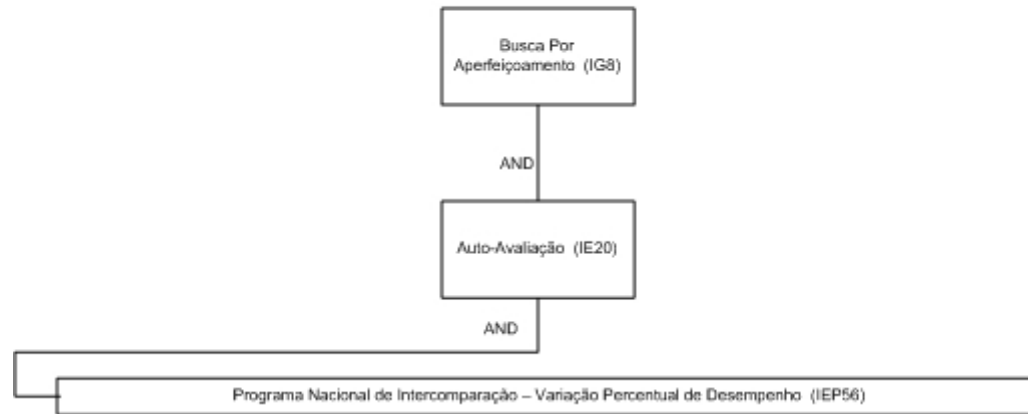


31

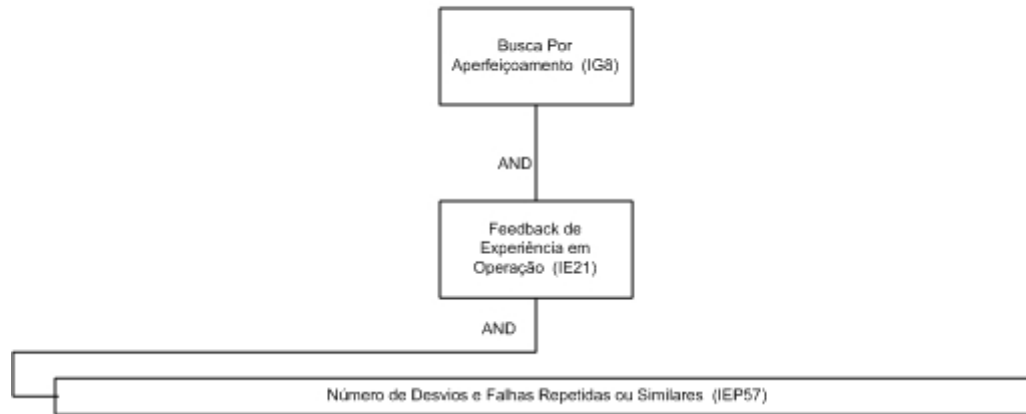




32



33



Anexo B

B - Dados de Aquisição para o Sistema de Monitoração de Desempenho nos Casos

Exemplos de Janeiro e Maio de 2005

IEP1

Fator-de-Disponibilidade

Meta-verde: 87.43%

Meta-Vermelho: 73.97%

Valor-Aquisição-IEP1-Jan: 0.1%

Valor-Aquisição-IEP1-Maio: 100%

IEP2

Fator-Perda-de-Disponibilidade-Nao-Planejada

Meta-Verde: 1.37%

Meta-Vermelho: 1.49%

Valor-Aquisição -IEP2-Jan: 99.9%

Valor-Aquisição -IEP2-Maio: 0%

IEP3

Fator-Capacidade-Bruto

Meta-Verde: 59.2%

Meta-Vermelho: 50%

Valor-Aquisição -IEP3-Jan: 0.1%

Valor-Aquisição -IEP3-Maio: 80%

IEP4

Energia-Bruta-e-Liquida-Gerada

Meta-Verde: 640 GWh/mês

Meta-Vermelho: 580 GWh/mês

Valor-Aquisição -IEP4-Jan: 1.2275 GWh/mês

Valor-Aquisição -IEP4-Maio: 777.25 GWh/mês

IEP5

Desempenho-Termico

Meta-Verde: 100%

Meta-Vermelho: 80%

Valor-Aquisição -IEP5-Jan: 0%

Valor-Aquisição -IEP5-Maio: 99.88%

IEP6

Numero-de-Dias-com-Unidade-sincronizada

Meta-Verde: 25 dias no mês

Meta-Vermelho: 20 dias no mês

Valor-Aquisição -IEP6-Jan: 1 dias no mês

Valor-Aquisição -IEP6-Maio: 31 dias no mês

IEP7

Taxa-de-Perda-Forcada

Meta-Verde: 1.06%

Meta-Vermelho: 1.07%

Valor-Aquisição -IEP7-Jan: 0%

Valor-Aquisição -IEP7-Jan: 0%

IEP8

Deplecao-do-Combustivel-Nuclear

Meta-Verde: 29 DEPP

Meta-Vermelho: 23 DEPP
Valor-Aquisição -IEP8-Jan: 0 DEPP
Valor-Aquisição -IEP8-Maio: 26 DEPP

IEP9
Backlog-de-Manutencao-Corretiva
Meta-Verde: 50 LTs corretiva
Meta-Vermelho: 60 LTs corretiva
Valor-Aquisição -IEP9-Jan: 141 LTs corretiva
Valor-Aquisição -IEP9-Maio: 56 LTs corretiva

IEP10
Controladores-em-Manual-na-Usina
Meta-Verde: 10 estações em manual
Meta-Vermelho: 12 estações em manual
Valor-Aquisição -IEP10-Jan: 11 estações em manual
Valor-Aquisição -IEP10-Maio: 9 estações em manual

IEP11
Aderencia-ao-Programa-de-8-Semanas
Meta-Verde: 90%
Meta-vermelho: 80%
Valor-Aquisição -IEP11-Jan: 71.25%
Valor-Aquisição -IEP11-Maio: 96.66%

IEP12
Indicador-Quimico
Meta-Verde: 1
Meta-Vermelho: 1.1
Valor-Aquisição -IEP12-Jan: 0
Valor-Aquisição -IEP12-Maio: 1

IEP13
Workaround-de-Operadores
Meta-verde: 3 workaround
Meta-Vermelho: 5 workaround
Valor-Aquisição -IEP13-Jan: 5 workaround
Valor-Aquisição -IEP13-Maio: 5 workaround

IEP14
Vazamentos-Identificados
Meta-Verde: 0 vazamentos
Meta-Vermelho: 5 vazamentos
Valor-Aquisição -IEP14-Jan: 90 vazamentos
Valor-Aquisição -IEP14-Maio: 110 vazamentos

IEP15
Volume-de-Efluente-Liquido-Liberado-na-Area-Convencional-GNB
Meta-Verde: 10000 m³
Meta-Vermelho: 12000 m³
Valor-Aquisição -IEP15-Jan: 18580 m³
Valor-Aquisição -IEP15-Maio: 10991.9 m³

IEP16
Indice-de-Confabilidade-do-Combustivel
Meta-Verde: 0.0005 µCi/g
Meta-Vermelho: 0.005 µCi/g

Valor-Aquisição -IEP16-Jan: 0 µCi/g
Valor-Aquisição -IEP16-Maio: 0.005 µCi/g

IEP17

Taxa-de-Fuga-do-Primario-Vazamento-do-Primario-para-Secundario
Meta-Verde: 0 galões/dia
Meta-Vermelho: 0.05 galões/dia
Valor-Aquisição -IEP17-Jan: 0 galões/dia
Valor-Aquisição -IEP17-Maio: 0 galões/dia

IEP18

Taxa-de-Fuga-do-Primario-Fugas-Nao-Identificadas
Meta-Verde: 0.010 Kg/s
Meta-Vermelho: 0.030 Kg/s
Valor-Aquisição -IEP18-Jan: 0.0099 Kg/s
Valor-Aquisição -IEP18-Maio: 0.0095 Kg/s

IEP19

Taxa-de-Fuga-do-Primario-Fugas-Identificadas
Meta-Verde: 0.06 Kg/s
Meta-Vermelho: 0.09 Kg/s
Valor-Aquisição -IEP19-Jan: 0.0492 Kg/s
Valor-Aquisição -IEP19-Maio: 0.0668 Kg/s

IEP20

Pendencias-com-CNEN-por-Orgao
Meta-Verde: 0 pendências
Meta-Vermelho: 12 pendências
Valor-Aquisição -IEP20-Jan: 51 pendências
Valor-Aquisição -IEP20-Maio: 12 pendências

IEP21

Pendencias-de-Elaboracao-de-RES-RDO
Meta-Verde: 0 pendências
Meta-Vermelho: 10 pendências
Valor-Aquisição -IEP21-Jan: 42 pendências
Valor-Aquisição -IEP21-Maio: 56 pendências

IEP22

Pendencias-de-ARES-ARDO
Meta-Verde: 0 pendências
Meta-Vermelho: 10 pendências
Valor-Aquisição -IEP22-Jan: 26 pendências
Valor-Aquisição -IEP22-Maio: 44 pendências

:

IEP23

Desligamentos-Automaticos-por-7000h-Criticas
Meta-Verde: 0 desligamentos/7000h críticas
Meta-Vermelho: 2 desligamentos/7000h críticas
Valor-Aquisição -IEP23-Jan: 1.019 desligamentos/7000h críticas
Valor-Aquisição -IEP23-Maio: 1.005 desligamentos/7000h críticas

IEP24

Numero-de-Falhas-Iniciais-Parciais-em-Sistema-de-Seguranca
Meta-Verde: 0 falhas
Meta-Vermelho: 1 falhas
Valor-Aquisição -IEP24-Jan: 10 falhas
Valor-Aquisição -IEP24-Maio: 0 falhas

IEP25

Performance-dos-Sistemas-JND-Alta-Pressao

Meta-Verde: 0 fração de tempo indisponível

Meta-Vermelho: 0.001 fração de tempo indisponível

Valor-Aquisição -IEP25-Jan: 0 fração de tempo indisponível

Valor-Aquisição -IEP25-Maio: 0 fração de tempo indisponível

IEP26

Performance-dos-Sistemas-LAR

Meta-Verde: 0 fração de tempo indisponível

Meta-Vermelho: 0.001 fração de tempo indisponível

Valor-Aquisição -IEP26-Jan: 0 fração de tempo indisponível

Valor-Aquisição -IEP26-Maio: 0 fração de tempo indisponível

IEP27

Performance-dos-Geradores-Diesel-4.16KV

Meta-Verde: 0 fração de tempo indisponível

Meta-Vermelho: 0.002 fração de tempo indisponível

Valor-Aquisição -IEP27-Jan: 0 fração de tempo indisponível

Valor-Aquisição -IEP27-Maio: 0 fração de tempo indisponível

IEP28

Atuacoes-Indevidas-de-Equipamento-Sistemas

Meta-verde: 3 atuações

Meta-Vermelho: 4 atuações

Valor-Aquisição -IEP28-Jan: 3 atuações

Valor-Aquisição -IEP28-Maio: 0 atuações

IEP29

Desempenho-do-Programa-de-Testes-Periodicos

Meta-Verde: 97%

Meta-ermelho: 92%

Valor-Aquisição -IEP29-Jan: 90.15%

Valor-Aquisição -IEP29-Maio: 92.18%

IEP30

Numero-de-Horas-Destinadas-ao-Treinamento

Meta-Verde: 15%

Meta-Vermelho:5%

Valor-Aquisição -IEP30-Jan: 4%

Valor-Aquisição -IEP30-Maio: 8%

IEP31

Numero-de-Reprovacoes-em-Exames-de-Licenciamento

Meta-Verde: 0 reprovações

Meta-vermelho: 3 reprovações

Valor-Aquisição -IEP31-Jan: 0 reprovações

Valor-Aquisição -IEP31-Maio: 0 reprovações

IEP32

Erros-do-Operador-Durante-Acidentes-no-Simulador

Meta-Verde: 2 erros

Meta-Vermelho: 5 erros

Valor-Aquisição -IEP32-Jan: 1 erros

Valor-Aquisição -IEP32-Maio: 1 erros

IEP33

Numero-de-Horas-Destinadas-a-Treinamento-de-Planos-de-Emergencia

Meta-Verde: 80 HHT

Meta-Vermelho: 50 HHT
Valor-Aquisição -IEP33-Jan: 55 HHT
Valor-Aquisição -IEP33-Maio: 70 HHT

IEP34

Numero-de-Pessoas-que-Recebem-Treinamento-para-Planos-de-Emergencia
Meta-Verde: 100 pessoas
Meta-Vermelho: 50 pessoas
Valor-Aquisição -IEP34-Jan: 40 pessoas
Valor-Aquisição -IEP34-Maio: 55 pessoas

IEP35

PAETS-em-Aberto
Meta-Verde: 6 PAETs
Meta-Vermelho: 10 PAETs
Valor-Aquisição -IEP35-Jan: 27 PAETs
Valor-Aquisição -IEP35-Maio: 25 PAETs

IEP36

CLOS-Nao-Planejadas
Meta-Verde: 3 CLOs
Meta-Vermelho: 4 CLOs
Valor-Aquisição -IEP36-Jan: 8 CLOs
Valor-Aquisição -IEP36-Maio: 2 CLOs

IEP37

Indice-de-Risco-Durante-Desligamento
Meta-Verde: 0
Meta-Vermelho: 0.01
Valor-Aquisição -IEP37-Jan: 0.02
Valor-Aquisição -IEP37-Maio: 0

IEP38

Numero-de-Violacoes-de-Especificacao-Tecnica
Meta-Verde: 0 violações
Meta-Vermelho: 6 violações
Valor-Aquisição -IEP38-Jan: 3 violações
Valor-Aquisição -IEP38-Maio: 1 violações

IEP39

Numero-de-Violacoes-dos-Requisitos-Licenciamento
Meta-Verde: 0 violações
Meta-Vermelho: 6 violações
Valor-Aquisição -IEP39-Jan: 0 violações
Valor-Aquisição -IEP39-Maio: 0 violações

IEP40

Pendencias-de-SAC-por-Orgao
Meta-Verde: 0 pendências
Meta-Vermelho: 10 pendências
Valor-Aquisição -IEP40-Jan: 70 pendências
Valor-Aquisição -IEP40-Maio: 54 pendências

IEP41

Recomendacoes-de-CAON-e-CROU-Pendentes
Meta-Verde: 0 recomendações
Meta-Vermelho: 3 recomendações
Valor-Aquisição -IEP41-Jan: 0 recomendações
Valor-Aquisição -IEP41-Maio: 3 recomendações

IEP42

Alarmes-Atuados-nos-Paineis-da-Sala-de-Controle

Meta-Verde: 5 alarmes

Meta-Vermelho: 10 alarmes

Valor-Aquisição -IEP42-Jan: 9 alarmes

Valor-Aquisição -IEP42-Maio: 9 alarmes

IEP43

Modificacoes-Temporarias-Instaladas

Meta-Verde: 30 SMTs

Meta-Vermelho: 35 SMTs

Valor-Aquisição -IEP43-Jan: 32 SMTs

Valor-Aquisição -IEP43-Maio: 34 SMTs

IEP44

Exposicao-Coletiva-Radiacao

Meta-Verde: 0.0058 HSv no mês

Meta-Vermelho: 0.06 HSv no mês

Valor-Aquisição -IEP44-Jan: 0.003 HSv no mês

Valor-Aquisição -IEP44-Maio: 0.003 HSv no mês

IEP45

Areas-das-Salas-com-Contaminacao-Radiologica-nos-Pisos

Meta-Verde: 1% (~ 250 m²)

Meta-Vermelho: 1.2%

Valor-Aquisição -IEP45-Jan: 0%

Valor-Aquisição -IEP45-Maio: 0%

IEP46

Contaminacoes-Pessoais-Externas-por-Tipo-de-Empregado

Meta-Verde: 3 contaminações/mês

Meta-Vermelho: 4 contaminações/mês

Valor-Aquisição -IEP46-Jan: 0 contaminações/mês

Valor-Aquisição -IEP46-Maio: 0 contaminações/mês

IEP47

Volume-de-Rejeito-Liquido-Liberado-na-Area-Restrita-KPK29

Meta-Verde: 7000 m³

Meta-Vermelho: 7200 m³

Valor-Aquisição -IEP47-Jan: 641 m³

Valor-Aquisição -IEP47-Maio: 3237.970 m³

IEP48

Volume-de-Rejeito-Solido-Radioativo

Meta-Verde: 0.75 m³

Meta-Vermelho: 0.83 m³

Valor-Aquisição -IEP48-Jan: 0 m³

Valor-Aquisição -IEP48-Maio: 0.4 m³

IEP49

Numero-de-Eventos-Devido-Falha-Humana

Meta-Verde: 0 eventos

Meta-Vermelho: 2 eventos

Valor-Aquisição -IEP49-Jan: 0 eventos

Valor-Aquisição -IEP49-Maio: 1 eventos

IEP50

Acidentes-Industriais-com-Perda-Tempo-com-200000HH-Trabalhadas

Meta-Verde: 0.17 acidentes com perda/200000HH
Meta-Vermelho: 0.20 acidentes com perda/200000HH
Valor-Aquisição -IEP50-Jan: 0 acidentes com perda/200000HH
Valor-Aquisição -IEP50-Maio: 0.2 acidentes com perda/200000HH

IEP51

Backlog-de-Manutencao-Preventiva
Meta-Verde: 150 SOTs
Meta-Vermelho: 180 SOTs
Valor-Aquisição -IEP51-Jan: 179 SOTs
Valor-Aquisição -IEP51-Maio: 178 SOTs

IEP52

Aderencia-ao-Programa-de-Manutencao-Preventiva
Meta-Verde: 80
Meta-Vermelho: 60
Valor-Aquisição -IEP52-Jan: 60
Valor-Aquisição -IEP52-Maio: 80

IEP53

ETOS-Pendentes
Meta-Verde: 50 ETOS
Meta-Vermelho: 70 ETOS
Valor-Aquisição -IEP53-Jan: 78 ETOS
Valor-Aquisição -IEP53-Maio: 124 ETOS

IEP54

Numero-de-Revisoes-Externas-de-Seguranca-Auditorias-e-Avaliaco es
Meta-Verde: 2 revisões, auditorias e avaliações
Meta-Vermelho: 1 revisões, auditorias e avaliações
Valor-Aquisição -IEP54-Jan: 1 revisões, auditorias e avaliações
Valor-Aquisição -IEP54-Maio: 1 revisões, auditorias e avaliações

IEP55

Numero-de-Seminarios-Sobre-Problemas-Relacionados-a-Seguranca
Meta-Verde: 2 seminários
Meta-Vermelho: 1 seminários
Valor-Aquisição -IEP55-Jan: 0 seminários
Valor-Aquisição -IEP55-Maio: 1 seminários

IEP56

Programa-Nacional-de-Intercomparacao-Variacao-Percentual-Desempenho
Meta-Verde: 90%
Meta-Vermelho: 70%
Valor-Aquisição -IEP56-Jan: 70%
Valor-Aquisição -IEP56-Maio: 100%

IEP57

Numero-de-Desvios-e-Falhas-Repetidas-ou-Similares
Meta-Verde: 20 desvios e falhas
Meta-Vermelho: 30 desvios e falhas
Valor-Aquisição -IEP57-Jan: 43 desvios e falhas
Valor-Aquisição -IEP57-Maio: 22 desvios e falhas

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

- ALLEGRO CL 1999, “*Allegro CL/Dynamic Object Oriented Programming System*”, User Guide.
- ASI 1997, Aviation Safety Indicators – “*A Report of System Safety Indicators Relating to the Australian Aviation Industry*”.
- ASSIS, A., “*Sistema Inteligente para Detecção de Falhas com Raciocínio Não-Monotômico*. Tese de M.Sc., COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, Brasil, 1999.
- CIA 2000, “*UK Chemical Industry’s Indicators of Performance 2000*”, www.cia.org/industry/iop.htm, dezembro.
- DOMINGOS, R. P., “*Modelos Neuronebulosos Evolucionários Aplicados ao Controle de Processos Nucleares*”. Tese de D. Sc., COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, Brasil, 2003.
- EPRI 2001, “*Electric Power Research Institute*”, www.epri.com, agosto.
- FABRI, J. A., “*Aplicação de um Sistema Especialista Fuzzy à Classificação de Flores (Íris)*”, III Fórum de Tecnologia – Encontro Regional de Atualização Tecnológica das Engenharias – X Seminário Regional de Informática, Universidades Regionais Integradas – Santo Ângelo – RS, setembro de 2000.
- FABRI, J. A. e RISSOLI, V. R. V., “*Desenvolvimento de um Sistema Especialista Fuzzy Aplicado a Domínios Genéricos de Conhecimento*”, IX Seminário de Computação (SEMINCO), Universidade Regional de Blumenau – Blumenau – SC, outubro de 2000.
- GOLD CORPORATION 2001, www.perthmint.com.au/gc/g_corporation/a_reports/2001annual/performanceindicators/content.asp, abril.
- HAYES-ROT, F., WATERMAN, D, et al, “*Building Expert Systems*”, USA, 1983.
- IAEA 2000, “*Operational Safety Performance Indicators for Nuclear Power Plants*”, TECDOC-1141, www.iaea.org, dezembro.
- IAEA 2005, “*International Atomic Energy Agency*”, www.iaea.org, junho.
- INMETRO 2005, “*Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial*”, www.inmetro.gov.br, janeiro.
- INPO 2001, 01-005, “*Indicators of Changing Performance*”, www.eh.doe.gov/inpo, setembro.
- INPO 2005, “*Institute of Nuclear Power Operations*”, www.eh.doe.gov/inpo, junho.

- MACHADO, L., “*Modelagem do Conhecimento para Sistemas Inteligentes de Monitoração de Segurança em Tempo-Real para Usinas Nucleares*”. Tese de M.Sc., COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, 1996.
- MARTORELL, S., SANCHEZ, A., et al, “*The Use of Maintenance Indicators to Evaluate the Effects of Maintenance Programs on NPP Performance and Safety*”, Reliability Engineering and System Safety 65 (1999) 85-94, 1998.
- NICOLETTI, M. C. “*Sistemas Nebulosos*”. PPG-CC-DC-UFSCar, www.dc.ufscar.br/~carro/fuzzy.html, 1999.
- NRC 2005, “*U. S. Nuclear Regulatory Commission*”, www.nrc.gov, julho.
- NRC 2002, 0030, “*Summary Report on NRC’s Historical Efforts to Develop and Use Performance Indicators*”, www.nrc.gov/reading-rm/doc-collections/comission/secys/2002/secy_2002-0030/2002-0030.html, julho.
- PASSINO, K. M. e YURKOVICH, S., “*Fuzzy Control*”, pp. 21-103, 1998.
- RICH, E. e KNIGHT, K., “*Inteligência Artificial*”, 2 ed., São Paulo, SP, 1993.
- RUMBAUGH, J., BIAHA, M., PREMIERLANI, W. et al, “*Modelagem e Projetos em Objetos*”. 8 ed., Rio de Janeiro, RJ, 1994.
- RUSSELL, S. e NORVIG, P., “*Artificial Intelligence – A Modern Approach*”, USA, 1995.
- SHAW, I. S. e SIMÕES, M. G., “*Controle e Modelagem Fuzzy*”. 1 ed, São Paulo, SP, 1999.
- SOUTO, K. C., “*Base para uma Arquitetura Cognitiva Destinada à Supervisão de Segurança na Operação de Usinas Nucleares*”, Tese de M. Sc, COPPE/UFRJ, RJ 2001.
- SOUTO, K. C. e SCHIRRU, R. “*Base para uma Arquitetura Cognitiva Destinada à Supervisão de Segurança na Operação de Usinas Nucleares*”, XIII ENFIR – R09 - 377, 2002.
- SOUTO, K. C. e SCHIRRU, R. “*Expert System With Fuzzy Logic for the Calculation of Performance and Security Indicators in Monitor*”, XIV ENFIR – R17 - 169, 2005.
- SZWARCFITER, L. J., “*Grafos e Algoritmos Computacionais*”. Rio de Janeiro, 1984.
- TAFNER, M. A., XEREZ, M. e FILHO, I. W. R., “*Redes Neurais Artificiais: Introdução e Princípios de Neurocomputação*”. Blumenau, 1995.
- WANO 2005, “*World Association of Nuclear Operators*”, www.wano.org.uk, junho.