

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA  
CENTRO DE TECNOLOGIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO DE ENGENHARIA ELÉTRICA**

**Júlio César Ribeiro**

**LÓGICA PARA CONSISTENTE ANOTADA DE TRÊS VALORES  
APLICADA EM RACIOCÍNIO BASEADO EM CASOS PARA  
DIAGNÓSTICO DE FALTA EM TRANSFORMADOR DE POTÊNCIA**

**Santa Maria, RS  
2016**

**Júlio César Ribeiro**

**LÓGICA PARACONSISTENTE ANOTADA DE TRÊS VALORES APLICADA EM  
RACIOCÍNIO BASEADO EM CASOS PARA DIAGNÓSTICO DE FALTA EM  
TRANSFORMADOR DE POTÊNCIA**

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Área de Concentração em Processamento de Energia, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Engenharia Elétrica**. Defesa com participação por videoconferência.

Orientador: Ghendy Cardoso Junior, Dr. Eng.

Santa Maria, RS  
2016

Ficha catalográfica elaborada através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Central da UFSM, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Ribeiro, Júlio César  
Lógica Paraconsistente Anotada de Três Valores  
Aplicada em Raciocínio Baseado em Casos para Diagnóstico  
de Falta em Transformador de Potência / Júlio César  
Ribeiro.-2016.  
99 p.; 30cm

Orientador: Ghendy Cardoso Junior  
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa  
Maria, Centro de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em  
Engenharia Elétrica, RS, 2016

1. Proteção 2. Redes Neurais 3. Classificação de Faltas  
4. Diagnóstico de Faltas I. Cardoso Junior, Ghendy II.  
Título.

---

©2016

Todos os direitos autorais reservados a Júlio César Ribeiro. A reprodução de partes ou do todo deste trabalho só poderá ser feita mediante a citação da fonte.

Endereço: Rua da Juventude, n. 4427, apto. 201, Bairro Floresta, Porto Velho, RO. CEP 76806-380.

E-mail: julio.ribeiro@unir.br / reis\_ribeiro@hotmail.com

**Júlio César Ribeiro**

**LÓGICA PARACONSISTENTE ANOTADA DE TRÊS VALORES APLICADA EM  
RACIOCÍNIO BASEADO EM CASOS PARA DIAGNÓSTICO DE FALTA EM  
TRANSFORMADOR DE POTÊNCIA**

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Área de Concentração em Processamento de Energia, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Engenharia Elétrica**. Defesa com participação por videoconferência.

**Aprovado em 29 de março de 2016**

---

**Ghendy Cardoso Junior**, Dr. Eng. (UFSM)  
(Presidente/Orientador)

---

**Olinto Cesar Bassi de Araujo**, Dr. Eng. (CTISM/UFSM)

---

**Paulo Cícero Fritzen**, Dr. Eng. (UTFPR)  
(Participação por videoconferência)

Santa Maria, RS  
2016

## **DEDICATÓRIA**

Ao meu anjo João Lucas; à Patrícia Mara Cabral de Vasconcellos, pelo companheirismo, apoio e paciência; e à minha recém-chegada princesa Ana Júlia Cabral de Vasconcellos Ribeiro.

## AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer às instituições e às pessoas que contribuíram, direta ou indiretamente, para a concretização desta dissertação.

Aos professores do UFSM, Lenois Mariotto, Diego Berlezi Ramos, pelo incentivo, sugestões e contribuições e, em especial, ao Professor Ghendy Cardoso Junior, pela orientação e, mais do que isto, pela confiança e pela compreensão nos momentos difíceis;

Aos Coordenadores do DINTER (UNIR/UFSM), professores Carlos Alberto Tenório de Carvalho Júnior e José Renes Pinheiro e aos professores Antônio Carlos Duarte Ricciotti e Viviane Barrozo da Silva;

Aos professores Germano Lambert Torres e João Inácio da Silva Filho por disponibilizarem seu tempo para colaborar com a pesquisa;

À Universidade Federal de Rondônia, em especial o Departamento de Engenharia Elétrica, por compreender a importância da qualificação de seus docentes e permitir o afastamento para a realização do mestrado;

À Universidade Federal de Santa Maria – UFSM;

Aos meus pais, José Agostinho e Lúcia Helena, pela ajuda na leitura atenta do trabalho, sempre ao meu lado;

Aos meus sogro (a), Mário e Benedita;

À família (irmãos, sobrinhas, sobrinhos, cunhadas, cunhados) que torcem por mim e que são a base emocional de minhas conquistas;

Aos amigos que nem sabem o quanto contribuíram para a realização deste trabalho, Selma e Neymar;

À minha esposa, Patrícia Mara Cabral de Vasconcellos, para quem me faltam palavras para descrever sua importância.

## RESUMO

# LÓGICA PARACONSISTENTE ANOTADA DE TRÊS VALORES APLICADA EM RACIOCÍNIO BASEADO EM CASOS PARA DIAGNÓSTICO DE FALTA EM TRANSFORMADOR DE POTÊNCIA

AUTOR: Júlio César Ribeiro

ORIENTADOR: Ghendy Cardoso Junior

Em vista da dificuldade do operador em classificar e diagnosticar a falta, este trabalho apresenta os resultados obtidos da Lógica Paraconsistente Anotada de Três Valores (LPA3v) em Raciocínio Baseado em Casos (RBC), para classificar e identificar diferentes tipos de faltas no Sistema Elétrico de Potência. A classificação e identificação das faltas têm, como base de informações, os alarmes associados ao disparo dos relés de proteção. Após o desligamento da rede elétrica por ação dos relés de proteção, cabe ao operador selecionar as mensagens mais relevantes; extrair uma conclusão a partir dos dados disponíveis e agir apropriadamente no sentido de restabelecer a energia. No trabalho em questão, a proteção é constituída por cinco relés: diferencial 87, Buchholz 63, relé de proteção de terra restrito 64, sobrecorrente de fase 51, temporizado e sobrecorrente de neutro, temporizado 51N. Os cinco relés geram 32 possibilidades de operações; dentre elas, apenas cinco são conhecidas. As cinco operações conhecidas compõem uma matriz (5x5) chamada de **Base de Conhecimento**. O funcionamento da LPA3v em RBC utiliza a Função Casamento de Cosseno Modificado para estabelecer o grau de similaridade entre a **Base de Conhecimento** com as outras 27 combinações desconhecidas. A partir do Grau de Casamento (Gcas), é possível identificar os eventos das 27 combinações através da LPA3v em RBC. A fim de validação, os resultados foram comparados com aqueles obtidos a partir do teorema de Bayes. Os testes foram realizados com base no esquema de proteção de Transformadores de Potência (TDP), sendo esse constituído pelas cinco funções de proteção. Os resultados mostram que o modelo proposto apresenta desempenho superior à Rede Neural de Regressão Generalizada (RNRG). Por fim, os resultados deste trabalho mostram que a LPA3v em RBC, quando comparada com as Redes Neurais GRNN, apresenta resultado superior, além de apresentar uma assertividade de 100% comparada com a tabela de classificação e identificação das falta do teorema de Bayes.

**Palavras-chave:** proteção, redes neurais, classificação de faltas, diagnóstico de faltas.

## ABSTRACT

# THREE VALUES ANNOTATED PARACONSISTENT LOGIC APPLIED IN CASE BASED REASONING FOR FAULT DIAGNOSIS IN POWER TRANSFORMERS

AUTHOR: Júlio César Ribeiro

ADVISOR: Ghendy Cardoso Junior

Considering the operator's difficulty in classifying and diagnosing the fault, this article presents the results obtained through Three Values Annotated Paraconsistent Logic (3vAPL) in Case-based Reasoning (CBR) in order to identify different types of faults in the Electrical Power Systems. The faults' classification and identification have the alarms - associated with the triggering of protection relays - as information basis. After the shutting down of the electrical network for protection, it is up to the operator to select the most relevant messages, to extract a conclusion based on the available data and to suitably act towards the reestablishment of the energy. For the work in question, protection is constituted of five relays, being: differential 87, Buchholz 63, restricted earth fault relay 64, phase overcurrent 51, timed and neutral overcurrent, timed 51N. The five relays generate 32 operation possibilities; only five of them are known. The five known operations compose a matrix (5x5) called Knowledge Basis. the functioning of the 3vAPL in CBR uses the Modified Cosine Matching Function (MCMF) to establish a similarity degree ( $G_{cas}$ ) between the Knowledge Basis and the other 27 unknown combinations. From the  $G_{cas}$ , it is possible to identify the events of the 27 combinations through the 3vAPL in CBR. Aiming at validation, the results have been compared to those obtained through the Bayes theorem. The tests have been carried out based on the protection scheme of Power Transformers (PT), which are formed of five protection functions. The results show that the proposed model presents a performance that is superior to that of the Generalized Neural Network (GRNN). Finally, the results of this work show that the 3vAPL in CBR, when compared to the GRNN Neural Networks, present a superior result, besides showing a 100% assertiveness when compared to the classification and identification table of faults by the Bayes theorem

**Keywords:** protection, neural network, faults' classification, diagnosis of faults.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 2.1 – Quadro Unitário do Plano Cartesiano (QUPC).....	11
Figura 2.2 – Mudança de Escala.....	12
Figura 2.3 – Rotação de $45^\circ$ .....	13
Figura 2.4 – Translação .....	14
Figura 2.5 – Valores de Saída do Gc e Gct .....	15
Figura 2.6 – Reticulado do Plano Cartesiano .....	15
Figura 2.7 – Demonstração da Atuação dos Valores de Controle.....	17
Figura 2.8 – Representação Simbólica de um NAP .....	19
Figura 2.9 – Cubo Analisador Unitário .....	19
Figura 2.10 – Cubo Analisador da LPA3v, para $e = 0,5$ .....	20
Figura 2.11 – Cubo Analisador da LPA3v para $e = 0,75$ .....	21
Figura 2.12 – Cubo Analisador da LPA3v para $e = 1$ .....	22
Figura 2.13 – Cubo Analisador da LPA3v $e = 0,25$ .....	23
Figura 2.14 – Cubo Analisador da LPA3v $e = 0,0$ .....	23
Figura 2.15 – Visão das Regiões V e F Dentro do Cubo Analisador da LPA3v.....	24
Figura 2.16 – Visão das Regiões T e $\perp$ Dentro do Cubo Analisador da LPA3v.....	25
Figura 3.1 – Ciclo RBC .....	35
Figura 3.2 – Ilustração entre dois conjuntos característicos.....	39
Figura 3.3 – Sim (d, q) do cosseno de $\theta$ .....	40
Figura 4.1 – Gráfico de Geração x Consumo de Energia Elétrica no Brasil.....	50
Figura 4.2 – Gráfico de Geração x Consumo de Energia Elétrica Mundial.....	51
Figura 4.3 – Esquema de Proteção de um transformador de três enrolamentos.....	59
Figura 5.1 – Esquema de proteção adotado.....	63
Figura 5.2 – Comparação dos Resultados entre <i>Software</i> MatLab e Protótipo Recuperador ..	67
Figura 5.3 – Gráfico Índice de Acerto dos Casos.....	75

## LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 – Delimitação das Regiões do Reticulado do Plano Cartesiano .....	16
Tabela 2.2 – Regiões Tendenciosas do Estado Lógico .....	16
Tabela 2.3 – Valores de Controle .....	16
Tabela 2.4 – Determinação dos valores de Controle e dos Ponto Notáveis .....	18
Tabela 3.1 – Eventos do Caso Novo e Caso Prévio .....	43
Tabela 3.2 – Resultado dos Diagnósticos dados por cada Função .....	43
Tabela 5.1 – Matriz Base de Conhecimento.....	64
Tabela 5.2 – Matriz Extensão de Escala.....	65
Tabela 5.3 – Diagnóstico e suas Extensões de Escala.....	65
Tabela 5.4 – Base de Conhecimento .....	68
Tabela 5.5 – Probabilidade de Operação dos Relés.....	69
Tabela 5.6 – Probabilidade de Ocorrência dos Eventos .....	69
Tabela 5.7 – Apresentação das 32 Possibilidades de Operação, Diagnósticos Obtidos pelo Teorema de Bayes e RNRG.....	70
Tabela 5.8 – Estratégia de Ajuste dos Relés.....	71
Tabela 5.9 – Estratégia de Ajuste do Caso 1 .....	72
Tabela 5.10 – Resultado do Grau de Casamento do Caso 1 .....	72
Tabela 5.11 – Estratégia de Ajuste do Caso 2 .....	73
Tabela 5.12 – Resultado do Grau de Casamento do Caso 2.....	73
Tabela 5.13 – Estratégia de Ajuste do Caso 3 .....	74
Tabela 5.14 – Resultado do Grau de Casamento do Caso 3.....	74
Tabela 5.15 – Índice de Acertos dos Casos .....	75
Tabela 6.1 – Composição dos Dados de Entrada e Saída da LPA3v.....	77
Tabela 6.2 – Diagnóstico para Valor de <i>Sensibilidade</i> $s = 0,0$ .....	78
Tabela 6.3 – Diagnóstico para Valor de <i>Sensibilidade</i> $s = 0,1$ .....	79
Tabela 6.4 – Diagnóstico para Valor de <i>Sensibilidade</i> $s = 0,15$ .....	80
Tabela 6.5 – Comportamento do Diagnóstico para $e = 0,223$ .....	81

## LISTA DE ABREVIATURAS

49.1/49.2/49.3	Relé Térmico
51	Relé de Sobrecorrente Temporizado
64	Relé de Proteção de Terra Restrito
86	Relé de Bloqueio
87	Relé Diferencial
51N	Relé de Sobrecorrente Temporizado de Neutro
26T	Dispositivo Térmico do Equipamento
63T/63	Relé de Pressão de Gás ou Relé Buchholz
AC	Corrente Alternada
ACP	Análise Conjunto de Pares
ACP	Análise de Componentes Principais
ACV	Avaliação do Ciclo de Vida
AGD	Análise de Gás Dissolvido
ANSI	American National Standards Institute
BC	Base de Conhecimento
CC	Corrente Contínua
CCM	Casamento de Cosseno Modificado
CEEE	Companhia Estadual de Energia Elétrica
CN	Caso Novo
CT	Contraste de Tversky
DCU	Directional Check Unit
DFT	Discrete Fourier Transform
Dge	Diagnóstico do Especialista
E	Evento
<i>e</i>	<i>Grau de Especialista</i>
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
FCE	Função de Comportamento Estrutural
IA	Índices de Acerto
ID	Índice de Detecção
IEC	International Electrotechnical Commission
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
IPTP	Improved Power Transformer Protection
LPA2v	Lógica Paraconsistente Anotada de Dois Valores
LPA3v	Lógica Paraconsistente Anotada de Três Valores
LPC	Linha Perfeitamente Consistente
LPI	Linha Perfeitamente Inconsistente
NAP	Nó de Análise Paraconsistente
ONS	Operador Nacional do Sistema Elétrico
PNS	Proteção Não Seletiva
PS	Proteção Seletiva
PVI	Parcela Variável por Indisponibilidade
QUPC	Quadro Unitário do Plano Cartesiano
RBC	Raciocínio Baseado em Casos
RDP	Registrador Digital de Perturbação
RNA	Rede Neural Artificial

RNAP	Rede Neural Artificial Paraconsistente
RNRG	Rede Neural de Regressão Generalizada
SCADA Dados)	Supervisory Control and Data Acquisition (Supervisão e Controle e Aquisição de
SEP	Sistema Elétrico de Potência
SNPRF	Sistema Neural Pulsante em Raciocínio Fuzzy
TC	Transformador de Corrente
TDP	Transformador de Potência

## LISTA DE SÍMBOLOS

$P_\mu$	Proposição Anotada
$\mu_1$	Grau de Crença
$\mu_2$	Grau de Descrença
F	Falso
V	Verdade
$\perp$	Indeterminado
T	Inconsistente
T	Transformação Linear
$\circ$	Composição da Transformação Linear
$G_c$	Grau de Crença
$G_{ct}$	Grau de Contradição
D	Denota Vetor Caso Prévio.
C1/Vscc	Valor Superior de Controle de Certeza.
C2/Vicc	Valor Inferior de Controle de Certeza.
C3/Vscct	Valor Superior de Controle de Contradição.
C4/Vicct	Valor Inferior de Controle de Contradição.
q	Quase
$\rightarrow$	Tendendo
$\neg$	Condição de Negação
$\varphi_E$	Intervalo de Evidência Resultante
$G_{Crr}$	Grau de Certeza Resultante Real
$\lambda$	Grau de Descrença
$\mu$	Grau de Crença
NN	Função do Vizinho mais Próximo.
I	Elemento
N	Caso Novo
pk	Caso Prévio
$\omega_i^n$	Peso do Caso Novo
$\omega_i^{pk}$	Peso do Caso Prévio
CT	Contraste de Tversky
Sim	Similaridade
$\vec{d}$	Vetor Caso Prévio
$\vec{q}$	Vetor Caso Novo
$G_{cas}$	Grau de Casamento
R	Valor Máximo de Escala
E	Evento
H	Diagnóstico
CN	Caso Novo
BC	Base de Conhecimento
<b>a</b>	Granular
<b>b</b>	Viscosidade
<b>c</b>	Cor
<b>d</b>	Nível de Ph
D	Diagnóstico
<b>e</b>	Velocidade de Rotação

f	Temperatura
X	Valores de Ajuste do Estado de Não Operação do Relé
Y	Valores de Ajuste do Estado de Operação do Relé

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO .....	1
1.1	Considerações gerais.....	1
1.2	Contribuições e objetivos.....	2
1.3	Estado-da-arte .....	3
1.4	Estrutura do trabalho.....	8
2	TEORIA DA LÓGICA PARACONSISTENTE ANOTADA .....	10
2.1	Lógica paraconsistente.....	10
2.2	Transformação linear a partir do QUPC .....	12
2.3	Considerações gerais do <i>grau de especialista (e)</i> .....	18
2.4	Determinação do <i>grau de especialista (e)</i> .....	19
2.4.1	Para <i>grau de especialista e = 0,5</i> .....	20
2.4.2	Para <i>grau de especialista e = 0,75 e e = 1</i> .....	21
2.4.3	Para <i>grau de especialista e = 0,25 e e = 0</i> .....	22
2.5	Linhas de conexões do cubo analisador.....	24
2.5.1	Regiões de verdade e falso abaixo das linhas de conexão .....	24
2.5.2	Regiões inconsistente e indeterminado abaixo das linhas de conexão .....	25
2.6	Algoritmo da lógica paraconsistente anotada .....	25
2.7	Trabalhos relacionados à lógica paraconsistente anotada.....	31
2.8	Considerações finais .....	32
3	RACIOCÍNIO BASEADO EM CASOS – RBC .....	34
3.1	Modelo de representação do sistema RBC .....	34
3.2	Função de similaridade .....	36
3.2.1	Vizinho mais próximo.....	37
3.2.2	Casamento de contraste de tversky .....	38
3.2.3	Modelo de vetor .....	39
3.2.4	Função casamento do cosseno modificado (C. C. M.).....	40
3.3	Comparação das funções de similaridade .....	41
3.4	Sistema RBC: uma breve revisão .....	45
3.5	Considerações finais .....	46
4	PROTEÇÃO DO SISTEMA ELÉTRICO DE POTÊNCIA – SEP .....	48
4.1	Contextualização do SEP .....	49
4.2	Dados estatísticos: nacional e mundial do SEP .....	50
4.3	Diagnóstico de falta no SEP .....	52
4.4	Transformador de potência (TDP).....	53

4.5	Proteção do transformador de potência uma breve revisão .....	54
4.6	Considerações gerais da proteção do transformador .....	56
4.7	Faltas em transformador de potência .....	57
4.8	Relés e filosofias de proteção do transformador de potência .....	59
4.9	Considerações finais .....	61
5	METODOLOGIA, VALIDAÇÃO E APLICAÇÃO DA FUNÇÃO GRAU DE CASAMENTO .....	62
5.1	Metodologia .....	62
5.2	Validação da função grau de casamento .....	64
5.2.1	Cálculo do grau de casamento (Gcas).....	66
5.2.2	Comparação dos resultados para fins de comparação.....	67
5.3	Resultados do teorema de bayes e rede neural de regressão generalizada .....	68
5.4	Composição dos Resultados Grau de Casamento.....	71
5.5	Considerações finais .....	76
6	RESULTADOS FINAIS DA LPA3 <sub>v</sub> APLICADA EM RBC.....	77
6.1	Composição e diagnóstico final da LPA3 <sub>v</sub> aplicado em RBC .....	77
6.2	Considerações finais .....	81
7	CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	82
7.1	Conclusões .....	82
7.2	Sugestões para trabalhos futuros.....	82
	REFERÊNCIAS .....	84
	APÊNDICE A – DIAGNÓSTICO PARA VALOR DE SENSIBILIDADE $s = 0,00$ ..	90
	APÊNDICE B – DIAGNÓSTICO PARA VALOR DE SENSIBILIDADE $s = 0,1$ ....	91
	APÊNDICE C – DIAGNÓSTICO PARA VALOR DE SENSIBILIDADE $s = 0,15$ ..	92
	APÊNDICE D – ALGORITMO PARA – ESPECIALISTA .....	93

# 1 INTRODUÇÃO

Neste capítulo serão apresentadas algumas considerações relacionadas ao tema de classificação e diagnóstico de faltas no Sistema Elétrico de Potência (SEP) e classificação e diagnóstico de falta no Transformador de Potência (TDP). Uma base de conhecimento é amplamente consultada para demonstrar a importância do tema deste trabalho nas últimas décadas e na atualidade. Finalizando, serão apresentadas as contribuições científicas referentes a esta proposição, sua estrutura de apresentação, bem como uma breve conclusão deste capítulo.

## 1.1 Considerações gerais

Nas últimas décadas o consumo de energia elétrica vem crescendo de forma expressiva, exigindo que as empresas responsáveis pelo Sistema Elétrico de Potência acompanhem o forte crescimento e garantam aos consumidores uma energia ininterrupta e de qualidade. Como consequência do cenário atual, as redes de transmissão de energia estão cada vez mais interligadas e extensas, o que dificulta a operacionalidade do sistema elétrico. A fim de minimizar os impactos em casos de uma descontinuidade da fonte de suprimento e garantir a qualidade da energia fornecida, é de fundamental importância a busca por novas técnicas que possibilitem auxiliar e apoiar a operação. As empresas do Setor Elétrico vêm buscando melhorias no monitoramento de alarmes, no diagnóstico e localização de faltas e na restauração rápida e assertiva do sistema. Nesse sentido, há décadas, empresas e pesquisadores estudam diferentes técnicas de detecção e classificação de falta no SEP.

Após a ocorrência de uma falta permanente ou transitória, os equipamentos de proteção (relés e disjuntores) são acionados acarretando em um desligamento temporário ou permanente. Tal desligamento tem como objetivo isolar a parte defeituosa do Sistema Elétrico de Potência e restabelecer a parte sã. No entanto, o reestabelecimento rápido e eficiente do fornecimento de energia dependerá de uma equipe de manutenção especializada e capacitada para tal função. Ao operador especialista compete analisar de forma rápida e eficiente um grande conjunto de informações (mensagens e alarmes) advindas dos relés de proteção e somente após a análise é que se poderá proceder com a etapa do restabelecimento da energia elétrica. Outra responsabilidade do operador é a análise após este processo, chamada de análise pós-morte. A análise pós-morte é de fundamental importância para a compreensão dos

motivos que levaram à referida falta, além de contribuir e ampliar a base de conhecimento do operador ou do método computacional utilizado para diagnosticar a falta.

Para CARDOSO JUNIOR (2003, p. 2) “Outra dificuldade na análise das informações são as falhas em unidades terminais remotas (UTR), nos canais de comunicação ou na aquisição de dados, implicando em informação incompleta ou corrompida, o que dificulta ainda mais a tarefa de diagnóstico”. Assim, diante de um grande conjunto de informações e da possibilidade de falha dessas informações, a interpretação equivocada dos alarmes e mensagens, por parte do operador especialista, torna-se inevitável. Tais equívocos podem acarretar em um tempo maior para o restabelecimento do sistema, além da possibilidade de causar maiores danos ao Sistema Elétrico.

A qualidade do fornecimento de energia no Brasil é estabelecida pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL)<sup>1</sup>, através de indicadores de impacto. Esses indicadores são influenciados nos casos de ocorrências de descontinuidade de energia não programada por parte das empresas concessionárias.

Visando a solucionar os problemas de descontinuidade, é de fundamental importância uma ferramenta computacional que auxilie, em tempo real, a equipe de manutenção no restabelecimento de energia e, conseqüentemente, minimizar os indicadores da ANEEL. No entanto, tal ferramenta de auxílio está longe do trivial tendo em vista a diversidade das causas referentes à descontinuidade. Entre alguns métodos computacionais mais utilizados por pesquisadores ao longo de décadas, destacam-se as Lógicas Nebulosas, Funções de Similaridades e Redes Neurais Artificiais.

A fim de auxiliar a equipe de manutenção para a classificação e diagnóstico de falta em tempo real, o presente trabalho irá focar em uma lógica filosófica pouco aplicada na área do SEP. A lógica proposta trabalha com duas situações de diagnóstico ao mesmo tempo, proporcionando ao operador tomar decisões no restabelecimento a partir de dois diagnósticos semelhantes.

## 1.2 Contribuições e objetivos

Os principais aspectos de contribuição da presente pesquisa estão baseados na dupla

---

<sup>1</sup> Revisão 6 da Resolução Normativa nº 641/2014 estabelece os Indicadores de Continuidade do Serviço de Distribuição de Energia Elétrica. O indicador visa medir e avaliar de forma quantitativa a qualidade do serviço prestado e o desempenho do sistema elétrico, acarretando em multas ou, em casos extremos, a suspensão do direito de prestação de serviço (suspensão da concessão). Os mais comumente utilizados são: DIC, FIC, DMIC, DICRI, DEC FEC.

interpretação para a solução de um evento, ou seja, o trabalho proposto não descarta soluções potencialmente relevantes na ocorrência de um evento. Ao contrário de outras técnicas largamente difundidas, em que um único diagnóstico de falta é disponibilizado, essa disponibiliza e classifica para o operador do sistema elétrico duas soluções potencialmente relevantes. Dessa forma, tem-se um método de diagnóstico e uma classificação de falta mais robusta.

Nesse sentido, podem-se destacar neste trabalho os seguintes fatores de inovação e contribuição:

- Possibilita que o operador trabalhe com informação inconsistente e indeterminada;
- O diagnóstico e a classificação da falta utilizam informações registradas somente nas subestações, não necessitando de quaisquer outras informações como medições de sinais ao longo dos alimentadores;
- O método proposto é de fácil aplicação em sistemas reais de transmissão ou distribuição.

Em suma, tendo em vista que, ao final, a pesquisa é uma experiência subjetiva e que o diagnóstico e classificação de falta é um processo não trivial devido às diversidades dos tipos de falta do SEP, o que se busca como objetivo neste trabalho, não é um domínio da tecnologia envolvida, mas sim proporcionar à ciência e aos operadores do sistema, novas formas e alternativas de interpretação do diagnóstico, de modo a tornarem essas interpretações mais eficazes e de fácil aplicação.

### **1.3 Estado-da-arte**

O objetivo dessa subseção é mostrar a base de conhecimento consultada para a elaboração e implementação deste projeto, aprofundando o conhecimento em publicações mais antigas e principalmente em publicações mais recentes relacionadas à área de pesquisa deste trabalho. As publicações mencionadas nessa subseção e nas subseções subsequentes estão em ordem cronológica e são resultados de uma pesquisa multidisciplinar.

Nos últimos anos, pesquisadores vêm intensificando seus estudos na tentativa de solucionar em tempo hábil a restauração da fonte de suprimento. Nesse sentido, em 1991, ENGLERT, CHOWDHURY e GRIGSBY realizaram uma investigação em laboratório para

detectar faltas em linhas de transmissão elétrica e descreveram, nessa pesquisa, a importância do tema em relação à continuidade do serviço:

Um dos principais objetivos dos sistemas de energia elétrica de utilidade pública é manter um alto nível de continuidade de serviço. É impossível evitar a falha acidental ou a operação incorreta devido a erro humano e conexões acidentais ou "flash over" entre os fios ou a partir de fios de terra ao longo dos sistemas de entrega. Detecção e análise da ocorrência de tais falhas nestes sistemas são essenciais para a manutenção em tempo útil de serviço (ENGLERT, CHOWDHURY e GRIGSBY, 1991, p. 919, tradução nossa).

Já em 2002, ADU enfatizou a importância do monitoramento e gravação de dados referentes às ocorrências de falta do sistema elétrico. Na época, o modelo foi apresentado como uma nova técnica de classificação de falta *shunt* em linhas de transmissão, utilizando a combinação dos ângulos de fase dos fasores de correntes, onde o autor destaca que:

O desempenho do sistema de energia bem como os componentes individuais podem ser avaliados através da análise de dados captados por dispositivos de monitoramento, tais como registradores de falta. Registradores de falta podem ser configurados para capturar partes específicas de dados normais, anormais, e pós anormais durante a operação do sistema de alimentação (ADU, 2002, p. 684, tradução nossa).

Seguindo nessa tendência e a fim de apontar os atuais trabalhos referentes ao diagnóstico e classificação de falta no SEP, tal como os elementos que o compõem, podem-se destacar as seguintes pesquisas:

HOOSHYAR, SANAYE-PASAND, *et al.*, 2012 propôs um novo algoritmo baseado nas características e análise da forma de onda da potência para evitar o desligamento incorreto do transformador nas condições de *inrush*. No trabalho foram propostas duas técnicas de reconhecimento da forma de onda: primeiramente foi proposta uma técnica de correlação das formas de onda da potência média, onde foi analisado que o comportamento da onda senoidal difere nas condições *inrush* e de falta. Observou-se que nas condições de falta a potência média apresenta uma forma de onda ímpar; em seguida, fazendo uso dessa diferença, foi proposta a técnica de extração de funções pares e ímpares, permitindo assim identificar as condições de *inrush* no transformador de potência. Os autores destacam que as técnicas propostas são eficientes para identificação de todas as situações de curto-circuito e de corrente *inrush*.

WANG, WU e XU (2014) empregou um modelo chamado de Fusão de Informações de Múltiplas Fontes para diagnosticar falta em transformadores a óleo. O modelo baseia-se em uma rede neural composta por um algoritmo de retropropagação responsável pela forma

de treinamento da rede neural. A Fusão de Informação é uma ferramenta inteligente que processa várias informações advindas de múltiplas fontes como: *Supervisory Control and Data Acquisition* (SCADA) ou Sistema de Supervisão e Aquisição de Dados, Sensores de Monitoramento em Tempo Real, Sensores Análise de Gás Dissolvido (AGD), Dados Elétricos do Transformador e Registro de Operação e Manutenção do Transformador. Essas informações são armazenadas em uma estrutura centralizada e processada em tempo real pela rede neural através de algoritmos de retropropagação. Como resultado da pesquisa, o modelo diagnosticou de forma precisa o tipo de falta ocorrido no transformador, além de fornecer ao operador quais as medidas deveriam ser tomadas. Uma das vantagens do método é a inclusão das informações da AGD, pois permite a coleta de dados sem que haja uma falta efetiva. O autor destaca que, apesar dos resultados apresentarem uma melhoria no diagnóstico de falta, o modelo pode apresentar lentidão na fusão e processamento das informações, tendo em vista que o sistema trabalha com uma carga pesada de informações.

Outra abordagem para melhoria de confiabilidade no diagnóstico de falta em transformadores imerso a óleo foi proposto por LI, YONG, *et al.* (2015). Nessa abordagem, os autores utilizam a combinação de dois métodos: Análise Conjunto de Pares (ACP) e Regras de Associação. Para LI, YONG, *et al.*, a ACP é um novo teorema matemático para analisar a certeza e incerteza de um diagnóstico a partir de três matrizes: matriz grau de Igualdade (I); matriz grau de Discrepância (D); matriz grau de Contraditório (C) ou simplesmente matrizes IDC. Já a Regra de Associação é um valor de confiança que estabelece a relação entre o tipo de falta, dado um sintoma de falta chamado de matriz Coeficiente de Peso. De forma resumida, o somatório dos produtos das matrizes IDC e matriz Coeficiente de Peso estabelecem um Grau de Conexão responsável por diagnosticar o tipo de falta e as condições de operação do transformador. Segundo o autor, a vantagem é que o método ACP estabelece um diagnóstico de falta e condições operacionais do transformador, a partir de informações incertas advindas de uma base de informação inconsistente, além de evitar a subjetividade do especialista devido ao grande número de informações do sintoma de falta.

O trabalho proposto por CIESLASK e MORETO (2015) utiliza o raciocínio Fuzzy para analisar os dados do Registrador Digital de Perturbação (RDP) ou “*Digital Fault Recorder*”. Tal análise possibilita automatizar os distúrbios ocorridos em uma usina de energia. O método utiliza o valor médio das tensões e correntes como entrada que, combinado com um conjunto de regras, possibilita diagnosticar tais distúrbios. Os dados do RDP são pré-processados e suas grandezas trifásicas fasoriais são decompostas em componentes simétricos, o componente de sequência positiva é segmentado em pré-distúrbio, pós-distúrbio

e transitório, sendo esses utilizados para análise. O valor médio das tensões e correntes determina as características do distúrbio. Destaca-se que o processo de segmentação utiliza o Índice de Detecção (ID), baseado no desvio padrão dos sinais amostrados (MORETO e ROLIM, 2011, apud CIESLASK e MORETO, 2015, p. 2); assim quando o valor do ID ultrapassa um limiar, considera-se que um evento foi detectado. O modelo provou ser capaz de diagnosticar condições normais de operação, além de identificar o local da falta. A eficiência foi comprovada com base nas informações reais de uma usina termoelétrica.

Seguindo na mesma metodologia da lógica fuzzy, PENG, WANG, *et al.* (2013) estendeu o raciocínio fuzzy para um novo método de modelagem baseado em Sistema Neural Pulsada (SNP) para diagnóstico de falta em transformadores de potência. O SNP é considerado uma nova classe de modelo de computação paralela e distribuída, em que a comunicação entre neurônios se dá através de pulsos neurais. O modelo proposto nesse trabalho é chamado de Sistema Neural Pulsante em Raciocínio Fuzzy (SNPRF). Um exemplo prático de um sistema de diagnóstico de falta em transformadores e uma base de conhecimento foi utilizado para ilustrar e modelar as regras do SNPRF. Os resultados demonstraram ser consistentes quando comparada com uma situação real de operação, além de proporcionar vantagens como: alta compreensibilidade de interpretação dos diagnósticos e sincronização para descrever acontecimentos ou atividades simultâneas. No entanto, a utilização do sistema neural pulsante sem a extensão do raciocínio fuzzy pode não apresentar bons resultados no trabalho em questão. Nesse sentido, PENG, WANG, *et al.* (2013, p. 108, tradução nossa) descreve no trabalho que: “[...] as formas atuais do sistema SNP e suas versões existentes podem não lidar com problemas similares”.

A SNP vem motivando pesquisadores a criarem novas formas de sistemas neurais pulsantes. WANG, ZHANG, *et al.*, (2015) utilizou a SNP como uma modelagem gráfica chamada de Sistema Neural Pulsante para Diagnóstico de Falta (SNPDF). O modelo é formado por três algoritmos: SNPDF responsável por localizar as áreas candidatas à falta - esse utiliza as informações do SCADA; um algoritmo constituído pelo Sistema Neural Pulsante em Raciocínio Fuzzy (SNPRF), responsável por verificar se há mais de uma seção em falta; e um algoritmo algébrico Fuzzy, responsável por estabelecer um nível de confiança caso haja uma ou mais seções em falta. Para a validação e viabilidade do modelo, foram utilizados sete casos de um subsistema local. Os resultados dos estudos mostraram que o FDSNP é eficaz no diagnóstico em redes de transmissão, em situações de falha simples e múltiplas. Os autores descrevem que o Sistema Neural Pulsante, em inglês, “*Spiking Neural P Systems*” é apresentado nas literaturas como a terceira geração da Rede Neural Artificial

(RNA).

Um programa de Representação do Conhecimento e modelos de Rede Petri para diagnóstico de falta foi proposto por WANG, CHEN, *et al.*, (2015). A Representação do Conhecimento é utilizada apenas como uma base de informações para armazenar e descrever as ocorrências de falta em uma rede elétrica, não possuindo quaisquer capacidades dedutivas referentes à seção em falta. A base de informações é composta pela topologia da rede elétrica, informações referentes à operação do relé de proteção e mensagens do alarme do SCADA. A capacidade dedutiva para o diagnóstico de falta é estabelecida pela Rede Petri que utiliza um raciocínio lógico capaz de combinar as informações da base de dados da Representação do Conhecimento e obter um diagnóstico eficaz da seção em falta. O programa foi implementado em um centro de controle para auxiliar o operador a identificar de modo simples e rápido as seções em falta. O autor enfatiza que o programa mostrou ser adaptável em todo tipo de elementos e redes do sistema de proteção, podendo ser utilizado como interface para redes inteligentes que utilizam a autorrecomposição, conhecido como “*self-healing*”.

GONZALES VASQUES e SELLSCHOPP (2015) propuseram uma técnica de localização e diagnóstico de falta baseada na medição de sincronismo dos fasores, combinado com a Análise de Componentes Principais (ACP). A ACP é definida como uma transformação linear ortogonal, ou seja, é a transformação dos dados originais em um novo sistema de coordenadas, de forma que os componentes da nova coordenada sejam ortogonais entre si e na direção de máxima variância dos dados originais. O objetivo principal é reduzir a dimensão da matriz de n-dimensões para p-dimensões, em que p-dimensões seja composto por componentes principais da rede de máxima variância. O critério para localização e diagnóstico da falta (baseado nos ângulos de fase da tensão pré e pós falta de cada nó da rede) é determinado pelo componente principal de maior variância (nó da rede). Para validação, foi utilizado o sistema de Nova Inglaterra de 345 KV de 39 barras; os resultados demonstraram que a técnica localiza e diagnostica o elemento em falta de forma simples, confiável e segura, sendo possível executar a técnica em tempo real.

Finalizando a base de conhecimento consultada, pode-se destacar o trabalho de OLIVEIRA, PEÇANHA, *et al.* (2014) que desenvolveu um equipamento de baixo custo para uso interno no ambiente de uma subestação. Segundo o autor, na ocorrência de uma falha: “[...] são registrados como pontos de um oscilograma e são transmitidos via modem GSM/GPRS, na forma de um arquivo texto, para um site da web”. Após a transmissão, os dados são tratados através de redes neurais artificiais e aplicados na correta identificação de falta por transiente. Diferentemente dos trabalhos citados acima, em que as aplicações

concentraram em SEP, o presente estudo foi aplicado em redes de média tensão.

#### 1.4 Estrutura do trabalho

O trabalho está estruturado em sete capítulos, incluindo o capítulo da introdução. O segundo capítulo aborda os conceitos relacionados à Lógica Paraconsistente Anotada (LPA) expondo de forma resumida a sua origem e aplicação. Uma breve revisão bibliográfica da LPA é apresentada para fins de validação da originalidade. Tendo em vista que neste trabalho é utilizado o modelo LPA<sub>3v</sub>, são apresentados os conceitos de transformação da Lógica Paraconsistente Anotada de Dois Valores (LPA<sub>2v</sub>) para a Lógica Paraconsistente Anotada de Três Valores (LPA<sub>3v</sub>) e o algoritmo Para – Analisador da LPA<sub>3v</sub>. Por fim, é apresentada a forma de atuação dos especialistas da LPA<sub>3v</sub> em relação ao diagnóstico e classificação do problema proposto.

O terceiro capítulo descreve a teoria do sistema Raciocínio Baseado em Casos (RBC) seguido de uma breve revisão bibliográfica demonstrando a originalidade e relevância do sistema. O capítulo demonstra ainda qual modelo de representação do RBC foi utilizado e qual a função de similaridade foi utilizada para determinar os valores de entrada da LPA<sub>3v</sub>. Para tanto, foram analisadas e comparadas quatro funções de similaridade, dentre as quais foi escolhida a função que apresentou o melhor resultado no grau de similaridade e facilidade de aplicação. Após as devidas comparações das funções de similaridade, pode-se relatar as conclusões relevantes do capítulo.

O quarto capítulo versa sobre a contextualização do Sistema Elétrico de Potência, apresentando dados estatísticos relativos à geração versus consumo de energia elétrica nacional e mundial e enfatiza a importância do diagnóstico de falta no SEP. Seguindo no mesmo raciocínio, tem-se o transformador de potência como “peça chave” do SEP, destacando: uma revisão bibliográfica relacionada à proteção de transformador, características de falta, modelos de relés de proteção e filosofias de proteção aplicadas no transformador de potência. Por fim, o capítulo é finalizado com considerações e conclusões destacando os relés de proteção utilizados para aplicar no modelo proposto neste trabalho.

O quinto capítulo tem dois objetivos principais: validar os cálculos e resultados da função Grau de Casamento, simulando um caso onde os resultados são previamente conhecidos; buscar uma estratégia de ajuste dos estados de operação dos relés, de modo a obter resultados iguais ou superiores aos resultados obtidos pelo teorema de Bayes e Rede Neural de Regressão Generalizada (RNRG).

O sexto capítulo apresenta em dois momentos os resultados finais da LPA3v aplicado no sistema de RBC. No primeiro momento, é demonstrado de forma detalhada a composição dos dados de entrada e saída da LPA3v. No segundo momento, demonstra três diagnósticos com diferentes valores do *Grau de Especialista*.

Por fim, no sétimo e último capítulo, são apresentadas as conclusões e as considerações alcançadas ao longo de todo o desenvolvimento do trabalho, manifestando a originalidade do assunto onde futuros trabalhos poderão ser desenvolvidos.

## 2 TEORIA DA LÓGICA PARACONSISTENTE ANOTADA

Neste capítulo serão apresentados trabalhos de pesquisas relacionados ao tema e uma visão geral da Teoria da Lógica Paraconsistente Anotada. O conhecimento da LPA é de fundamental importância para facilitar a compreensão do processo de diagnóstico e classificação de falta no Transformador de Potência. Porém, o objetivo do presente capítulo não é de explicar de forma detalhada a LPA, mas sim de expor e apresentar a principal funcionalidade e aplicação da teoria. Para se ter uma visão mais aprofundada e detalhada dessa teoria, vale consultar as obras de DA SILVA FILHO, ABE e LAMBERT-TORRES (2008) e CARVALHO e ABE (2012).

A aplicação da LPA tem como base de funcionamento o modelo de Raciocínio Baseado em Casos (RBC) que será apresentado no capítulo posterior. A junção desses dois modelos (LPA e RBC) possibilita uma melhor convergência nos resultados quando comparados com outros modelos. A base da pesquisa e das principais informações que descrevem a teoria da Lógica Paraconsistente foi retirada de autores que deram origem à teoria e de autores que, há décadas, vêm apresentando trabalhos relacionados às diversas áreas da engenharia. Trabalhos de pesquisas e autores serão mencionados ao longo deste capítulo.

Este capítulo está dividido em oito subseções: inicia-se com uma abordagem da LPA e seus graus de especialista descritos nas subseções 2.1 a 2.3; na subseção 2.4, é apresentado o cubo analisador composto por um *Grau de Especialista*, e como esses especialistas atuam no funcionamento da LPA; em seguida, são apresentadas as linhas de conexão do cubo analisador e como o *Grau de Especialista* atua nessas linhas (subseção 2.5); a subseção 2.6 apresenta os algoritmos da LPA; uma breve revisão bibliográfica da LPA é apresentado na subseção 2.7); a subseção 2.8 finaliza com as devidas considerações.

### 2.1 Lógica paraconsistente

No início da década de 50, o lógico polonês Stanislaw Jaskowski (1906 – 1965) e o lógico brasileiro Newton Carneiro Affonso da Costa (1927 –) estudaram e apresentaram, de modo independente, trabalhos que, de alguma forma, consideravam a contradição na estrutura lógica. A esses estudos, o filósofo Francisco Miró Quesada denominou de “Paraconsistente”; essa denominação foi feita em 1976 e rapidamente adotada pela comunidade científica mundial (SILVA FILHO e ABE, 2000). Lógica (do grego *logiké*) significa “ciência do

raciocínio” e “Para” (do grego *pará*) significa “junto de” ou “ao lado de”. Portanto, Lógica Paraconsistente refere-se a um raciocínio ao lado da consistência. Trata-se de uma lógica não clássica e não trivial, reconhecendo padrões que estão além do verdadeiro ou falso, permitindo resolver situações paradoxais. Assim como nas lógicas clássicas, as lógicas não clássicas são compostas por símbolos que representam as Proposições Anotadas dadas por  $P_{\mu}$ . Proposições anotadas são utilizadas quando a Lógica Paraconsistente é tratada como anotações evidenciais. Essas evidências são obtidas a partir de um fato a ser analisado. A partir da análise dos fatos, pode-se obter informações probabilísticas ou valores pertencentes ao conjunto dos números reais, esses são normalizados entre  $[0,1]$  e são denominados de Especialistas. Assim, a Lógica Paraconsistente Anotada de Três Valores utiliza três especialistas para a solução do problema.

Os valores de entrada são os especialistas dados por: **Grau de Crença** ( $\mu_1$ ) e **Grau de Descrença** ( $\mu_2$ ). Esses variam em um intervalo real fechado  $[0, 1]$  e informa o quanto um especialista **crê em** ou **descre de** uma determinada Proposição dada por  $(P_{\mu_1}, P_{\mu_2})$ , ou seja, é o quanto um especialista concorda ou discorda de um fato. **Os valores do Grau de Crença** ( $\mu_1$ ) e **do Grau de Descrença** ( $\mu_2$ ) serão obtidos a partir da função de similaridade estabelecido pelo Sistema de Raciocínio Baseado em Casos (subseção 3.2). A figura 2.1 mostra o grau de crença  $\mu_1$  e o grau de descrença  $\mu_2$  representados nos eixos x e y e os estados lógicos, Falso (F), Verdade (V), Indeterminado ( $\perp$ ) e Inconsistente (T).

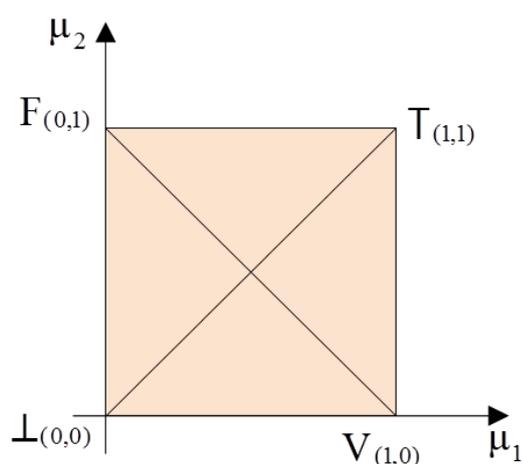


Figura 2.1 – Quadro Unitário do Plano Cartesiano (QUPC)

O Quadro Unitário do Plano Cartesiano (QUPC) estabelece os estados lógicos extremos, o segmento  $\overline{VF}$  denomina-se de Linha Perfeitamente Consistente (LPC) e o

segmento  $\overline{1T}$  denomina-se de Linha Perfeitamente Inconsistente (LPI) (MARTINS, 2003, p. 7). Além dos quatro estados extremos do QUPC, é possível obter mais oito estados não extremos. Os estados não extremos podem ser obtidos da transformação linear do QUPC.

## 2.2 Transformação linear a partir do QUPC

A transformação linear é definida a partir de três princípios: mudança de escala, rotação e translação, permitindo estabelecer no QUPC as regiões delimitadas e definidas de cada estado lógico extremo e não-extremo. A concepção dos estados lógicos possibilita a criação de um Algoritmo Para – Especialista da LPA3v, sendo este algoritmo implementado em um Sistema de Raciocínio Baseado em Casos. As três transformações lineares podem ser estabelecidas conforme abaixo:

- ✓ A partir do QUPC, faz-se a Mudança de Escala através do produto dos Especialistas  $(\mu_1, \mu_2)$  por  $\sqrt{2}$ , de forma que:

$$T_{1(\mu_1, \mu_2)} = (\sqrt{2}\mu_1, \sqrt{2}\mu_2) \tag{2.1}$$

A equação matricial correspondente da equação 2.1 é dada por:

$$T_{1(\mu_1, \mu_2)} = [\mu_1 \ \mu_2] \times \begin{bmatrix} \sqrt{2} & 0 \\ 0 & \sqrt{2} \end{bmatrix} \tag{2.2}$$

A mudança de escala pode ser demonstrada na figura abaixo.

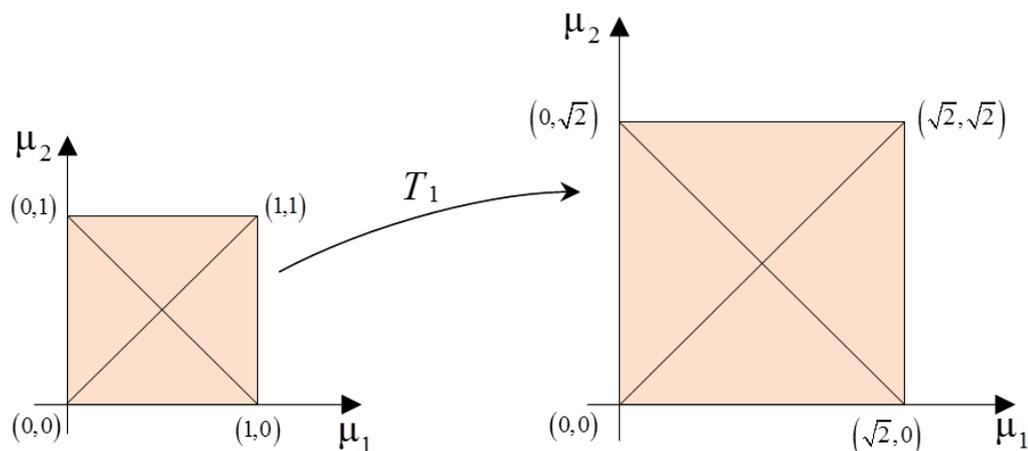


Figura 2.2 – Mudança de Escala

- ✓ Após a mudança de escala, faz-se a Rotação de 45° mantendo a coordenada (0,0) em sua origem:

$$T_{2(\mu_1, \mu_2)} = \left( \frac{\sqrt{2}}{2} \mu_1 - \frac{\sqrt{2}}{2} \mu_2, \frac{\sqrt{2}}{2} \mu_1 + \frac{\sqrt{2}}{2} \mu_2 \right) \quad 2.3$$

A equação matricial correspondente da equação 2.3 é dada por:

$$T_{2(\mu_1, \mu_2)} = [\mu_1 \quad \mu_2] \times \begin{bmatrix} \frac{\sqrt{2}}{2} & \frac{\sqrt{2}}{2} \\ -\frac{\sqrt{2}}{2} & \frac{\sqrt{2}}{2} \end{bmatrix} \quad 2.4$$

A mudança de escala pode ser visualizada na Figura 2.3 abaixo.

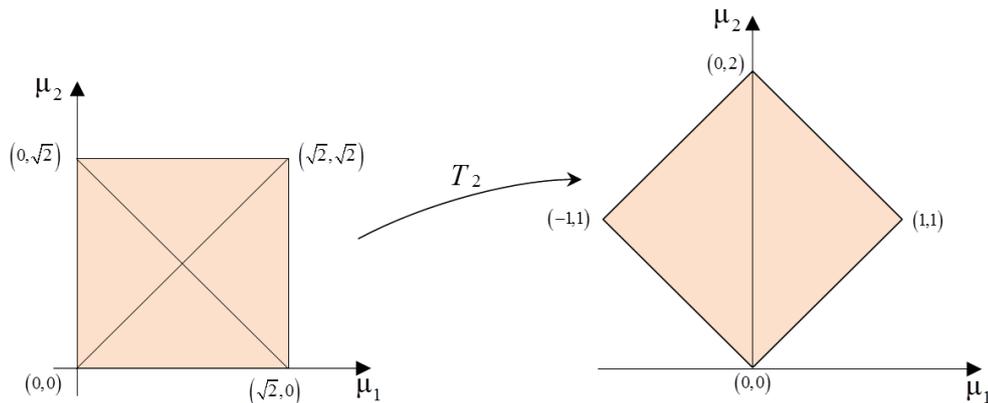


Figura 2.3 – Rotação de 45°

Com os valores de  $T_2$ , é estabelecida a translação a partir da transformação linear dada por  $T_3$ :

$$T_{3(\mu_1, \mu_2)} = (\mu_1, \mu_2 - 1) \quad 2.5$$

A translação pode ser demonstrada na figura abaixo.

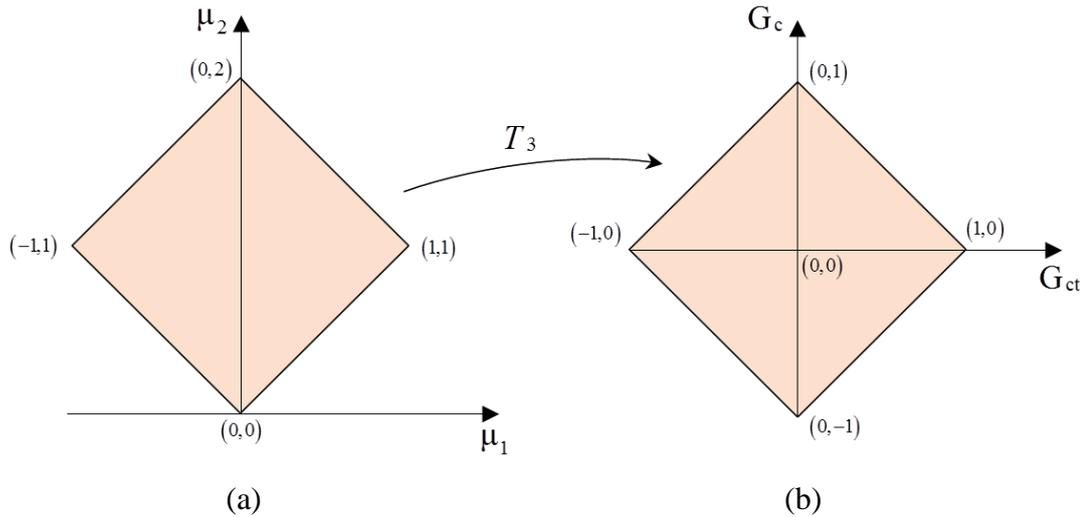


Figura 2.4 – Translação

Analisando a figura 2.4 (a), o Grau de Crença ( $\mu_1$ ) e o Grau de Descrença ( $\mu_2$ ) estabelecem os valores de entrada. E, analisando a figura 2.4 (b), o Grau Certeza ( $G_c$ ) e o Grau de Contradição ( $G_{ct}$ ) estabelecem os valores de saída da Lógica Paraconsistente Anotada. Os valores de saída foram obtidos através da composição da transformação linear de  $T_1 \circ T_2 \circ T_3$ , de modo que:

$$T_{(\mu_1, \mu_2)} = (\mu_1 - \mu_2, \mu_1 + \mu_2 - 1) \tag{2.6}$$

$$T_{(\mu_1, \mu_2)} = (G_c, G_{ct}) \tag{2.7}$$

$$G_c = \mu_1 - \mu_2 \tag{2.8}$$

$$G_{ct} = \mu_1 + \mu_2 - 1 \tag{2.9}$$

A figura 2.5 (b) abaixo mostra os possíveis diagnósticos da Lógica Paraconsistente Anotada de dois valores com seus estados lógicos bem definidos. As saídas estão representadas em seus respectivos eixos, sendo o Grau de Crença ( $G_c$ ) no eixo horizontal e o Grau de Contradição ( $G_{ct}$ ), no eixo vertical. Os valores em módulos iguais ou acima de 1/2 representados pelas regiões hachuradas correspondem aos estados lógicos extremos (V, F, T,  $\perp$ ); já os valores em módulo abaixo de 1/2 representados pelas regiões não hachuradas correspondem às regiões dos estados lógicos não extremos, são chamadas de regiões tendenciosas.

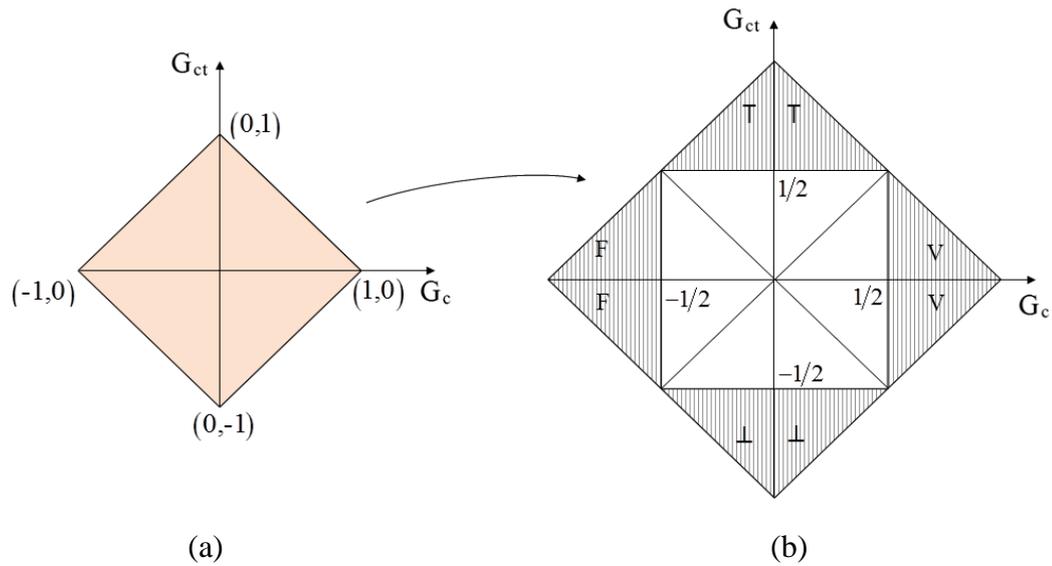


Figura 2.5 – Valores de Saída do  $G_c$  e  $G_{ct}$

Sendo os valores de entrada e saída correlacionadas entre si através da composição da transformação linear  $(T_1 \circ T_2 \circ T_3)$ , o reticulado apresentado na figura 2.5 (a) e (b) podem ser sobrepostas de modo que as entradas e saídas, as regiões extremas e as regiões não extremas e os valores de controles podem ser visualizados em um único plano cartesiano, conforme mostra a figura 2.6.

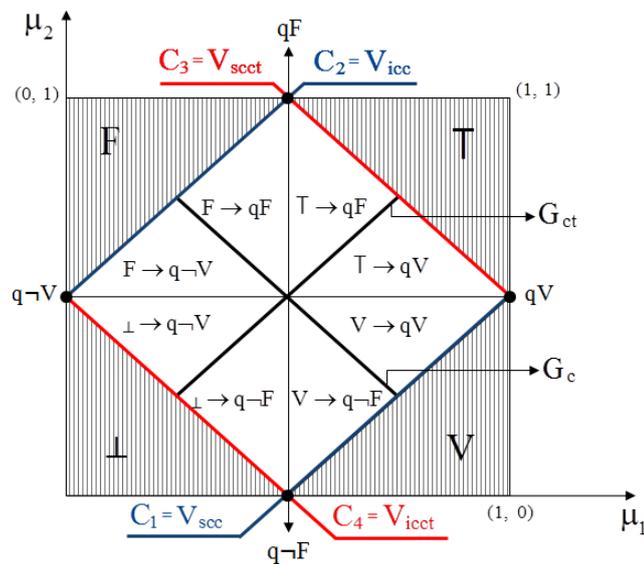


Figura 2.6 – Reticulado do Plano Cartesiano

É possível observar no Reticulado do Plano Cartesiano três características: as doze regiões perfeitamente delimitadas, os símbolos de cada região e as coordenadas. Essas características são apresentadas e detalhadas em três tabelas. A Tabela 2.1 descreve as quatro

Regiões dos Estados Lógicos Extremos e os quatro Pontos Notáveis; na Tabela 2.2 descrevem-se as oito Regiões não “extremas” ou tendenciosas e na tabela 2.3 detalham-se os quatro valores de controle ( $C_1=V_{scc}$ ,  $C_2=V_{icc}$ ,  $C_3=V_{sct}$ ,  $C_4=V_{icct}$ ) do Reticulado do Plano Cartesiano.

Tabela 2.1 – Delimitação das Regiões do Reticulado do Plano Cartesiano

Estados Lógicos Extremos		Pontos Notáveis	
V → Verdade	(1, 0)	qV → quase verdade	(1, 1/2)
F → Falso	(0, 1)	q¬V → quase não verdade	(0, 1/2)
⊥ → Indeterminado	(1, 1)	qF → quase falso	(1/2, 1)
T → Inconsistente	(0, 0)	q¬F → quase não falso	(1/2, 0)

Fonte: (TORRES, 2010, p. 27).

Tabela 2.2 – Regiões Tendenciosas do Estado Lógico

T → qV	Inconsistente tendendo a quase Verdade
V → qV	Verdade tendendo a quase Verdade
V → q¬F	Verdade tendendo a quase não Falso
⊥ → q¬F	Indeterminado tendendo a quase não Falso
⊥ → q¬V	Indeterminado tendendo a quase não Verdade
F → q¬V	Falso tendendo a quase não Verdade
F → qF	Falso tendendo a quase Falso
T → qF	Inconsistente tendendo a quase Falso

Fonte: (TORRES, 2010, p. 27).

Tabela 2.3 – Valores de Controle

$C_1=V_{scc}$	→ Valor Superior de Controle de Certeza
$C_2=V_{icc}$	→ Valor Inferior de Controle de Certeza
$C_3=V_{sct}$	→ Valor Superior de Controle de Contradição
$C_4=V_{icct}$	→ Valor Inferior de Controle de Contradição

Fonte: adaptado de (TORRES, 2010, p. 27).

Para uma melhor visualização e compreensão da atuação dos valores de controle ( $C_1 = V_{scc}$ ,  $C_2 = V_{icc}$ ,  $C_3 = V_{scct}$ ,  $C_4 = V_{icct}$ ), a figura 2.7 demonstra como esses valores de controle irão atuar na divisão entre os estados lógicos extremos e nos estados lógicos não extremos, e como essa atuação irá influenciar na variação das dimensões de cada região do Reticulado do Plano Cartesiano (figura 2.6), bem como nas variações dos pontos notáveis (tabela 2.1).

Analisando a figura 2.7 é possível evidenciar que a variação dos valores de controle modifica as dimensões das doze regiões, como também dos pontos notáveis ( $qV$ ,  $q\neg V$ ,  $qF$  e  $q\neg F$ ). Destaca-se que as variações dos valores de controle, bem como dos pontos notáveis, são estabelecidas a partir do terceiro especialista chamado de *Grau de Especialista* ( $e$ ); esses são calculados conforme segue na tabela 2.4. Após os resultados obtidos com os Valores de Controle e dos Pontos Notáveis, estabelece-se um Valor de Sensibilidade ( $s$ ) que permite variar o *Grau de Especialidade* ( $e$ ) para fins de comparação entre diferentes Graus de Especialidade (MARTINS, 2003, p. 40).

As considerações do *Grau de Especialista* ( $e$ ) serão apresentadas na subseção 2.3. Para os Valores de Sensibilidade ( $s$ ) será detalhado no algoritmo Para – Especialista na subseção 2.6.

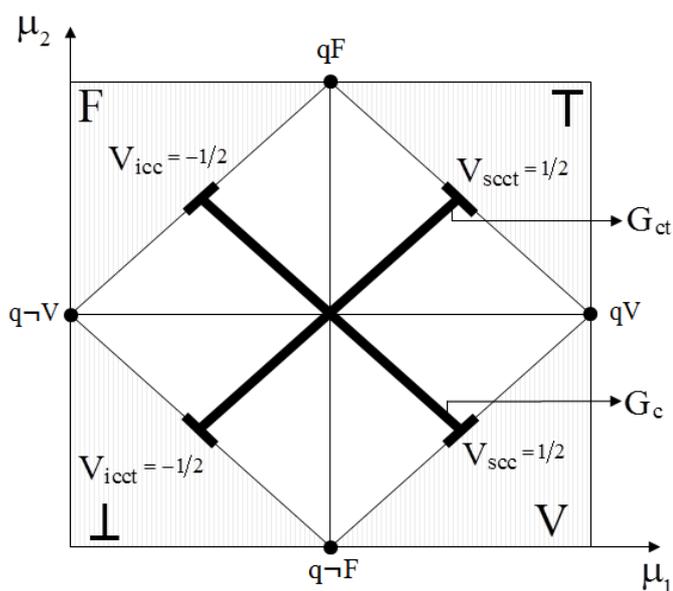


Figura 2.7 – Demonstração da Atuação dos Valores de Controle

Tabela 2.4 – Determinação dos valores de Controle e dos Ponto Notáveis

Valores de Controle	Pontos Notáveis
$C_1=V_{scc} = e$	$qV_{(1, \mu_2)} \quad \mu_2 = 1 - e$
$C_2=V_{icc} = -e$	$q^{-}V_{(0, \mu_2)} \quad \mu_2 = e$
$C_3=V_{sctt} = 1 - e$	$qF_{(\mu_2, 1)} \quad \mu_1 = 1 - e$
$C_4=V_{ictt} = e - 1$	$q^{-}F_{(\mu_1, 0)} \quad \mu_1 = e$

Fonte: adaptado de (MARTINS, 2003)

### 2.3 Considerações gerais do grau de especialista (e)

O *Grau de Especialista (e)* aqui utilizado baseia-se no trabalho proposto por MARTINS (2003). Para a aplicação da técnica, a autora utilizou, como referência básica, a troca de informações entre os professores Décio Krause, da Universidade de Santa Catarina e o Professor Newton C. A. da Costa, da Universidade de São Paulo. O *Grau de Especialista* é utilizado como uma terceira variável de entrada, o que possibilita estender a Lógica LPA2v para uma LPA3v formando uma tríplice coordenadas  $(\mu_1, \mu_2$  e  $e)$ . Essas variáveis são representadas por um cubo analisador e, conforme já detalhado anteriormente, o *Grau de Especialista* irá ajustar os valores de controles e dos pontos notáveis.

Ressalta-se que a Lógica Paraconsistente possibilita outras técnicas de variáveis de entrada, referente ao terceiro *Grau de Especialista*. No livro apresentado por DA SILVA FILHO, ABE e LAMBERT-TORRES (2008), as Redes Neurais Artificiais Paraconsistentes são utilizadas como uma outra forma de tratamento das informações inconsistente e/ou indeterminado. As Redes Neurais Artificiais Paraconsistentes são interligadas através do Nó de Análise Paraconsistente (NAP) e assim como foi proposto nesse trabalho, o NAP também utiliza três variáveis de entrada, que são: Grau de Crença ( $\mu$ ), Grau de Descrença ( $\lambda$ ) e Intervalo de Evidência Resultante ( $\varphi_E$ ). Nesse caso, a técnica para encontrar os estados lógicos de saída é diferente da teoria proposta por (MARTINS, 2003). O Intervalo de Evidência Resultante ( $\varphi_E$ ) é determinado a partir do cálculo do Grau de Certeza e Grau de Contradição advindos de um outro NAP; após calculado os respectivos valores, determina-se o Grau de Certeza Resultante Real ( $G_{Cr}$ ). O  $G_{Cr}$  também pode ser utilizado como valor de entrada para outro NAP. A figura 2.8 ilustra as entradas e saídas de um NAP.

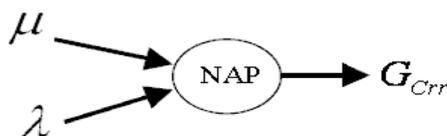


Figura 2.8 – Representação Simbólica de um NAP

Fonte: adaptado de TORRES (2010, p. 53)

As entradas do Grau de Crença e Descrença (figura 2.8) são os mesmos utilizados neste trabalho, diferenciando somente na representação dos símbolos, sendo  $\mu = \mu_1$  e  $\lambda = \mu_2$ .

## 2.4 Determinação do grau de especialista ( $e$ )

Os cálculos utilizados para a determinação do *Grau de Especialista* ( $e$ ) bem como a sua aplicação na teoria LPA3 $v$  têm como base de informações o trabalho apresentado por (MARTINS, 2003). Foi visto que o Grau de Crença e o Grau de Descrença estabelecem os valores de entrada representados em um plano cartesiano que, por sua vez, constituem a LPA2 $v$  – Lógica Paraconsistente Anotada de Dois Valores. A implementação de uma terceira variável de entrada estende a LPA2 $v$  para LPA3 $v$ , além de estender o Quadro Unitário do Plano Cartesiano para um cubo chamado de Cubo Analisador Unitário. Os valores estabelecidos para  $\mu_1$  e  $\mu_2$  e  $e$  variam em um intervalo real fechado  $[0,1]$ , formando uma trílice ordenada  $(\mu_1, \mu_2, e)$ , conforme figura 2.9.

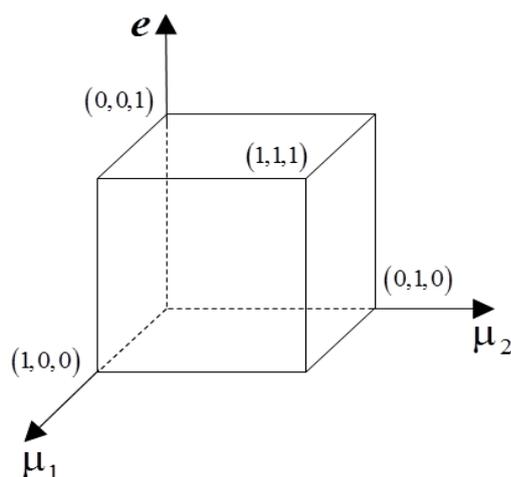


Figura 2.9 – Cubo Analisador Unitário

O *Grau de Especialista* ( $e$ ) fornece efetivamente o quanto especialista ele é, ou seja, estabelece um “nível” de conhecimento em um determinado assunto; quanto maior ou menor

o nível de conhecimento, tão maior ou menor é o especialista. Um *grau de especialista* alto deve se comportar próximo da “lógica clássica”, minimizando as indecisões ou desconhecimentos. Desse especialista esperam-se tomadas de decisões coerentes permitindo duas situações (Verdadeiro ou Falso) e será denominado como um **Grande Especialista**. Por outro lado, para um *grau de especialista* baixo pode-se admitir comportamentos indeterminados e inconsistentes, devido a sua falta de conhecimento ou inexperiência. Esse especialista será denominado como **Especialista Neófito**.

O *Grau de Especialista* ( $e$ ) depende da experiência e do conhecimento e é determinado pela diferença ente o Grau de Crença e o Grau de Descrença, dado pela LPA2v. O *Grau de Especialista* pode variar entre um **Grande especialista** a um **Especialista Neófito**. A equação abaixo mostra a forma de interpretação do *Grau de Especialista* ( $e$ ).

$$e = |\mu_1 - \mu_2| \begin{cases} 1 \rightarrow \text{Grande Especialista} \\ 0 \rightarrow \text{Especialista Neófito} \end{cases} \quad 2.10$$

Sendo  $\{e \in \mathbb{R} | 0 \leq e \leq 1\}$ , a variação de  $e$  irá estabelecer as limitações das regiões extremas e não extremas no cubo analisador  $e$ , conseqüentemente, a tomada de decisão. A seguir será demonstrada a variação de  $e$  e as regiões dos estados extremos e não-extremos.

2.4.1 Para *grau de especialista*  $e = 0,5$

Nessa condição é possível visualizar na figura 2.10, as regiões dos estados extremos com seus respectivos pontos notáveis (tabela 2.1) e as regiões dos extados não-extremos com as suas respectivas regiões tendenciosas (tabela 2.2), totalizando as doze regiões da LPA2v.

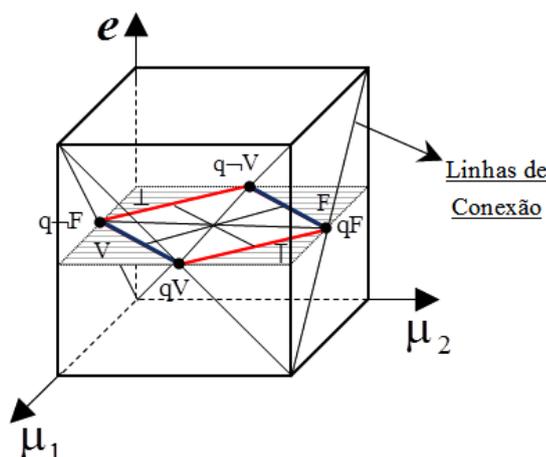


Figura 2.10 – Cubo Analisador da LPA3v, para  $e = 0,5$

O comportamento do *Grau de Especialista* ( $e$ ) é quem irá delimitar as regiões na direção dos estados extremos Verdadeiro ou Falso, ou ainda, delimitar as regiões na direção dos estados extremos Inconsistente ( $\top$ ) e Indeterminado ( $\perp$ ). Conforme o *Grau de Especialista* aumentam ou diminuem os pontos notáveis do plano cartesiano ( $q\neg V$ ,  $qF$ ,  $q\neg F$  e  $qV$ ), “deslizam” sobre essas Linhas de Conexão no sentido crescente ou decrescente, ou seja, no sentido de um **Grande Especialista** ( $e = 1$ ) ou no sentido de um **Especialista Neófito** ( $e = 0$ ).

#### 2.4.2 Para grau de especialista $e = 0,75$ e $e = 1$ .

A figura 2.11 e a figura 2.12 mostram dois Cubos Analisadores com *Grau de Especialista* crescente, ou seja, no sentido de um **Grande Especialista**. Nesse caso pode-se concluir que:

✓ Na figura 2.11, o *Grau de Especialista* é de  $e = 0,75$ . Os pontos notáveis sobre as linhas de conexão estão no sentido das regiões Verdadeiro e Falso, fazendo com que haja uma diminuição nas regiões tendenciosas (regiões não-extremas) e aumentando as regiões de Inconsistente ( $\top$ ) e Indeterminado ( $\perp$ ). Nessas condições, o algoritmo Para – Especialista tende para um diagnóstico Verdadeiro ou Falso.

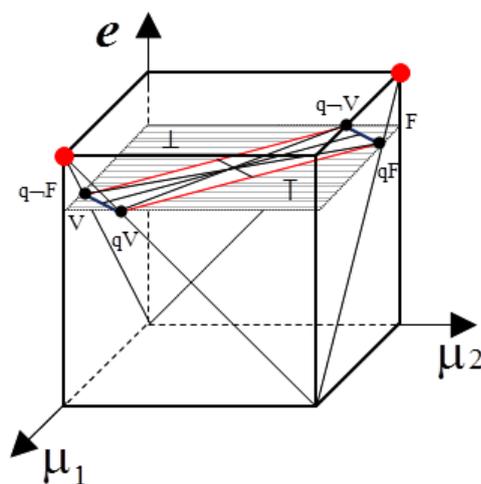


Figura 2.11 – Cubo Analisador da LPA3v para  $e = 0,75$

✓ Já na figura 2.12 abaixo, o *Grau de Especialista* é de  $e = 1$ , as regiões não-extremas desaparecem totalmente formando uma linha única entre os estados de Verdade (V)

e Falso (F). Nessas condições (*Grande Especialista*) o algoritmo Para – Especialista da LPA3v irá se comportar como uma “lógica clássica”, optando por um diagnóstico Verdadeiro ou Falso.

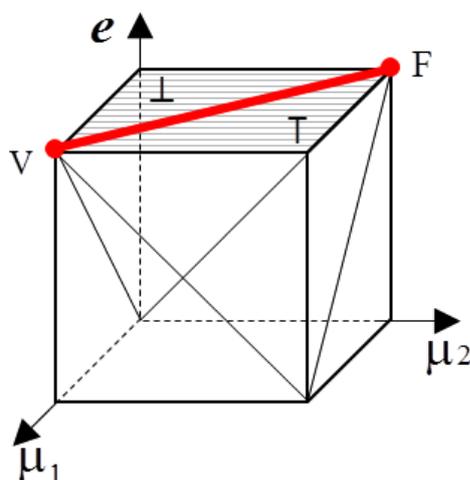


Figura 2.12 – Cubo Analisador da LPA3v para  $e = 1$

Analisando as duas figuras 2.11 e 2.12, é possível concluir que o diagnóstico da figura 2.11 tende a uma tomada de decisão mais concisa; porém, as exigências são menos rigorosas quando comparadas a um especialista de grau  $e = 1$ . Já o diagnóstico da figura 2.12 comporta-se como uma “lógica clássica” sem indecisões ou desconhecimento, admitindo somente duas situações de diagnóstico: Verdadeiro ou Falso.

#### 2.4.3 Para grau de especialista $e = 0,25$ e $e = 0$

A figura 2.13 e a figura 2.14 abaixo mostram dois Cubos Analisadores com *Grau de Especialista* decrescente, ou seja, no sentido de um **Especialista Neófito**. Nesse caso temos que:

✓ Na figura 2.13, o *Grau de Especialista* é de  $e = 0,25$ . Os pontos notáveis sobre as linhas de conexão estão no sentido das regiões Inconsistente (T) e Indeterminado (L) e fazem com que haja uma diminuição nas regiões não-extremas. Já nas regiões de Verdade (V) e Falso (F), ocorre um aumento. Nessas condições, o algoritmo Para – Especialista tende para um diagnóstico Inconsistente ou Indeterminado.



podem ser consideradas.

## 2.5 Linhas de conexões do cubo analisador

As linhas de conexão concentram os quatro pontos notáveis ( $q\neg V$ ,  $qF$ ,  $q\neg F$  e  $qV$ ), sendo a junção desses quatro pontos dependentes da variação do *Grau de Especialista* ( $e$ ). A seguir, será apresentado o comportamento das regiões que estão abaixo e acima das linhas de conexão. As figuras apresentadas a seguir permitem facilitar a visualização das regiões extremas (Verdade, Falso, Inconsistente e Indeterminado) localizadas dentro do cubo analisador LPA3v.

### 2.5.1 Regiões de verdade e falso abaixo das linhas de conexão

As figura 2.15 (a) e figura 2.15 (b) apresentam as regiões que determinam os estados lógicos Verdadeiro e Falso dentro do cubo analisador. As regiões localizadas abaixo das linhas de conexão da figura (a) até o limite da diagonal ( $\mu_1 = \mu_2$ ) estabelecem os estados lógicos Verdade. Já as regiões localizadas abaixo das linhas de conexão da figura (b) até o limite da diagonal ( $\mu_1 = \mu_2$ ) estabelecem os estados lógicos Falso. Qualquer outro ponto localizado acima das linhas de conexão, de ambas as figuras, situar-se-á nas regiões tendenciosas.

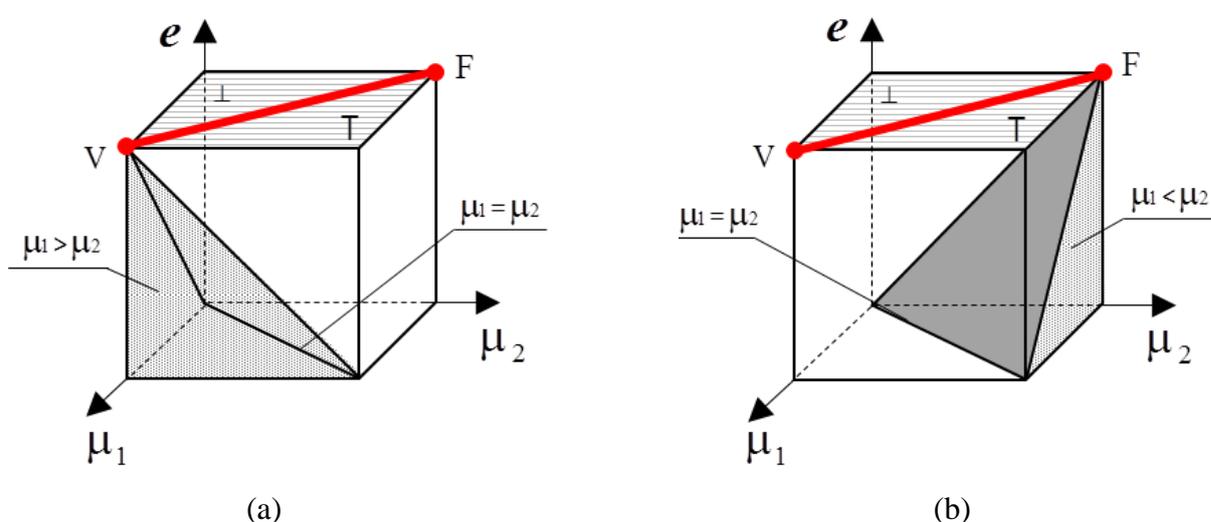


Figura 2.15 – Visão das Regiões V e F Dentro do Cubo Analisador da LPA3v

Em uma análise simplificada, pode-se concluir que qualquer ponto localizado nas

regiões hachuradas, será diagnosticado como Verdadeiro para o caso da figura 2.15 (a) ou Falso no caso da figura 2.15 (b). Assim, qualquer outro ponto fora das regiões hachuradas terá um diagnóstico tendencioso (regiões não extremas).

### 2.5.2 Regiões inconsistente e indeterminado abaixo das linhas de conexão

As figura 2.16 (a) e (b) abaixo apresentam as regiões que determinam os estados lógicos Inconsistente e Indeterminado dentro do cubo analisador. Para as regiões localizadas acima das linhas de conexão da figura (a) até o limite da diagonal ( $\mu_1 = \mu_2$ ) estabelecem-se os estados lógicos Inconsistente (T). Já as regiões que estão localizadas acima das linhas de conexão da figura (b) até o limite da diagonal ( $\mu_1 = \mu_2$ ) estabelecem-se os estados lógicos Indeterminado (⊥).

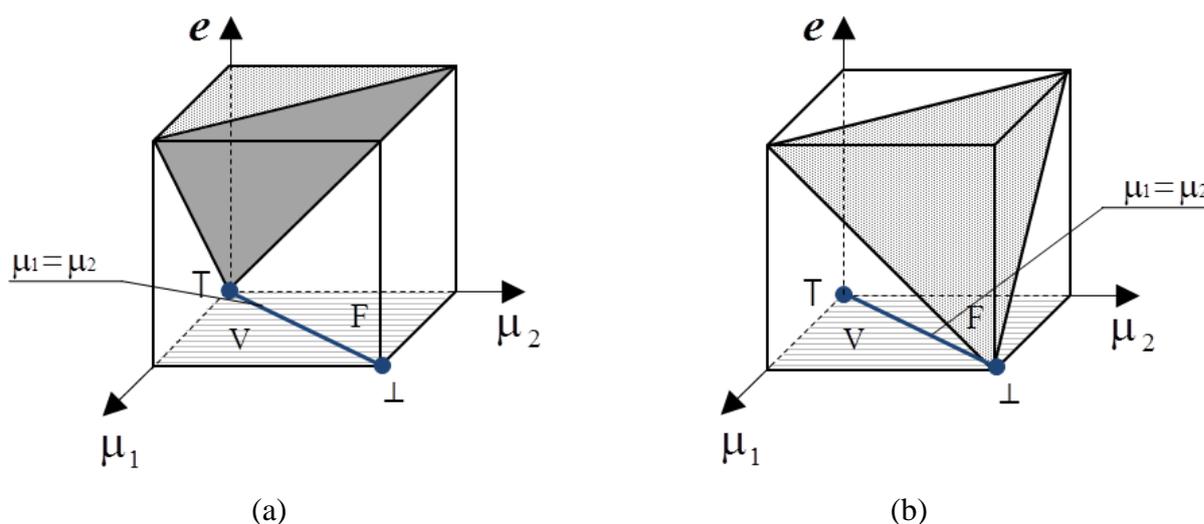


Figura 2.16 – Visão das Regiões T e ⊥ Dentro do Cubo Analisador da LPA3v

Resumidamente, qualquer ponto que estiver localizado nas regiões hachuradas das figuras 2.16 será diagnosticado como Inconsistente para o caso da figura 2.16 (a) ou Indeterminado no caso da figura 2.16 (b). Assim também, qualquer outro ponto fora das regiões hachuradas terá um diagnóstico tendencioso (regiões não extremas).

## 2.6 Algoritmo da lógica paraconsistente anotada

A partir das regiões da figura 2.7, SILVA FILHO (2006) estabeleceu o algoritmo Para

– Analisador para a Lógica Paraconsistente Anotada de Dois valores (PA2v). A elaboração do algoritmo foi descrita como:

[...] resultado das várias sentenças descritivas no reticulado representado no QUPC é proposto o algoritmo para implementação em um programa de computação convencional que possibilita a aplicação da Lógica Paraconsistente Anotada de anotação com dois valores LPA2v em Sistemas de Controle e Especialistas de IA (SILVA FILHO, 2006, p. 23).

**\*/Definições do valores\*/**

$V_{scc} = C_1$  \*/ Definição do valor superior de controle de certeza\*/

$V_{icc} = C_2$  \*/ Definição do valor inferior de controle de certeza\*/

$V_{sccct} = C_3$  \*/ Definição do valor superior de controle de contradição\*/

$V_{icct} = C_4$  \*/ Definição do valor inferior de controle de contradição\*/

**\*/Variáveis de entrada\*/**

$G_c$

$G_{ct}$

**\*/Variáveis de saída\*/**

Saída discreta =  $S_1$

Saída analógica =  $S_{2a}$

Saída analógica =  $S_{2b}$

**\*/Expressões matemáticas\*/**

Sendo:  $0 \leq G_c \leq 1$  e  $0 \leq G_{ct} \leq 1$

$$G_c = \mu_1 - \mu_2$$

$$G_{ct} = (\mu_1 + \mu_2) - 1$$

**\*/determinação dos estados extremos\*/**

se  $G_c \geq C_1$  então  $S_1 = V$

se  $G_c \leq C_2$  então  $S_1 = F$

se  $G_{ct} \geq C_3$  então  $S_1 = T$

se  $G_{ct} \leq C_4$  então  $S_1 = \perp$

**\*/determinação dos estados não-extremos\*/**

Para  $0 \leq G_c < C_1$  e  $0 \leq G_{ct} < C_3$

se  $G_c \geq G_{ct}$  então  $S_1 = V \rightarrow qV$

se  $G_c < G_{ct}$  então  $S_1 = T \rightarrow qV$

Para  $0 \leq G_c < C_1$  e  $C_4 < G_{ct} \leq 0$

se  $G_c \geq |G_{ct}|$  então  $S_1 = V \rightarrow q \neg F$

se  $G_c < |G_{ct}|$  então  $S_1 = \perp \rightarrow q \neg F$

Para  $C_2 < G_c \leq 0$  e  $C_4 < G_{ct} \leq 0$

se  $|G_c| \geq |G_{ct}|$  então  $S_1 = F \rightarrow q \neg V$

se  $|G_c| < |G_{ct}|$  então  $S_1 = \perp \rightarrow q \neg V$

Para  $C_2 < G_c \leq 0$  e  $0 \leq G_{ct} < C_3$

se  $|G_c| \geq G_{ct}$  então  $S_1 = F \rightarrow qF$

se  $|G_c| < G_{ct}$  então  $S_1 = T \rightarrow qF$

$G_c = S_{2a}$

$G_{ct} = S_{2b}$

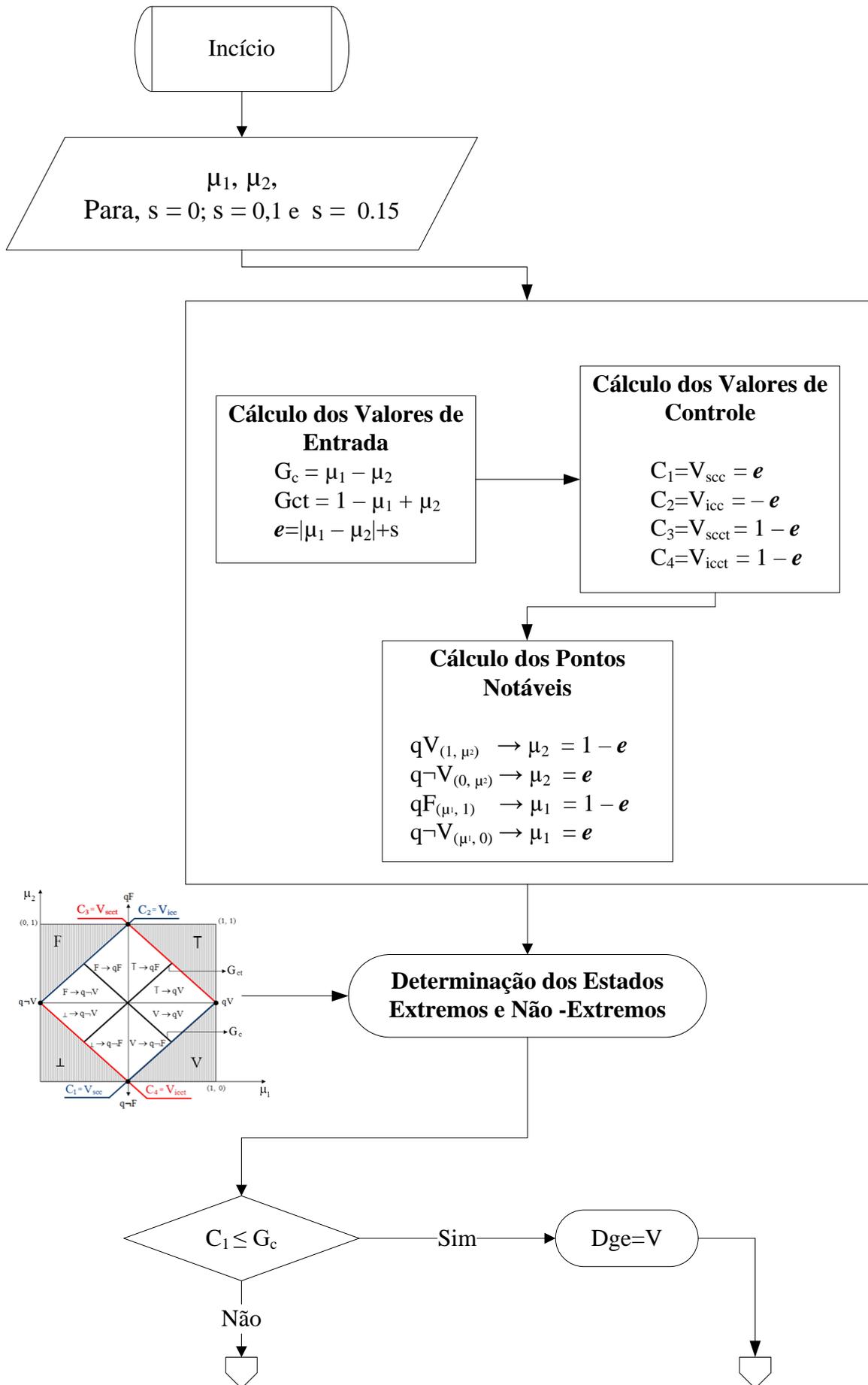
**\*/ FIM\*/**

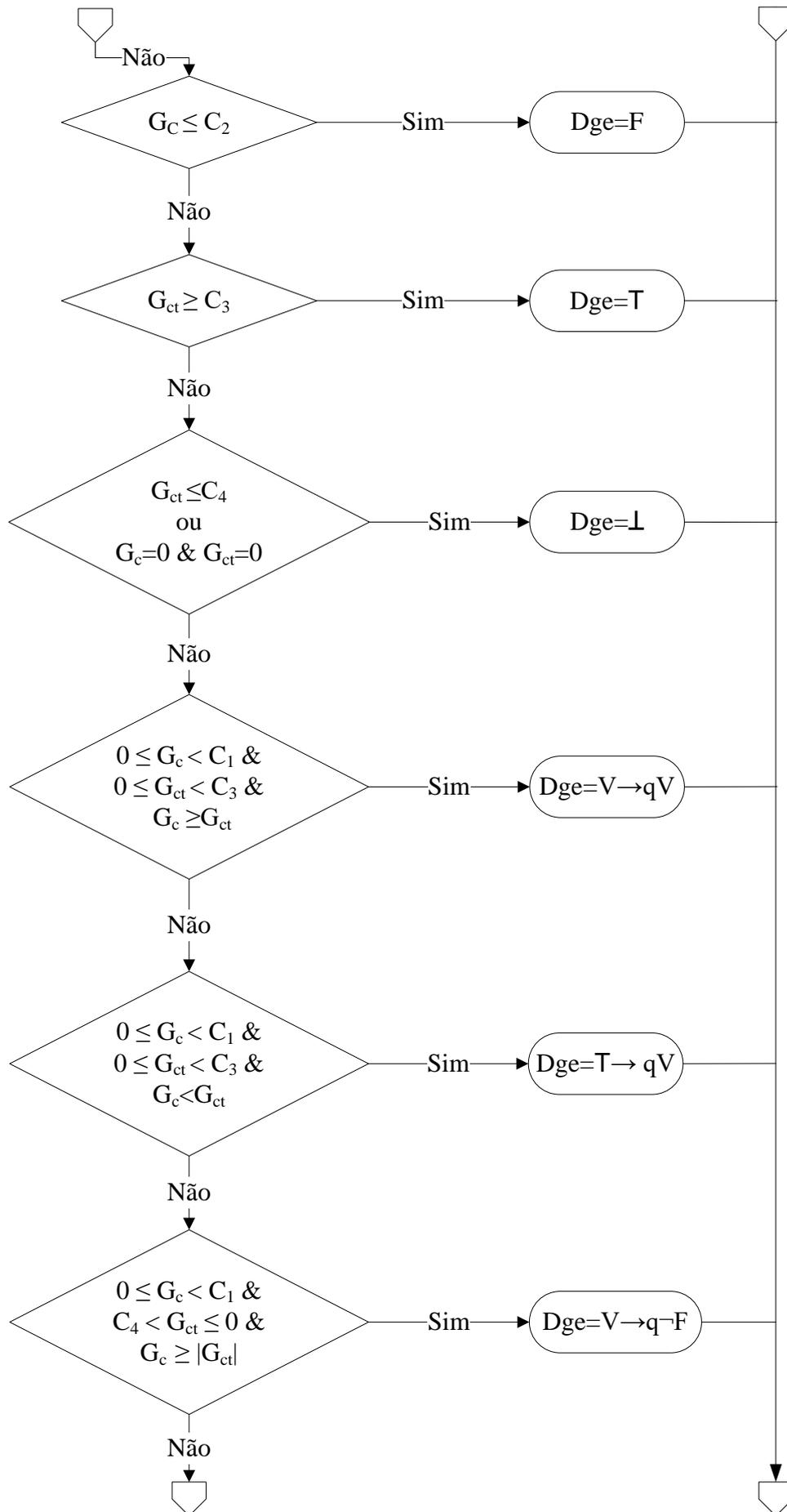
Com base no algoritmo Para – Analisador da LPA2 $\nu$  apresentado acima e seguindo os mesmos conceitos na localização das regiões Extremas e Não Extremas, MARTINS (2003) estabeleceu um algoritmo para fins de tomadas de decisões para LPA3 $\nu$ . Esse algoritmo foi denominado como Para – Especialista, e posteriormente, implementado em um programa de computação convencional. A determinação dos estados Extremos e Não extremos segue os mesmos princípios do algoritmo Para – Analisador, diferenciando somente na incorporação do *Grau de Especialista* ( $e$ ) e no Valor Sensibilidade ( $s$ ) que auxiliaram nos valores de controle e dos pontos notáveis, conforme foi apresentado na subseção anterior.

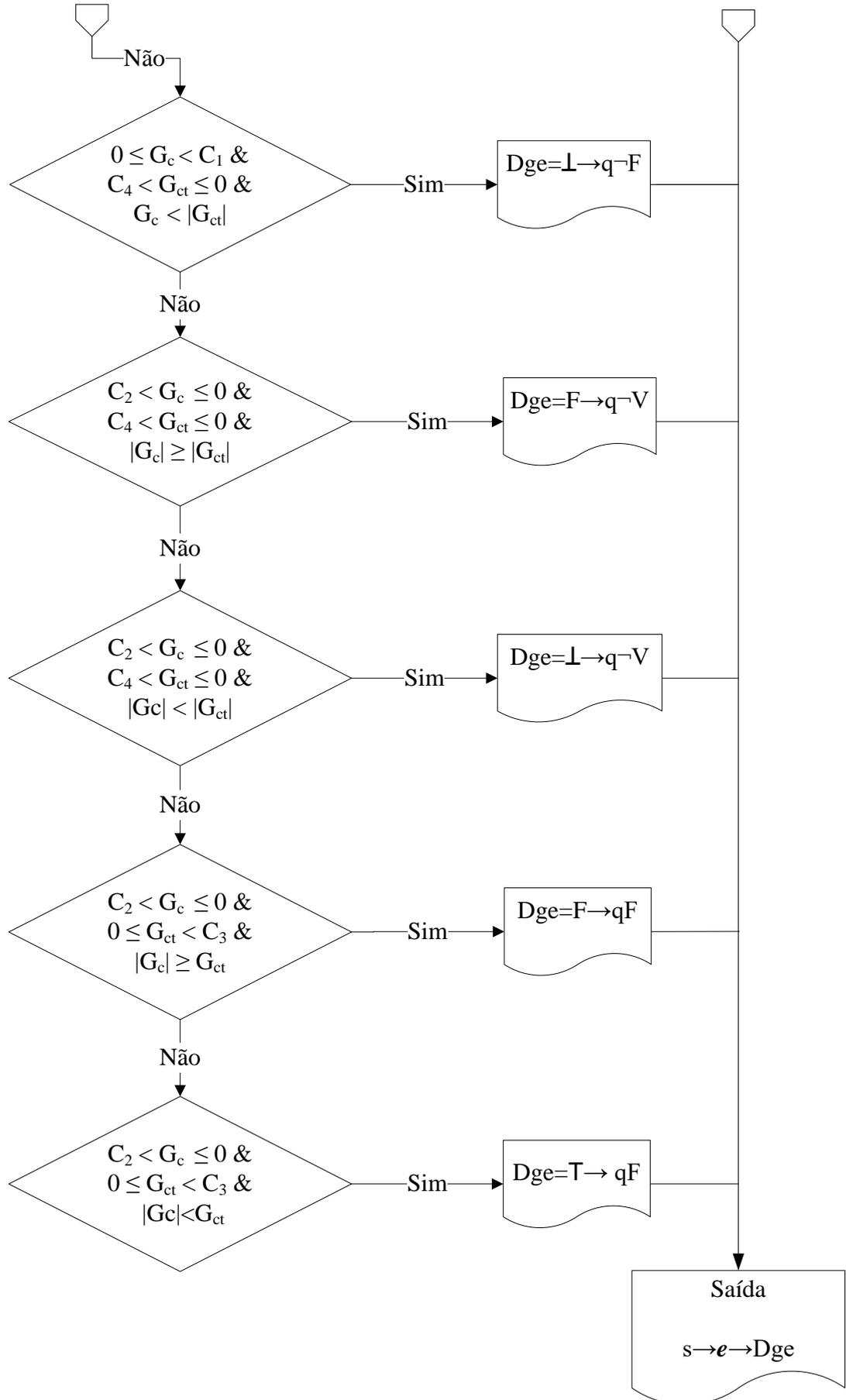
O algoritmo Para – Especialista é apresentado no formato de um fluxograma, sendo esse composto basicamente por cinco diagramas principais:

- 1- Valores de entrada  $\mu_1$ ,  $\mu_2$  e  $s$  (valor de sensibilidade). O valor de  $s$  tem como objetivo fazer uma análise comparativa entre os diferentes *Grau de Especialistas* ( $e$ );
- 2- Cálculo dos Valores de Entrada;
- 3- Cálculo dos Valores de Controle;
- 4- Cálculo dos Pontos Notáveis;
- 5- Determinação dos Estados Extremos e Não Extremos.

A saída do algoritmo Para – Especialista é estabelecida pelo Diagnóstico do especialista (Dge).







A vantagem do algoritmo Para – Especialista quando comparado como o algoritmo Para – Analisador, é que o Para – Especialista apresenta seus resultados tendo como base a opinião de três especialistas (Grau de Crença, Grau de Descrença e *Grau de Especialista*).

## 2.7 Trabalhos relacionados à lógica paraconsistente anotada

Conforme já mencionado, a Lógica Paraconsistente Anotada pode ser aplicada nas mais diversas áreas das ciências exatas ou humanas; os trabalhos de pesquisas mencionados nessa subseção envolvem ambas as áreas. No entanto, vale destacar que poucos são os trabalhos da Lógica Paraconsistente Anotada relacionados ao Sistema Elétrico de Potência. Sendo assim, para fins de demonstração da relevância do tema, serão mencionadas outras áreas da engenharia e ciências humanas como: informática / telecomunicações, automatização de robôs e medicina.

DA SILVA FILHO e ROCCO (2008) apresentaram um trabalho para analisar as possibilidades de interrupção do sistema de energia utilizando a Lógica Paraconsistente Anotada. A LPA foi utilizada para modelar cada componente da rede de energia elétrica, criando uma rede de análise capaz de oferecer um grau de risco para cada diagnóstico. A rede de análise é chamada de Nó de Análise Paraconsistente. Dessa forma o modelo oferece um diagnóstico e uma proposta de estratégia para a restauração ideal da energia elétrica. A base de análise da LPA são os sinais extraídos de evidências, considerando três estados de operação: Pré-falta, analisa o sistema em operação; Pós-falta, analisa o sistema em contingência; Restabelecimento analisa o sistema após a contingência. O modelo apresentou resultados satisfatórios e foi validado através de testes aplicados na empresa ELETROPAULO<sup>2</sup>.

PENA, BARBON, *et al.* (2014) realizaram uma pesquisa na área de informática onde os autores desenvolveram um sistema para detectar anomalias no tráfego de rede de computadores, com o objetivo de auxiliar na gerência de rede. Para tanto, foram utilizados: Assinaturas Digitais de Segmentos de Rede utilizando Análise de Fluxos (DSNSF – *Digital Signature of Network Segment using Flow Analysis*); Auto Regressivo Integrado de Médias Móveis (ARIMA – *AutoRegressive Integrated Moving Average*) e Lógica Paraconsistente Anotada. Basicamente, a DSNSF gera os valores de especificação do comportamento normal

---

<sup>2</sup> ELETROPAULO – Eletricidade de São Paulo, responsável pela distribuição de energia elétrica do Estado de São Paulo, Brasil.

de tráfego da rede, buscando possíveis anomalias; para o cálculo das especificações, foi utilizado o modelo ARIMA. Qualquer desvio em seus valores de especificação representa indícios sobre eventos anômalos. A LPA é responsável por avaliar esses desvios considerando as evidências favoráveis e desfavoráveis. Os testes demonstraram uma boa assertividade do sistema na caracterização como também nos diagnósticos de anomalias no tráfego de rede.

Um sistema de navegação e controle de robô móvel autônomo chamado de EMMY III foi proposto por TORRES, LAMBERT-TORRES, *et al.*, (2011). A técnica baseia-se na aplicação da Lógica Paraconsistente Anotada Evidencial em Redes Neurais Artificiais Paraconsistente. O sistema foi dividido em três Subsistemas: Sensorial, Planejamento e Mecânico. O Sensoriamento verifica os obstáculos em cada coordenada em torno do robô, gerando e armazenando valores na forma de grau de evidência da LPA. O subsistema de planejamento analisa os valores do grau de evidência e determina as ações de movimento do robô através LPA Evidencial. Já o subsistema mecânico faz a interpretação dos valores gerados pelo subsistema de planejamento e então executa seus respectivos movimentos. O robô EMMY III é uma evolução dos robôs EMMY I e II; os resultados foram satisfatórios devido a aplicação dos algoritmos baseados na LPA Evidencial, nos subsistemas de sensoriamento e planejamento.

Por fim, na área da medicina pode-se destacar o trabalho de COSTA e MARTINS (2014) que propuseram uma versão da Lógica Paraconsistente Híbrida Multimodal para auxiliar na triagem de pacientes em hospitais, tendo em vista que, em alguns casos, o paciente poderia receber diagnósticos divergentes e contraditórios de diferentes médicos, o que poderia dificultar no processo de avaliação e triagem. Basicamente o modelo serve como auxílio nesse processo de diagnóstico e triagem.

Seguindo nessa mesma linha de pesquisa da Lógica Paraconsistente Anotada, ABE, HELDER e NAKAMATSU (2014) também contribuíram na área da medicina. Os autores realizaram estudos sobre a Redes Neurais Artificiais Paraconsistente (RNAP) na aplicação em prováveis diagnósticos referente a doença de Alzheimer e de déficit de atenção/hiperatividade.

## 2.8 Considerações finais

Neste capítulo foram apresentados os fundamentos da LPA e uma breve revisão do

estado- da- arte foi exposta a fim de evidenciar a importância da lógica. Foi elucidada a forma de criação da Lógica Paraconsistente Anotada de Dois Valores composta pelo seus respectivos especialistas (grau de crença e grau de descrença,) bem como a forma de transformação da LPA2<sub>v</sub> para a LPA3<sub>v</sub>.

Os diagnósticos estabelecidos pela LPA3<sub>v</sub> são determinados de acordo com o *Grau de Especialista* ( $e$ ), em que  $e$  determina com exatidão a localização de cada região dentro do cubo analisador, estabelecendo assim um diagnóstico mais conciso. Outro aspecto importante e que se diferencia das demais lógicas, é que nos casos de situações inconsistente e indeterminado, a LPA apresenta o diagnóstico, porém sem descartar uma segunda opinião para a solução do problema, apresentando-a, no entanto, como uma segunda solução tendenciosa.

### 3 RACIOCÍNIO BASEADO EM CASOS – RBC

O Sistema de Raciocínio Baseado em Casos, mais conhecido como sistema RBC, surgiu como uma nova ferramenta que possibilita solucionar os problemas automaticamente. A sua aplicabilidade é de forma simples, direta em um amplo aspecto de tarefas. O seu funcionamento baseia-se em lembrar casos similares do passado para solucionar novos problemas do presente.

Os sistemas RBC tiveram sua inspiração inicial em 1977, quando Schank e Abelson, no trabalho conhecido como Memória Dinâmica, propuseram que o conhecimento geral das pessoas sobre determinado assunto está armazenado em *scripts* ou roteiros (KRAUS, 2009, p. 22).

Para RIESBECK e SCHANK (1989, p. 25, tradução nossa), “a ideia básica do sistema RBC é resolver um novo problema lembrando uma situação anterior similar, e então, reutilizando informações e conhecimento daquele situado”. Lembrar situações anteriores é o processo de extrair da base de conhecimento soluções do passado para serem aplicadas no problema presente. Com isso, problemas cuja descrição possui formas similares, em tese, apresentam soluções similares. Outra definição pode ser dada ao sistema RBC, que é:

Raciocínio Baseado em Casos (RBC) é uma técnica de Inteligência Artificial (IA) que reproduz aspectos da cognição humana para resolver problemas especialistas. Os sistemas de RBC simulam o ato humano de lembrar um episódio prévio para resolver um determinado problema em função da identificação de afinidades entre os mesmos (R. W. LEE, 1998, p. 45).

As características de funcionamento do sistema RBC são apresentadas nas seguintes subseções, a saber: 3.1 – ressalta o modelo de representação do sistema RBC; 3.2 – descreve as funções de similaridade que podem ser aplicadas na LPA3v; 3.3 – realiza uma comparação de cada função com o propósito de escolher a que mais se adequa no presente trabalho; 3.4 – ressalta uma breve revisão sobre pesquisas relacionadas ao tema (sistema RBC); Por fim, a subseção 3.5 – faz a conclusão referente ao tema.

#### 3.1 Modelo de representação do sistema RBC

A aplicação de um sistema de Raciocínio Baseado em Casos depende da complexibilidade do problema a ser solucionado e da área de aplicação, pois o sistema RBC necessita especificamente do conhecimento prévio sobre o assunto. O modelo utilizado neste

trabalho é o mais aceito e o mais utilizado em trabalhos de pesquisa; ele é conhecido como Ciclo do RBC proposto por A. AAMODT AND E. PLAZA, 1994. Esse ciclo engloba um raciocínio contínuo composto por quatro tarefas principais que são: Recuperação, Reutilização, Revisão e Retenção. Essas quatro tarefas detalhadas abaixo, também podem ser denominadas como 4R, sendo:

**Recuperação:** dado um novo caso, esse é solucionado a partir da recuperação de um caso prévio armazenado na Base de Conhecimento, ou seja, a solução e o diagnóstico do Novo Caso é estabelecido pelo algoritmo que recupera na Base de Conhecimento casos que tenham um **grau de similaridade** com o Caso Novo;

**Reutilização:** é denominado como uma fase de adaptação da solução do caso recuperado, que consiste na reutilização de uma cópia da solução do caso recuperado da Base de Conhecimento, como ponto de partida, para a solução do Novo Caso. Tendo em vista que nem todas as soluções dadas ao Caso Novo podem ser plausíveis, essas podem ser adaptadas a fim de atender as soluções desejadas;

**Revisão:** nessa etapa a solução que foi adaptada passa por um processo de revisão a fim de avaliar a solução encontrada. Durante esse processo, a solução é testada em aplicações no mundo real, por meio de uma simulação, pela avaliação de um usuário ou até mesmo utilizando-se de informações da própria Base de Conhecimento;

**Retenção:** a retenção tem como objetivo reter a solução que seja plausível e armazenar, para uso futuro, de forma que a Base de Conhecimento seja alterada pela inclusão do novo conhecimento em forma de um Novo Caso. A figura 3.1 mostra o ciclo RBC.

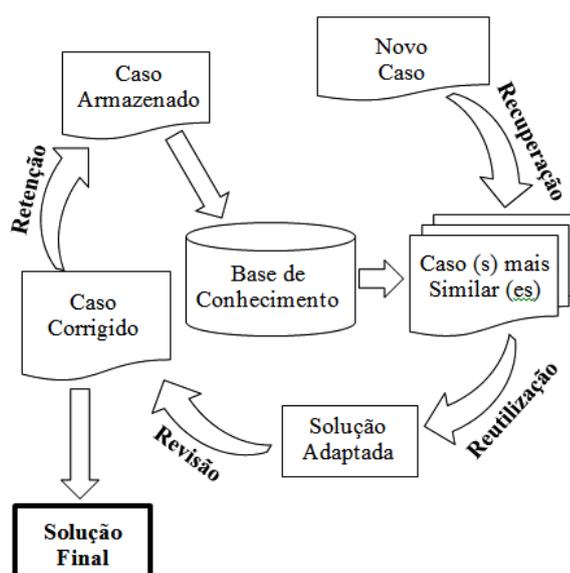


Figura 3.1 – Ciclo RBC

Fonte: adaptado de WANGENHEIM e WANGENHEIM (2003, p. 15)

Analisando o Ciclo RBC ou ciclo 4R, dado um Novo Caso, é **recuperado** da Base de Conhecimento através de funções de similaridade, o caso mais similar ao Novo Caso. Dessa forma é possível **reutilizar** a solução do caso recuperado como solução do caso novo, tendo em vista a similaridade entre os casos. Identificado o caso mais similar, faz-se uma solução adaptada (caso seja necessário) e a **revisão** da solução, para somente então estabelecer como Caso Corrigido. Estabelecido a solução final do Caso Novo, esse é retido (**retenção**) na Base de Conhecimento.

Há de se destacar que:

[...] essa pesquisa não é realizada com base em uma filosofia de tudo ou nada, como por exemplo, na busca em um banco de dados. Aqui vamos usar uma **ordem de preferência** que estabelece quais dos casos da base são mais similares ao atual e quais são menos (WANGENHEIM e WANGENHEIM, 2003, p. 15, tradução e grifo nosso).

A ideia do Ciclo RBC é que a solução do problema ou o diagnóstico de um Caso Novo pode ser estabelecido quando esse for suficientemente similar a um Caso da Base de Conhecimento, apresentando uma solução plausível para, enfim, ser armazenada como uma nova solução na Base de Conhecimento.

### 3.2 Função de similaridade

A função de similaridade é a essência do sistema de Raciocínio Baseado em Casos em razão de haver, na memória de casos ou na Base de Conhecimento, experiências passadas similares ao atual, permitindo solucionar problemas de um Novo Caso respaldando-se nas experiências da Base de Conhecimento. Em outras palavras, na ocorrência de um novo caso esse é comparado com todos os casos da Base de Conhecimento; a cada comparação é estabelecido um grau de similaridade no intervalo real fechado  $[0,1]$ . Esses casos são classificados e ordenados de forma crescente e os mais similares são sugeridos como solução potencial para o problema.

No entanto, um problema relevante que deve ser tratado é o armazenamento e o processamento necessário para a recuperação dos casos na Base de Conhecimento. Assim a aplicação desse sistema necessita analisar as diferentes métricas de similaridade para definir qual a mais adequada para cada tipo de domínio e aplicação. A escolha errônea de uma função de similaridade pode trazer alguns problemas na eficiência do sistema RBC.

WANGENHEIM e WANGENHEIM (2003, p. 106 - 122) cita alguns modelos para

determinação de similaridade como: Vizinho mais Próximo; Distância Euclidiana; Distância de Manhattan ; Distância de Chebychev; Coeficiente de Casamento Simples; Modelo de Contraste; Modelo do Vetor.

O trabalho apresentado por GUPTA e MONTEZEMI (1997) faz uma comparação e simulação de duas métricas de similaridade que são: Casamento do Vizinho mais Próximo e Casamento de Contraste de Tversky. Como resultado, o autor propôs uma nova função chamada de Casamento Cosseno Modificada.

Tendo em vista a diversidade de métricas/funções de similaridade, serão apresentadas nas subseções abaixo as funções mais relevantes e mais utilizadas em pesquisas recentes. Após uma breve simulação, a escolha das métricas/funções de similaridade baseou-se em dois critérios principais: 1- simulação das funções que obtiveram um melhor resultado, ou seja, que atingiram o objetivo proposto; 2- a que melhor se adequou à solução do problema do trabalho proposto.

### 3.2.1 Vizinho mais próximo

A função de vizinho mais próximo determina o k-ésimo caso mais relevante, utilizando o peso de seus atributos para medir a similaridade entre o novo caso e o caso existente.

COVER e HART (1967, p. 21, tradução nossa) destacam: “O método de vizinho mais próximo atribui uma amostra de vetores não classificados para uma classe mais próxima de um conjunto de modelos corretamente classificados”.

A função do vizinho mais próximo é apresentada pela equação 3.1.

$$NN = \frac{\sum_{i=1}^m \omega_i \sim (\omega_i^n, \omega_i^{pk})}{\sum_{i=1}^m \omega_i} \quad 3.1$$

Para  $i=1, \dots, m$  (elementos);

$n$  → denota o n-ésimo caso novo;

$pk$  → denota o pk-ésimo caso prévio;

$\omega_i$  → denota o peso dos elementos, podendo ser do caso novo ou prévio;

$\sim(\omega_i^n, \omega_i^{pk})$  → função de similaridade local. Representada pela equação 3.2, mede a semelhança entre dois elementos.

$$\sim(\omega_i^n, \omega_i^{pk}) = \begin{cases} 1 & \text{para } \omega_i^n = \omega_i^{pk} \\ 0 & \text{para } \omega_i^n \neq \omega_i^{pk} \end{cases} \quad 3.2$$

Em relação à função do vizinho mais próximo (equação 3.2), quando o domínio do conhecimento é aplicado em similaridade local ou nível local, algumas observações relevantes devem ser destacadas:

- dependendo do objetivo a ser alcançado, elementos com pequenas dissimilaridades entre os pesos, podem ser considerados iguais ( $\omega_i^n = \omega_i^{pk}$ ) (WANGENHEIM e WANGENHEIM, 2003);
- incorporar o efeito dos elementos que não se correspondem como é o caso da função de similaridade local, pode trazer dificuldades no objetivo a ser alcançado, tendo em vista que os elementos com pesos dominantes podem ser descartados;
- $\omega_i$  pode ser configurado de duas formas: 1-  $\omega_i = \omega_i^n$ , nesse caso  $\omega_i$  utiliza os pesos do caso novo para o devidos cálculos; 2-  $\omega_i = \omega_i^{pk}$ , nesse caso os pesos para  $\omega_i$  são os do caso prévio.

### 3.2.2 Casamento de contraste de tversky

O modelo de contraste expressa a semelhança entre dois objetos como uma combinação linear das medidas de suas características comuns e distintas. O modelo é utilizado para descobrir, analisar e explicar uma variedade de fenômenos empíricos, tais como: características comuns e distintas, relação entre semelhança e diferença, similaridades assimétricas e o efeito na decisão de similaridade (TVERSKY, 1977).

A função de casamento de Contraste de Tversky (CT) é apresentada na equação abaixo.

$$CT_{(\omega^n, \omega^{pk})} = \frac{(\omega^n \cap \omega^{pk})}{(\omega^n \cup \omega^{pk}) - (\omega^n \cap \omega^{pk})} \quad 3.3$$

$\omega^n$  → conjunto de elementos do caso novo;

$\omega^{pk}$  → conjunto de elementos do caso prévio;

Numerador → compreende um conjunto de elementos que combinam entre o caso novo e o caso prévio;

Denominador → compreende um conjunto que inclui os elementos dos casos novo e prévio, computando assim um contraste.

A função é de fácil aplicação e pode ser compreendida ao analisar a ilustração gráfica da Figura 3.2.

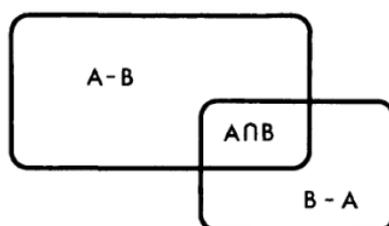


Figura 3.2 – Ilustração entre dois conjuntos característicos  
Fonte: adaptado de TVERSKY (1977, p. 330).

Sendo:

$$A \cap B = \{x \mid x \in A \text{ e } x \in B\} \quad 3.4$$

$$A - B = \{x \mid x \in A \text{ e } x \notin B\} \quad 3.5$$

$$B - A = \{x \mid x \in B \text{ e } x \notin A\} \quad 3.6$$

**Uma observação deve ser frisada na aplicação do teorema de Tversky:** ao aplicar o teorema de Tversky os pesos dos elementos/descrições não devem ser considerados, pois assim diz GUPTA e MONTEZEMI (1997, p. 603, tradução nossa) “Contraste de Tversky não inclui os pesos associados com as descrições”. **Nesse caso, os elementos do conjunto que apresentarem pesos como forma de ponderação, esses devem ser normalizados e diferenciados dos elementos que não apresentam pesos de ponderação.** Entretanto, a aplicação do teorema de Contraste de Taversky no sistema RBC torna-se limitado por não incluir os pesos, sendo esses essenciais para a evolução da performance nos resultados.

### 3.2.3 Modelo de vetor

O modelo de vetor foi proposto inicialmente por SALTON (1966), quando apresentou

em sua pesquisa a eficácia das principais técnicas de busca de informações automáticas e propôs uma operação (modelo de vetor) para ser implementada em um sistema automático de busca de informações. O modelo de vetor mede o ângulo entre dois vetores em um espaço vetorial: quanto mais próximo for de um, mais similar são os vetores. A função avalia o grau de similaridade (Sim) entre dois vetores  $\vec{d}=[\omega_i, \dots, \omega_m]$ , e  $\vec{q}=[\omega_i, \dots, \omega_m]$ . Esta correlação pode ser quantificada pelo cosseno do ângulo entre dois vetores, conforme figura 3.3 abaixo.

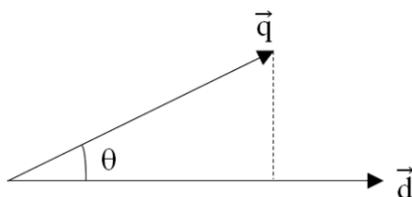


Figura 3.3 – Sim (d, q) do cosseno de  $\theta$   
Fonte: adaptado de LIMA e ROSATELLI (2004, p. 44).

$$\text{Sim}(q, d) = \frac{\vec{q} \cdot \vec{d}}{|\vec{q}| \times |\vec{d}|} = \frac{\sum_i^m \omega_i^n \omega_i^{pk}}{\sqrt{\sum_i^m (\omega_i^n)^2 \sum_i^m (\omega_i^{pk})^2}} \quad 3.7$$

Para  $i=1, \dots, m$  (elementos);

$\vec{d}$  → denota o vetor caso prévio;

$\vec{q}$  → denota o vetor caso novo;

$\omega_i^n$  → peso do caso novo;

$\omega_i^{pk}$  → peso do caso prévio.

Diferentemente do modelo do vizinho mais próximo, os pesos dominantes não são descartados; o modelo de vetor determina a similaridade global utilizando os pesos dos elementos e incorporando assim um contraste.

### 3.2.4 Função casamento do cosseno modificado (C. C. M.)

A similaridade utilizada neste trabalho foi a função Casamento de Cosseno Modificado (CCM) que tem o objetivo de modificar a função Modelo de Vetor através da similaridade local, ou seja, é acrescentada uma similaridade escalonada ao longo das descrições. Tal modificação do modelo do vetor pode ser compreendida como:

A modificação implica que o cosseno do ângulo gerado pelos pesos do vetor caso novo e do vetor caso prévio é ponderado pela semelhança escalonada ao longo das descrições. Como resultado a função (CCM) pode ser ordenada de acordo com a diminuição da similaridade (GUPTA e MONTEZEMI, 1997, p. 604, tradução nossa).

A similaridade escalonada é apresentada pela equação 3.8 abaixo.

$$\sim(\omega_i^n, \omega_i^{pk}) = 1 - \left( \frac{|\omega_i^n - \omega_i^{pk}|}{R_i} \right) \quad 3.8$$

$$G_{\text{cas}(pk, n)} = \frac{\sum_i^m \omega_i^n \omega_i^{pk} \left( 1 - \left( \frac{|\omega_i^n - \omega_i^{pk}|}{R_i} \right) \right)}{\sqrt{\sum_i^m (\omega_i^n)^2 \sum_i^m (\omega_i^{pk})^2}} \quad 3.9$$

$\sim(\omega_i^n, \omega_i^{pk}) \rightarrow$  função de similaridade local;

$\omega_i^n \rightarrow$  peso do caso novo;

$\omega_i^{pk} \rightarrow$  peso do caso prévio;

$R_i \rightarrow$  valor máximo de escala do i-ésimo.

A equação 3.9 será definida neste trabalho como Grau de Casamento ( $G_{\text{cas}}$ ) (MARTINS, 2003).

### 3.3 Comparação das funções de similaridade

O objeto desta subseção é realizar uma comparação e análise crítica dos resultados de cada função de similaridade apresentada na subseção 3.2. Para fins de obtenção de uma comparação resumida e eficaz, será extraído do capítulo 5 as seguintes informações:

- 1- **Matriz Base de Conhecimento (BC):** será extraída a matriz BC composta por cinco eventos/conjuntos (E1; E2; E3; E4; E5); cada qual com seus respectivos diagnósticos (H1; H2; H3; H4; H5);
- 2- **Matriz Caso Novo (CN):** será extraído da matriz CN um único

evento/conjunto (E4), com o intuito de determinar o seu diagnóstico. O diagnóstico do evento E4 será determinado a partir da comparação com os cinco eventos/conjunto da matriz Base de Conhecimento, estabelecendo o grau de similaridade entre eles;

- 3- **Normalização dos Pesos de Ponderação:** para o teorema de Contraste de Tversky (CT), a normalização e a diferenciação dos pesos é dado por:

$$(\omega_i^n, \omega_i^{pk}) = \begin{cases} 1 & \text{para } \omega_i^n > 1 \text{ e } \omega_i^{pk} > 1 \\ 0 & \text{para } \omega_i^n \leq 1 \text{ e } \omega_i^{pk} \leq 1 \end{cases} \quad 3.10$$

Abaixo, descreve-se a matriz Base de Conhecimento BC

$$BC = \begin{matrix} \begin{bmatrix} E1 \\ E2 \\ E3 \\ E4 \\ E5 \end{bmatrix} \\ = \end{matrix} \begin{bmatrix} 1,67 & 1,80 & 1,93 & 1,88 & 1,88 \\ 1,67 & 1 & 1,93 & 1 & 1,88 \\ 1 & 1 & 1 & 1,88 & 1,88 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1,88 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \begin{matrix} \rightarrow H1 \\ \rightarrow H2 \\ \rightarrow H3 \\ \rightarrow H4 \\ \rightarrow H5 \end{matrix} \quad 3.11$$

Estabelecido a Base de Conhecimento, é possível determinar o diagnóstico da matriz Caso Novo (CN). A matriz representa o Evento 4 do esquema utilizado neste trabalho.

$$CN = [E4] = [1,67 \quad 1,80 \quad 1,93 \quad 1 \quad 1] \rightarrow \text{Diagnóstico a ser determinado} \quad 3.12$$

A matriz abaixo descreve o valor máximo de escala do i-ésimo elemento  $R_i$ .

$$R = [1,67 \quad 1,80 \quad 1,93 \quad 1,88 \quad 1,88] \quad 3.13$$

Sabendo-se previamente que o evento E4 da matriz Caso Novo deve ser diagnosticado como H1, em tese, as funções de similaridade devem diagnosticá-lo como H1. A tabela 3.1 mostra o Evento do Caso Novo (E4) a ser comparado com os Eventos do Caso Prévio (E1; E2; E3; E4; E5). A tabela 3.2 mostra os resultados do diagnóstico (Diag.) determinados por cada função de similaridade.

Tabela 3.1 – Eventos do Caso Novo e Caso Prévio

	Pesos dos Casos $\omega_i^n$ e $\omega_i^{pk}$				
	$\omega_1$	$\omega_2$	$\omega_3$	$\omega_4$	$\omega_5$
Evento CN – E4	1,67	1,80	1,93	1	1
Evento BC – E1	1,67	1,80	1,93	1,88	1,88
Evento BC – E2	1,67	1	1,93	1	1,88
Evento BC – E3	1	1	1	1,88	1,88
Evento BC – E4	1	1	1	1	1,88
Evento BC – E5	1	1	1	1	1

Tabela 3.2 – Resultado dos Diagnósticos dados por cada Função

Diag.	NN <sup>n</sup>	NN <sup>pk</sup>	CT	Sim	G <sub>cas</sub>
H1	0,730	0,590	0,750	0,961	0,836
H2	0,622	0,615	0,750	0,941	0,799
H3	0,000	0,000	0,000	0,842	0,460
H4	0,135	0,170	0,125	0,880	0,531
H5	0,270	0,400	0,333	0,965	0,652

A seguir, será demonstrada resumidamente a aplicação das funções de similaridade. Os valores apresentados abaixo referem-se aos resultados preliminares da primeira linha da tabela 3.2. A equação 3.14 é a matriz transposta do Evento Caso Novo (E4) e do Evento Caso Prévio (E1).

$$([E4]^T, [E1]^T) = \left( \begin{bmatrix} 1,67 \\ 1,80 \\ 1,93 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} 1,67 \\ 1,80 \\ 1,93 \\ 1,88 \\ 1,88 \end{bmatrix} \right) \quad 3.14$$

$$NN_{(n, pk)}^n = \left( \begin{bmatrix} 1,67 \\ 1,80 \\ 1,93 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} 1,67 \\ 1,80 \\ 1,93 \\ 1,88 \\ 1,88 \end{bmatrix} \right) = \frac{1,67 \cdot 1 + 1,80 \cdot 1 + 1,93 \cdot 1 + 1 \cdot 0 + 1 \cdot 0}{1,67 + 1,80 + 1,93 + 1 + 1} = 0,730$$

$$NN_{(n, pk)}^{pk} = \left( \begin{bmatrix} 1,67 \\ 1,80 \\ 1,93 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} 1,67 \\ 1,80 \\ 1,93 \\ 1,88 \\ 1,88 \end{bmatrix} \right) = \frac{1,67.1+1,80.1+1,93.1+1.0+1.0}{1,67+1,80+1,93+1,88+1,88} = 0,590$$

$$CT_{(n, pk)} = \left( \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix} \right) = \frac{3}{7-3} = 0,750$$

$$Sim_{(n, pk)} = \left( \begin{bmatrix} 1,67 \\ 1,80 \\ 1,93 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} 1,67 \\ 1,80 \\ 1,93 \\ 1,88 \\ 1,88 \end{bmatrix} \right) = \frac{1,67.1,67+1,80.1,80+1,93.1,93+1.1,80+1.1,80}{\sqrt{(1,67^2+1,80^2+1,93^2+1^2+1^2).(1,67^2+1,80^2+1,93^2+1,88^2+1,88^2)}} = 0,961$$

$$G_{cas(n, pk)} = \left( \begin{bmatrix} 1,67 \\ 1,80 \\ 1,93 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} 1,67 \\ 1,80 \\ 1,93 \\ 1,88 \\ 1,88 \end{bmatrix} \right) = \frac{1,67.1,67. \left( 1 - \left( \frac{|1,67-1,67|}{1,67} \right) \right) + 1,80.1,80. \left( 1 - \left( \frac{|1,80-1,80|}{1,80} \right) \right) +$$

$$1,93.1,93. \left( 1 - \left( \frac{|1,93-1,93|}{1,93} \right) \right) + 1.1,88. \left( 1 - \left( \frac{|1-1,88|}{1,88} \right) \right) + 1.1,88. \left( 1 - \left( \frac{|1-1,88|}{1,88} \right) \right)}{\sqrt{(1,67^2+1,80^2+1,93^2+1^2+1^2).(1,67^2+1,80^2+1,93^2+1,88^2+1,88^2)}} = 0,836$$

Diante dos resultados apresentados na tabela 3.2 acima, algumas considerações devem ser feitas para cada função de similaridade:

- I. **Determinação do Grau de Crença ( $\mu_1$ ) e Grau de Descrença ( $\mu_2$ ) :**  
independentemente da função de similaridade a ser utilizada, a determinação do Grau de Crença e Descrença será definida como o primeiro e o segundo de

maior valor, ou seja, o primeiro maior Grau de Similaridade será o Grau de Crença e o segundo maior Grau de Similaridade será o Grau de Descrença;

- II. **Da função  $NN^p$ :** essa função atingiu o objetivo diagnosticando o Caso Novo como sendo o Caso Prévio H1. No entanto, a sua utilização pode ser problemática quando os casos tiverem um maior número de elemento  $\omega_j$ . Nesse caso a função de similaridade local (equação 3.2) pode descartar os elementos que não correspondem e conseqüentemente os elementos com pesos dominantes. Isso pode ser comprovado no trabalho de K. M. GUPTA AND A. R. MONTEZEMI, 1997 tabela I;
- III. **Função  $NN^{pk}$ :** não atingiu o objetivo por não ter identificado o Caso Novo como sendo o Caso Prévio como H1, além de apresentar os mesmos problemas do item I;
- IV. **Função CT:** ocorreu um empate, não sendo possível identificar entre os Casos Prévios H1 e H2. Isso ocorre devido a normalização dos pesos conforme equação 3.10;
- V. **Função Sim:** identificou o Caso Novo como sendo o Caso Prévio – H5. Nesse caso, a função não atingiu o seu objetivo proposto, que é diagnosticar o Caso Prévio como Prévio – H1, além de não incorporar na sua função a similaridade local;
- VI. **Função  $G_{cas}$ :** atingiu o objetivo identificando o Caso Prévio como sendo H1. Essa função proporciona um resultado mais satisfatório por incorporar a similaridade escalonada (equação 3.8), incluindo todos os pesos sem perder informações relevantes. **Destaca-se que a vantagem de se utilizar essa função, é o fato de dispensar quaisquer valores probabilísticos para estabelecer a similaridade. Assim sendo, essa função foi a escolhida para ser implementada no trabalho proposto.**

### 3.4 Sistema RBC: uma breve revisão

O sistema RBC pode ser aplicado em diversos setores, independente da complexibilidade do problema a ser solucionado e da área de aplicação. Nesse sentido, devido a sua diversidade, pesquisadores vêm propondo trabalhos relacionados ao tema. Dentre esses pesquisadores, algumas recentes publicações podem ser mencionadas.

TIAKO, JAYAWEERA e ISLAM (2012) utilizaram o sistema de Raciocínio Baseado

em Casos para monitorar e analisar, em tempo real, a segurança dinâmica do sistema de energia considerando uma grande quantidade de energia eólica injetada na rede. Nesse trabalho cita-se que “se a quantidade de penetração de energia eólica não estiver dentro de um limite de segurança na dinâmica do sistema de energia, falhas em cascatas e desligamento de uma parte do sistema de energia são susceptíveis de ocorrer”. O sistema RBC avalia, em tempo real, a dinâmica de segurança, utilizando-se de soluções antigas para calcular soluções em tempo real ou subsequente. Para o cálculo, foi proposta a função do vizinho mais próximo e para os testes, foi proposto um modelo de 19 barras para demonstrar a eficácia do sistema RBC. O resultado demonstrou que o sistema utilizado é robusto, proporcionando um menor tempo computacional.

Um modelo de sensor virtual utilizado no sistema RBC foi proposto por ZHOU, LU e CHAI (2014). A técnica estima, em tempo real, a qualidade de moagem de produtos de uma usina mineral na China. O autor descreve que o modelo é superior à rede neural convencional, pois o algoritmo de Vizinho mais Próximo, utilizado para estimar a similaridade dos casos, possibilita uma aprendizagem continuada. O algoritmo é influenciado pelo peso característico dos casos, peso esse que representa o grau de importância de cada elemento. Os resultados da aplicação mostraram que o sistema alcançou de forma satisfatória a estimação da qualidade de moagem do produto, sem a necessidade de quaisquer correções adicionais na variação do tempo de processamento.

Seguindo nessa mesma linha de aplicação do sistema RBC em análise de produto, o trabalho proposto por JEONG, MORRISON e SUH (2015) utiliza essa técnica na Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) de um produto. A ACV analisa a eficácia ecológica e ao final do ciclo é possível determinar a categoria do impacto ambiental do produto. A técnica utiliza um modelo Função de Comportamento Estrutural (FCE) para organizar a Base de Conhecimento do sistema RBC. A Base de Conhecimento contém informações da eficácia ecológica de produtos previamente conhecidos. Com base nessas informações é possível estimar em qual categoria um novo produto se enquadra. Devido à quantidade de informações correlacionadas, foram utilizadas diferentes métricas de similaridade que permitem medir a distância de similaridade entre produtos disponíveis na Base de Conhecimento e novos produtos.

### **3.5 Considerações finais**

Neste capítulo foi apresentado o método de aplicação e funcionamento do sistema RBC, sua forma de representação (Ciclo RBC) bem como a demonstração de algumas

funções de similaridade. A fim de se obter uma função que se adeque ao trabalho proposto e que tenha uma eficácia plausível nos resultados, cinco funções foram simuladas e seus resultados analisados de forma crítica. Por fim, foi possível estabelecer a função de similaridade que demonstrou melhor adaptação no trabalho proposto.

Ressalta-se que, assim como ocorrido com a função CT item III, o Grau de Casamento também pode apresentar empate entre os casos. Porém, o que se deseja da função Grau de Casamento é a incorporação das similaridades global e local, sem que haja perda de elementos com pesos relevantes. A incorporação dessas similaridades global e local, sem a perda dos pesos, minimizam os efeitos de empate.

## 4 PROTEÇÃO DO SISTEMA ELÉTRICO DE POTÊNCIA – SEP

Antes de apresentar a aplicação da LPA3v para classificar e diagnosticar os tipos de faltas ocorridas no transformador de potência, é de fundamental importância compreender e entender o SEP, os elementos que o compõem, bem como os mecanismos de proteção utilizados para garantir as condições ideais do seu funcionamento.

Todo SEP deve ser constituído por equipamentos de proteção e manobra, responsável por assegurar a continuidade e qualidade do fornecimento de energia na ocorrência de uma contingência. Esses equipamentos de proteção permitem isolar a parte defeituosa do SEP e restabelecer a parte sã. Basicamente as funções de proteção podem ser do tipo Proteção Seletiva (PS) ou Proteção Não Seletiva (PNS).

O sucesso da continuidade ininterrupta de energia é fundamental para as empresas concessionárias, pois evita os descontos PVI (Parcela Variável por Indisponibilidade)<sup>3</sup>. Porém, as interrupções não programadas são consideradas anormais e inevitáveis, cabendo ao operador a responsabilidade de assegurar a continuidade da fonte de suprimento. Nesse sentido, o operador do SEP deve interpretar de forma rápida e assertiva as mensagens dos alarmes e agir apropriadamente no sentido de restabelecer a energia.

Tendo em vista que os equipamentos responsáveis pela proteção do SEP são fundamentais para minimizar os efeitos das perturbações causadas por curto-circuito e conseqüentemente os descontos PVI, este tema será abordado em nove subseções, conforme segue: em 4.1 e 4.2, ter-se-á, respectivamente, a contextualização do SEP e dados estatísticos referentes à geração e consumo de energia; em 4.3 - será feita uma abordagem sobre Falta, seguindo-se das subseções 4.4 e 4.5, onde se descreverá a funcionalidade do transformador e se fará uma revisão referente à sua proteção. Na subseção 4.6- serão feitas algumas considerações sobre proteção de transformadores; Na subseção 4.7- descrever-se-ão, de forma resumida, os tipos e ocorrências de faltas que recaírem em um componente do SEP. Na subseção 4.8- far-se-á uma análise da aplicação dos principais relés de proteção. O capítulo será finalizado na subseção e 4.9, com as devidas conclusões.

---

<sup>3</sup> Resolução Normativa N° 270/2007 PVI (Parcela Variável por Indisponibilidade) estabelece a parcela a ser deduzida do PB (Pagamento Base) das concessionárias de transmissão, responsáveis pelo desligamento programado e não programado do SEP.

#### 4.1 Contextualização do SEP

O Sistema Elétrico de Potência é considerado grandes sistemas de energia inter-relacionados composto por uma diversidade e variedade de equipamentos elétricos. Dentre vários equipamentos, os que mais se destacam pela sua importância e robustez são: geradores de energia, barramentos, cabos, disjuntores, **relés (funções de proteção)** e os **transformadores de potência**.

Sucintamente, o SEP é constituído por três grandes grupos compreendidos como geração, transmissão e distribuição.

- ✓ **Geração:** compreendido como usinas de produção de energia podendo ser hidroelétrica, termoelétrica, nuclear, solar fotovoltaica, eólica entre outros métodos de produção de energia;
- ✓ **Transmissão:** responsável por levar a energia produzida aos grandes centros de consumo, através de linhas (cabos) de transmissão. A transmissão é em alta tensão podendo ser via Corrente Alternada (AC) ou via Corrente Contínua (CC);
- ✓ **Distribuição:** constituído por subestação abaixadora de tensão, responsável por distribuir a energia elétrica em corrente alternada diretamente aos consumidores residenciais, comerciais e industriais.

Para manter um índice de qualidade de energia e preservar a integridade operacional dos grupos e equipamentos elétricos, esses sistemas são projetados para dispor de suas próprias funções de proteção, além de dispor de uma rede inteligente (*Smart Grid*) integrada ao sistema de comunicação de dados. A comunicação dos dados tem como objetivo enviar as mensagens dos alarmes das subestações até o centro de controle, cabendo ao operador a responsabilidade de analisar, em tempo hábil, os alarmes e mitigar os efeitos e danos da falta de energia.

A qualidade do fornecimento de energia no Brasil é estabelecida pela ANEEL, através de indicadores de impacto. Esses indicadores são influenciados nos casos de ocorrências de descontinuidade de energia não programada por parte das empresas fornecedoras. Por fim, as empresas estão em contínua modernização e contínuos investimentos para atender as exigências estabelecidas pela ANEEL, como também acompanhar a demanda crescente

referente ao consumo nacional e mundial de energia elétrica. Como consequência, tais investimentos e modernização tornam-se inevitáveis.

## 4.2 Dados estatísticos: nacional e mundial do SEP

Tratando-se da demanda crescente no consumo de energia nacional e global, dados estatísticos apontam para a necessidade na ampliação e modernização do SEP. Relatórios divulgados em 2015 pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE)<sup>4</sup> ressaltam um crescimento na geração e no consumo de energia elétrica brasileira.

O crescimento relativo à Geração x Consumo de energia no Brasil pode ser observado e analisado na figura 4.1 abaixo.



Figura 4.1 – Gráfico de Geração x Consumo de Energia Elétrica no Brasil

Fonte: EPE (Anuário Estatístico de Energia Elétrica, 2015) e (Consumo Anual de Energia Elétrica por Classe (nacional) - 1995-2014, 2015).

Observa-se na figura 4.1 que, em quatro anos (2014, 2013, 2012, 2011), houve um crescimento médio no Brasil de 3,4% referente à geração de energia, enquanto que o seu consumo cresceu em média 3,3%.

Já o crescimento relativo à Geração x Consumo de energia Mundial pode ser observado e analisado no gráfico abaixo.

<sup>4</sup>EPE é uma empresa pública federal vinculada ao Ministério de Minas e Energia criada através do decreto Nº 5.184 de 16 de Agosto de 2004, com a finalidade de “prestar serviços na área de estudos e pesquisas destinadas a subsidiar o planejamento do setor energético, tais como energia elétrica, petróleo e gás natural e seus derivados, carvão mineral, fontes energéticas renováveis e eficiência energética, dentre outras”.



Figura 4.2 – Gráfico de Geração x Consumo de Energia Elétrica Mundial  
Fonte: IEA (*International Energy Statistics*, 2015)

Observa-se que, em quatro anos (2012, 2011, 2010, 2009), houve um crescimento médio de 3% referente à geração de energia mundial, enquanto que o seu consumo cresceu em média 3,1% .

Algumas informações relevantes devem ser mencionadas em relação aos dados dos gráficos acima:

- ✓ Geração de energia nacional e mundial inclui: Gás Natural, Hidráulica, Derivados do Petróleo, Carvão, Nuclear, Biomassa, Eólica entre outros;
- ✓ Consumo de energia nacional e mundial inclui: Residências, Indústrias, Comércio entre outros.

Diante dos números mencionados, investimentos e ampliações tornam-se prioritários e imprescindíveis. Tais investimentos e ampliações consistem em: instalações de novos e modernos equipamentos elétricos; ampliação e modernização de fontes geradoras de energia, construções de novas linhas de transmissão tornando-as maiores, interligadas e redundantes; investimentos em modernas ferramentas computacionais que possibilitem auxiliar o operador a gerenciar e monitorar o SEP, entre outros investimentos que se fizerem necessários.

Segundo EPE, entre 2015 a 2018 serão investidos no SEP brasileiro cerca de R\$ 186 bilhões, sendo desse total, R\$ 116 bilhões destinados ao setor de geração e R\$ 70 bilhões destinados ao setor de transmissão (Programa de Investimento em Energia Elétrica - PíEE, 2015).

### 4.3 Diagnóstico de falta no SEP

Diagnóstico de falta é a palavra chave utilizada na área do SEP que significa: qualificação de um operador do centro de controle em relação a uma determinada falha ocorrido no SEP, tendo como base das informações os sintomas observados. Sistema de diagnóstico de faltas é uma ferramenta de suporte ao operador para identificação, localização e diagnóstico de faltas simples e complexas, auxiliando a área de operação das empresas de energia durante condições que demandam rapidez e precisão na tomada de decisão (SAMPAIO, BARROSO e RUTH, 2005).

Algumas ferramentas de suporte ao operador foram mencionadas na subseção 1.3 (Estado-da-Arte), porém as mais utilizadas são: SCADA – Supervisão, Controle e Aquisição de Dados; AGD – Análise de Gás Dissolvido, RDP – Registrador Digital de Perturbação.

Dentre as várias ferramentas utilizadas para auxiliar o operador no diagnóstico de falta no SEP, o SCADA, no inglês “*Supervisory Control And Data Aquisition*” é considerada a espinha dorsal (*backbone*) do SEP. O SCADA também é aplicado em outras unidades industriais como: oleoduto, distribuição e tratamento de água; sistema de esgoto; linhas de processamento de minério e sistema de transportes como: ferrovias; metrô; trânsito em cidades, etc.. SCADA também pode ser definido como:

Um sistema de Supervisão, Controle e Aquisição de Dados, tecnicamente conhecido como SCADA é um sistema utilizado para coletar, armazenar, analisar e apresentar os dados de uma planta industrial, sob supervisão e controle. Em alguns desses sistemas, em função dos dados coletados e analisados, algumas decisões são tomadas e enviadas aos atuadores que interferem no processo controlado em tempo real. (OHANA, 2012, p. 17).

Quando os equipamentos de proteção atuam devido a ocorrência de uma contingência, o SCADA envia em tempo real mensagens de alarmes ao centro de controle, cabendo ao operador do sistema fazer uma pré-análise dos alarmes e estabelecer o diagnóstico. Sistema SCADA deve operar continuamente, corretamente e em seu nível de desempenho esperado em todos os momentos. Assegurar a continuidade requer a capacidade de tolerar e superar vários tipos de falta, incluindo faltas de menor e maior gravidade (ABE HELDER e NAKAMATSU, 2014).

OLIVEIRA (2013, p. 33) descreve em seu trabalho que “a produção, aquisição e apresentação de alarmes pelo SCADA estão sujeitos a problemas associados ao tráfego de informações pela rede de comunicação”. De forma sucinta, o autor destaca que tais problemas

de informação são: problemas temporais associados à transmissão das informações; inconsistências lógicas dos alarmes devido a ordem cronológica estar incorreta; informações incompletas devido a ausência de alarmes esperados em um determinado instante ou a manifestação de mensagens não associadas a ocorrências. O diagnóstico de falta é um problema de tomada de decisão, cabendo ao operador selecionar a mais provável, dentre as várias hipóteses (componentes elétricos em falta) previamente formuladas (CARDOSO JUNIOR, 2003).

Na prática, o operador lida com uma diversidade de situações, dificultando assim a confiabilidade na tomada de decisão, pois além de processar um grande número de alarmes em um curto espaço de tempo, deve lidar com uma eventual falha de informação do SCADA. Ao operador cabe: identificar os componentes que estão em falta; efetuar manobras para isolar o componente defeituoso; restaurar as partes do sistema atingido pelo desligamento; caso necessário, deslocar as equipes de manutenção para a correção do defeito (CARDOSO JUNIOR, 2003).

Finalizando a subseção, PAUL BARRINGER (2004) apresenta um software desenvolvido pela Força Aérea dos Estados Unidos para construção de modelos de confiabilidade complexa. Resultados demonstraram que a probabilidade de falha humana em uma sala de controle para diagnosticar corretamente um evento anormal é de 100% em um período de 1 minuto e de 0,01% após 15 minutos. O autor destaca em seu trabalho que a automatização das funções da sala de controle é muito importante para melhorar a confiabilidade do sistema.

#### **4.4 Transformador de potência (TDP)**

Transformador de potência (TDP) são equipamentos elétricos responsáveis por transferir a energia elétrica ou potência elétrica de um circuito a outro, de forma a variar os valores de corrente e tensão, mantendo a mesma frequência de origem. Seguindo-se os padrões internacionais, outras definições podem ser atribuídas para TDP.

Um dispositivo de eletricidade estática que consiste em um enrolamento, ou dois ou mais enrolamentos acoplados, com ou sem um núcleo magnético, para a introdução de acoplamento mútuo entre os circuitos elétricos. Transformadores são amplamente utilizados em sistemas elétricos de potência para transferir energia por indução eletromagnética entre os circuitos na mesma frequência, normalmente com valores alterados de tensão e corrente (Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) STANDART ASSOCIATION, 2010, p. 40, tradução nossa).

*International Electrotechnical Commission* (2016, seção 421-01-01, tradução nossa)<sup>5</sup> define TDP como: “equipamento estático, com dois ou mais enrolamentos, que, por indução eletromagnética, converte um sistema de tensão e corrente alternada em outro sistema, sendo este, geralmente, de tensão e corrente diferentes do sistema original, mantida a frequência.”

Basicamente, os transformadores podem ser do tipo trifásico ou monofásico, elevador ou abaixador de tensão dependendo da necessidade do projeto. Sua função é diminuir as perdas nos sistemas de transmissão reduzindo a corrente requerida para transmitir a potência desejada. No SEP, o transformador de potência tem uma ocupação essencial devido a sua importância e alto custo. A correta instalação e manutenção garante uma menor deterioração de seus componentes (circuito magnético, enrolamentos, isolamento, buchas, entre outros) e o correto acompanhamento e monitoramento do seu estado de operação do transformador, bem como de seus componentes, são essenciais para minimizar os custos associados ao seu ciclo de vida útil.

Em se tratando do ciclo de vida útil do Transformador de Potência, WAUGH e MUIR, (2015), descreveram em seu trabalho (melhoria no gerenciamento no ciclo de vida do transformador de potência) que: embora a taxa de falha de um transformador seja relativamente baixa (inferior a dois por cento), a ocorrência de falha em um transformador pode ser expressivamente catastrófico. O custo do serviço na restauração de um transformador para os casos de falha aumenta em até sessenta e cinco por cento e perdas de receita de até sessenta por cento. Por isso a prudência em otimizar a vida útil do transformador, mitigando as falhas em operação, torna-se imprescindível.

Ainda que o TDP apresente uma baixa taxa de falha, o não funcionamento ocasiona inúmeros prejuízos para as empresas de transmissão e distribuição. A utilização de mecanismos de proteção ou funções de proteção contra falhas internas e externas é essencial para o funcionamento correto e seguro do TDP, proporcionando a otimização da vida útil e o fornecimento ininterrupto de energia.

#### **4.5 Proteção do transformador de potência uma breve revisão**

A ampliação contínua do SEP provoca uma instalação e manutenção contínua do TDP, que, por sua vez, traz uma série de novos desafios para o setor responsável pela proteção, já

---

<sup>5</sup> International Electrotechnical Commission (IEC), estabelece Normas Internacionais e Avaliação de Conformidade para todas as tecnologias elétricas, eletrônicas e afins

que a falta de proteção ou a proteção inadequada pode danificar severamente o sistema. No tocante ao TDP, existem diversas técnicas e filosofias para a sua proteção e os mais citados nas literaturas estão baseados na utilização de relés e fusíveis.

Haja vista que o presente trabalho centraliza esforços no diagnóstico e classificação de falta no TDP com base no estado de operação dos relés de proteção, as revisões bibliográficas apresentadas nessa subseção concentram-se especificamente em literaturas que utilizam modelos de proteção baseados nas informações dos relés.

Assim sendo, um protótipo de um relé de sobrecorrente não direcional baseado em micro controlador foi apresentado por ALI e BENDARY (2013) para a proteção de um transformador de distribuição. Na construção do protótipo foi utilizada uma plataforma de *hardware* principal composta por: transdutor de corrente, um filtro DFT (*Discrete Fourier Transform*) suave para análise discreta de segundo e quinto harmônicos, micro controlador PIC, módulos de entrada/saída para fins de sinalização, módulo de memória *flash* para gravar a sequência de eventos e captura de forma de onda. O protótipo tem um baixo custo de fabricação e alta performance, mostrando ser eficiente em aplicações de proteção de sobrecorrente como: falta terra, falta terra restrita, condições de *inrush* por meio da detecção da segunda harmônica.

DASHTI e SANAYE-PASAND (2013) propuseram uma adaptação no relé diferencial chamado de “Relé Diferencial MultiRegiões Adaptativo”. A nova abordagem adaptativa melhora o desempenho do relé diferencial, pois utiliza a trajetória da corrente diferencial, com base nos coeficientes de ponderação para diagnosticar faltas internas e distúrbios no TDP como: corrente “*inrush*” e saturação do Transformador de Corrente (TC). A zona de operação do relé proposto foi dividida em cinco regiões, sendo: três regiões para cobrir todas as possíveis faltas internas, uma região de controle para cobrir corrente “*inrush*” e outra região para saturação do CT. As cinco regiões foram determinadas com base no nível da corrente diferencial e na trajetória da corrente diferencial característica do relé. O modelo adaptativo apresentou uma melhoria, pois permite um comando *trip* cerca de quatro vezes mais rápido que os relés diferenciais convencionais, impede o bloqueio imediato na presença de uma corrente “*inrush*” além de diminuir o tempo de atraso na ocorrência de uma falta interna.

Prosseguindo com o mesmo tema, REENA e DHATRAK (2014) utilizou a técnica de Redes Neurais Artificiais para distinguir entre correntes *inrush* e condições de falta no transformador de potência, devido a má operação do sistema de proteção. A Relação de Segundo Harmônico (RSH), valor de pico da corrente *inrush* e desvio médio foram utilizados

como parâmetros de entrada da RNA. A precisão da RNA atingiu um índice de 100% de acerto na distinção entre correntes *inrush* e condições de falta, além de restringir o funcionamento de operação do relé diferencial para os casos de *inrush*.

TAVARES e SILVA (2014) apresentou o modelo de um relé numérico microprocessado para proteção de transformador de potência. Nesse trabalho foram implementadas as funções de proteção diferencial percentual de fase (87T), de sequência negativa (87Q) e de falta terra fase restrita (REF). O *software* ATP foi utilizado para a construção e simulação e os relés implementados no ambiente MODELS. Os resultados indicaram que a combinação das três funções implementadas (87T, 87Q e REF) detecta um maior número de faltas que um transformador pode estar sujeito, permitindo simulações em malha fechada e em massa, como também avaliar o comportamento de proteção em plena operação.

A fim de mitigar as falsas operações dos relés que compõem o esquema de proteção do transformador de potência, um novo algoritmo multicritérios baseado na lógica fuzzy foi proposto por RAHMATI e SANAYE-PASAND (2015). O novo esquema de proteção titulado de relé IPTP (“*improved power transformer protection*”) estabelece a tomada de decisão a partir da combinação das informações dos principais relés DIF e REF e da Unidade de Verificação Direcional ou DCU (*Directional Check Unit*). Na ocorrência de uma perturbação, uma avaliação inicial é feita por parte dos relés principais e das unidades auxiliares (falha de terra, unidade de verificação de *inrush* e detector de falha externa). Após a avaliação inicial, três fatores de ponderação são escolhidos e aplicados à saída para estabelecer a tomada de decisão. Os resultados obtidos demonstraram que, mesmo que alguns dos relés falhem, o algoritmo fornece um sistema de proteção desejado, seguro e confiável para transformadores de potência. Os autores destacaram ainda que para uma melhor performance do relé IPTP, os fatores de ponderação podem ser adaptados com base na importância e gravidade do distúrbio ocorrido.

#### 4.6 Considerações gerais da proteção do transformador

As considerações de proteção apresentadas nessa subseção têm como referência principal o Guia de Proteção para Transformador de Potência IEEE – *Guide for Protecting Power Transformers*. Nesse guia destacam-se as aplicações práticas e considerações econômicas que envolvem a proteção do transformador de potência, enfatizando os tipos de

faltas em transformadores, problemas técnicos com os sistemas de proteção e problemas associados à eliminação da falta e reestabelecimento do sistema.

Em alguns sistemas de proteção de alta velocidade, em particular as linhas de transmissão de alta tensão, é essencial a preservação e a integridade do sistema. Por sua vez, limitar os danos nos equipamentos torna-se uma opção secundária. No entanto, devido ao alto custo de reparo ou troca do transformador de potência, bem como a possibilidade de uma falta ou incêndios envolvendo equipamentos adjacentes, limitar tais danos torna-se um objetivo importante. Nesse segmento, sistemas de proteção sensíveis e de alta velocidade podem reduzir os danos e, conseqüentemente, os custos de reparo (C37.91-2008 - IEEE Guide for Protecting Power Transformers - Redline, 2008, p. 3).

Não há um padrão único de proteção dos transformadores ou do SEP. A maioria das instalações requer uma análise individual de engenharia para determinar o melhor e mais economicamente viável esquema de proteção. Em geral mais de um arranjo de proteção torna-se tecnicamente viável, oferecendo diferentes graus de qualidade ao SEP, destacando-se:

- **Sensibilidade:** é a habilidade que o equipamento de proteção tem na identificação de um funcionamento anormal, excedendo um nível normal ou detectando o limiar em que a proteção deve atuar;
- **Seletividade:** é a precisão na descontinuidade do sistema em falta, de forma a garantir a máxima continuidade do fornecimento de energia;
- **Velocidade:** habilidade em restabelecer rapidamente o sistema em suas condições normais de operação, após a contingência;
- **Confiabilidade:** competência para garantir com exatidão, a distinção entre condições normais de operação e condições de falta.

Garantir tal grau de qualidade é um desafio para a engenharia de proteção, devendo equilibrar o melhor arranjo de proteção versus benefícios relativos aos custos de reparação, indisponibilidade do equipamento entre outras adversidades de falta (C37.91-2008 - IEEE Guide for Protecting Power Transformers - Redline, 2008, p. 3).

#### 4.7 Faltas em transformador de potência

É notório nas literaturas que a ocorrência de falta no transformador de potência pode

ser classificada em dois grandes grupos: os que compõem as faltas externas e os que compõem as faltas internas. Consoante os autores (ANDERON, 1999) e (DA SILVA, 2014), a seguir, serão detalhadas de forma sucinta algumas das principais faltas externas e internas no transformador. Porém, quanto às faltas internas, essas serão classificadas em incipientes e ativas.

✓ Das faltas externas destacam-se: **sobretensão**: é a variação dos níveis de tensão acima do estabelecido pela ANEEL, decorrente de avarias como queda de tensão ao longo da rede, instabilidade de tensão em geradores e transformadores que acarretam a sobretensão; **sobrecarga**: ocorre quando é requisitado do transformador alimentar uma carga de potência acima da sua capacidade nominal, podendo resultar no aumento da temperatura de seus componentes, ocasionando danos permanentes ou perda de vida útil. A sobrecarga é mais comumente registrada em transformadores de distribuição; **sobrefrequência/subfrequência**: causado pelo desequilíbrio significativo e intempestivo entre a geração e a carga; uma das consequências desse tipo de falta externa é o aumento na corrente de excitação; **curto-circuito externo**: são curto-circuitos entre fases e entre fases e neutro que ocorrem fora da zona de proteção do TDP, acarretando no aumento da corrente e avaria no enrolamento do TDP.

✓ Das faltas internas (em incipientes) destacam-se: **sobreaquecimentos**: decorrem da precariedade das ligações internas no transformador, podendo ser do circuito elétrico ou magnético; outro aspecto a ser levado em consideração é a deficiência na refrigeração; **sobrefluxo**: é decorrente do aumento da corrente de excitação causando o sobrefluxo do circuito magnético e, posteriori, a quebra do isolamento magnético ou até mesmo do circuito elétrico do transformador; **sobrepressão**: derivado da acumulação de gases no interior do tanque do transformador devido a um aquecimento ocasionado por alguns tipos de falta, como por exemplo um curto-circuito entre espiras de baixa corrente. A sobrepressão ocorre de forma gradual e de difícil detecção.

✓ Dando continuidade à falta interna no TDP, essas ocorrem dentro da zona de proteção do transformador, sendo que, as faltas em incipientes ocorrem lentamente, podendo acarretar em faltas de maior gravidade caso a raiz do defeito não seja identificada e solucionada. Já as faltas ativas devem ser imediatamente detectadas para limitar danos e prevenir ocorrências destrutivas adicionais ANDERSON (1999, apud OLIVEIRA, 2013, p. 31).

Algumas das principais faltas que ocorrem em um TDP foram mencionadas nessa subseção, lembrando que as faltas devem ser tratadas individualmente, de forma que, diferentes características de falta exigem diferentes características de arranjos e relés de proteção.

#### 4.8 Relés e filosofias de proteção do transformador de potência

Com o objetivo de evitar condições anormais de operação do Transformador de Potência, diversos modelos de relés e filosofias de proteção vêm sendo desenvolvidos e aplicados ao longo do tempo, sendo cada qual, orientado a operar em diferentes arranjos do sistema. Assegurar as condições normais de operação do transformador é uma tarefa não trivial, haja vista o grande número de faltas envolvido no equipamento. Em suma, a proteção depende da potência do transformador, devendo considerar a importância do equipamento inserido no sistema de potência e os requisitos mínimos de proteção estabelecidos pelo Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS). Caso o transformador faça parte de um grande sistema, certamente relés mais sofisticados em termos de projeto e lógica de proteção mais confiáveis devem ser considerados (OLIVEIRA, 2013). O mesmo autor apresentou em seu trabalho (2013, p. 94) um esquema genérico de proteção fundamentado em filosofias CEEE (Companhia Estadual de Energia Elétrica) para proteger transformadores de potência de três enrolamentos 230/138/13,8 kV. Esse mesmo esquema pode ser visualizado na figura abaixo para fins de demonstração de proteção utilizando treze relés de proteção.

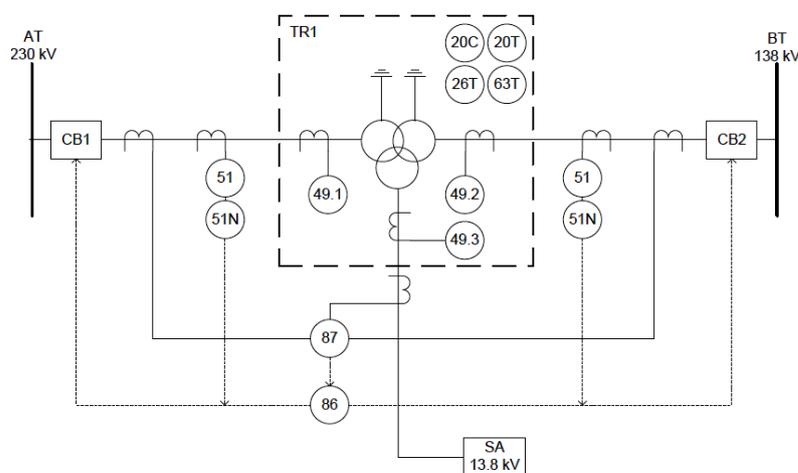


Figura 4.3 – Esquema de Proteção de um transformador de três enrolamentos

Fonte: adaptado de esquema de proteção utilizado pela CEEE (apud, OLIVEIRA, 2013, p. 95)

Os códigos dos relés de proteção (função de proteção) utilizados no transformador da figura 4.3 acima são estabelecidos conforme tabela de funções *American National Standards Institute* (ANSI)<sup>6</sup>. A utilização de prefixo e sufixo é definida para fornecer uma definição mais específica da função de proteção (C37.2-2008 - IEEE Standard Electrical Power System Device Function Numbers, Acronyms, and Contact Designations, 2008 pag. ii, Abstract). Tais definições são definidas como:

- **87 – Relé de Proteção Diferencial:** opera com a diferença quantitativa de duas ou mais correntes ou de outras grandezas elétricas. Esse é utilizado para proteção contra curto-circuito interno no enrolamento do transformador da fig. 4.3;
- **63T – Relé de Pressão de Gás (Buchholz):** opera a um dado valor da pressão ou a uma determinada taxa de mudança de pressão do transformador. Esse relé, também é utilizado para proteção contra curto-circuito interno no enrolamento do transformador da fig. 4.3;
- **26T – Dispositivo Térmico do Equipamento:** dispositivo que funciona quando a temperatura de um meio líquido qualquer de um equipamento, aumenta ou diminui de um valor pré-determinado. Esse é utilizado para monitorar a temperatura do óleo do transformador da fig. 4.3;
- **49.1/49.2/49.3 – Relé Térmico:** dispositivo que opera quando a temperatura de um elemento (armadura, enrolamento e núcleo) do transformador excede um valor predeterminado. Esse é responsável por monitorar a temperatura nos enrolamentos da fig. 4.3;
- **86 – Relé de Bloqueio:** é um dispositivo de bloqueio responsável por enviar um sinal de *trip* para manter o equipamento inoperante até ser redefinida por um operador, local ou remotamente;
- **51 – Relé de Sobrecorrente Temporizado:** opera quando a corrente de entrada AC excede um valor predeterminado no qual a corrente de entrada e o tempo de operação estão inversamente relacionados. Na fig. 4.3, esse tem a função de fazer a proteção de retaguarda local e remota devendo atuar na falha do relé 87 e nas ocorrências de falta nas proximidades do transformador;

---

<sup>6</sup> ANSI – É um Instituto de Padrões Nacional Americano que supervisiona a criação, promulgação e uso de milhares de normas e diretrizes que impactam diretamente as empresas em quase todos os setores, incluindo a geração transmissão e distribuição de energia.

- **51N – Relé de Sobrecorrente Temporizado de Neutro:** tem o mesmo princípio de operação do relé 51; no entanto, na fig. 4.3, tem a função de fazer a proteção de retaguarda com unidade de sobrecorrente de neutro.

Existem outros modelos de relés; contudo, os relés apresentados acima são os mais utilizados na proteção de transformadores a óleo e a gás.

O método apresentado pode resumir a aplicação dos principais relés, e alguns desses serão utilizados no presente trabalho para fins de simulação. Subsequentemente, para fins de validação do método proposto, será utilizado o modelo de proteção empregado no trabalho de BABNIK e GUBNA (2001). O modelo utiliza um transformador de potência constituído por cinco relés de proteção.

#### 4.9 Considerações finais

Neste capítulo foi demonstrada a importância em manter um sistema de proteção do SEP em perfeitas condições de funcionamento, como também, os elementos que o constituem. Uma análise dos dados de consumo versus geração de energia elétrica foi apresentada. Os dados apontaram para uma real necessidade de investimento no setor, tendo em vista a evolução do consumo de energia elétrica nacional e mundial e, também, o atendimento às exigências estabelecidas pela ANEEL. Devido à importância que o transformador de potência tem na composição do SEP, esse foi vastamente mencionado neste trabalho, destacando-se a relevância nos procedimentos de proteção e manobra, considerando-se a variedade de faltas que podem ocorrer diante de uma contingência.

Conclui-se que para minimizar tais faltas e descontos PVI, faz-se necessário grandes investimentos em mecanismos de proteção e manobra, assim como em projetos que se adequem a diferentes modelos e aplicações de transformadores de potência. Por fim, um esquema de proteção de transformador constituído por treze relés foi apresentado neste capítulo para uma melhor compreensão de sua operacionalidade. Porém destaca-se que o esquema de proteção utilizado neste trabalho será demonstrado no capítulo subsequente.

## 5 METODOLOGIA, VALIDAÇÃO E APLICAÇÃO DA FUNÇÃO GRAU DE CASAMENTO

### 5.1 Metodologia

No estudo e desenvolvimento deste trabalho foram considerados os conceitos e desenvolvimentos tecnológicos referentes ao diagnóstico de falta e as principais pesquisas na área. Para tal fim, teve como base os artigos de CARDOSO JUNIOR, ROLIM e ZURN (2003); BABNIK e GUBNA (2001), o trabalho de MARTINS (2003) e o livro DA SILVA FILHO, ABE e LAMBERT-TORRES (2008)

Para o entendimento teórico foram considerados:

- Conceitos do Sistema Elétrico de Potência e seus componentes e sistemas digitais;
- Estudos realizados para desenvolver um modelo computacional que melhor se adeque ao problema proposto;
- Por fim, utilização do software MATLAB para a simulação de exemplos e desenvolvimento de algoritmo para atingir os objetivos propostos inicialmente.

Para validação e aplicação dos resultados deste trabalho, o modelo proposto será aplicado em um esquema de proteção de um transformador de potência constituído por cinco relés de proteção sendo três para a proteção principal (87 – relé diferencial; 63 – relé Buchholz; 64 – relé de proteção de terra restrito) e dois para a proteção de retaguarda (51 – relé de sobrecorrente temporizado e 51N – relé de sobrecorrente temporizado de neutro). Esse esquema foi apresentado no trabalho de BABNIK e GUBNA (2001), em que o autor utilizou o método de Bayes para classificar e diagnosticar as faltas no transformador de potência e, posteriormente, foi utilizado por CARDOSO JUNIOR, ROLIM e ZURN (2003), que empregou o método de Rede Neural de Regressão Generalizada (RNRG) para a classificação e diagnóstico das faltas.

Ambos os resultados apresentados por BABNIK e GUBNA (2001) e CARDOSO JUNIOR, ROLIM e ZURN (2003) foram aplicados em um mesmo esquema de proteção do

transformador de potência (TDP), composto por seus respectivos relés de proteção conforme figura 5.1 abaixo.

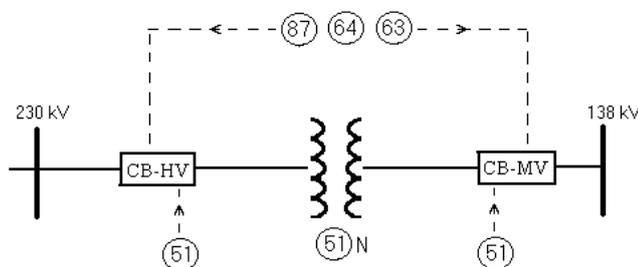


Figura 5.1 – Esquema de proteção adotado

Fonte: G. CARDOSO JR., J. G. ROLIM AND H. H. ZÜRN (2003, p. 02)

No entanto, antes de apresentar os resultados finais da LPA3v no esquema de proteção adotado (figura 5.1), é preciso demonstrar a forma em que o Grau de Casamento foi validado, comparado e aplicado. Desse modo, este capítulo está dividido em cinco subseções, a contar com a subseção 5.1.

A subseção 5.2 está voltada na validação das funções Grau de Casamento e *Grau de Especialista*. O propósito dessa subseção é validar as funções em um caso onde os resultados são previamente conhecidos. Assim, é possível comprovar que os cálculos executados no *software* MatLab estão corretos, proporcionando uma maior confiabilidade e credibilidade na apresentação dos resultados.

A subseção 5.3 destina-se na apresentação dos resultados obtidos por: BABNIK e GUBNA (2001) por meio do método de Bayes e por CARDOSO JUNIOR, ROLIM e ZURN(2003) via Rede Neural de Regressão Generalizada (RNTG). O propósito é utilizar os resultados desses dois métodos para uma posteriori comparação com a função Grau de Casamento.

A subseção 5.4 dedica-se na demonstração da estratégia de ajustes referente aos valores binário que compõem o estado de operação dos relés e na apresentação de três tabelas com seus respectivos resultados do Grau de Casamento. Dessa forma, é possível analisar e comparar o Grau de Casamento com o teorema de Bayes e RNRG para, enfim, selecionar a tabela que apresentou um melhor resultado.

Por fim, a última subseção 5.5 descreve a conclusão deste capítulo, ressaltando a eficácia da função Grau de Casamento quando comparada com os métodos de Bayes e RNRG.

## 5.2 Validação da função grau de casamento

Conforme visto na subseção 3.3, foram apresentadas cinco funções de similaridade. Dentre elas, a função Grau de Casamento foi eleita como sendo a mais eficaz para aplicação no trabalho proposto. Para fins de credibilidade e confiabilidade nos cálculos, essa subseção validará os resultados das duas funções, simulando um Protótipo Recuperador na Determinação de Diagnóstico apresentado no trabalho de MARTINS (2003, p. 68, tabela – Início de Processo de Cálculo). O Protótipo Recuperador foi aplicado em um forno de fabricação de cimento, com objetivo de auxiliar o operador a obter um cimento de qualidade.

A tabela 5.1 abaixo apresenta a Matriz Base de Conhecimento, formado por 13 casos com seus respectivos diagnósticos e quatro parâmetros (**a**, **b**, **c** e **d**) do forno com suas respectivas extensões de escalas, onde: **a** – Granular, escala de 0 – 3; **b** – Viscosidade, escala de 0 – 3; **c** – Cor, escala de 0 – 2; **d** – Nível de pH, escala de 0 – 2. A combinação desses parâmetros estabelece o diagnóstico de cada caso, podendo esses casos serem diagnosticados como: D1, D2, D3 ou D4.

Após a determinação do diagnóstico, é estabelecida a extensão de escala de acordo com a tabela 5.3 abaixo.

Tabela 5.1 – Matriz Base de Conhecimento

<b>Casos</b>	<b>a</b>	<b>b</b>	<b>c</b>	<b>d</b>	<b>Diagnóstico</b>
Casos 01	2	1	1	1	D1
Casos 02	2	1	1	0	D1
Casos 03	2	2	1	1	D1
Casos 04	1	1	1	0	D2
Casos 05	1	1	1	1	D2
Casos 06	2	1	1	2	D3
Casos 07	2	2	1	2	D3
Casos 08	3	2	1	2	D3
Casos 09	3	2	2	2	D4
Casos 10	3	3	2	2	D4
Casos 11	3	3	2	1	D4
Casos 12	3	2	2	1	D4
Casos 13	3	0	2	1	D4

Fonte: MARTINS (2003, p. 67)

Tabela 5.2 – Matriz Extensão de Escala

Parâmetros	a	b	c	d
Extensão de Escala	3	3	2	2

Fonte: MARTINS (2003, p. 66)

Tabela 5.3 – Diagnóstico e suas Extensões de Escala

	D1	D2	D3	D4
Velocidade de Rotação (e)	1	0	1	1
Temperatura (f)	3	3	2	1

Fonte: MARTINS (2003, p. 66)

Observando os Diagnósticos e suas Extensões de Escala na tabela 5.3, nota-se que a variação das escalas é uma condição “*Sine Qua Non*” para obtenção de um cimento de qualidade. Os diagnósticos D1, D2, D3 e D4 auxiliam o operador em variar as escalas de dois parâmetros do forno, que são: **Velocidade de Rotação (e)**, com variação de escala entre [0, 1] e **Temperatura (f)**, com variação de escala entre [0, 3].

Com as tabelas/matrizes devidamente estabelecidas, utilizando o *software* MatLab é possível estabelecer o código do Grau de Casamento para classificar e determinar o diagnóstico de um Caso Novo [2 2 2 1].

```

clear
clc
a1=Matrix Base de Conhecimento(tabela 5.1)
a2=[2 2 2 1];%Matriz Caso Novo
R=[3 3 2 2];%Matriz Valor Máximo e Escala R
Diag=[1;1;1;2;2;3;3;3;4;4;4;4;4];%Diagnóstico da Base de
Conhecimento
%Cálculo da função Grau de Casamento
for i1=1:size(a1,1);
    for i2=1:size(a2,1);
        for j=1:size(a1,2);
            c1(j)=1-(abs(a1(i1,j)-a2(i2,j))/R(i2,j));
            c2(j)=a1(i1,j)*a2(1,j)*c1(j);
            c3(j)=a1(i1,j)^2;
            c4(j)=a2(i2,j)^2;

```

```

end
Gcas (i1,1)=sum(c2)/sqrt(sum(c3)*sum(c4));
Gcas (i1,2)=i1;
end
end
c5=sortrows([Gcas,Diag],-1);% Ordenação Decrescente
Ordem=Gcas(:,2); % Ordem dos Resultados
Gcas=num2str(c5(:,1),'%5.4f'); % Estabelece as quatro
casas decimais
Caso=c5(:,2); % Ordem dos Casos
c6(1:size(a1,1),:)= 'D';% Concatenação do caractere D com o
Diagnóstico
Diagnostico=[c6,num2str(c5(:,3),'%-i')];
% Apresenta a Tabela Início do Processo de Cálculo
TabeladeResultados=table(Ordem,Gcas,Caso,Diagnostico)

```

Tendo em vista que a “comparação” do Caso Novo ([2 2 2 1]) com os 13 Casos da matriz Base de Conhecimento (tabela 5.1) irá gerar treze resultados, ou seja, treze Grau de Casamento, a seguir serão apresentados os cálculos do Grau de Casamento ( $G_{cas}$ ), bem como a comparação dos resultados para fins de validação.

### 5.2.1 Cálculo do grau de casamento ( $G_{cas}$ )

Com o propósito de simplificação, serão apresentados somente os cálculos referentes aos dois maiores Grau de Casamento, sendo esses utilizados para estabelecer o Grau de Crença ( $\mu_1$ ) e o Grau de Descrença ( $\mu_2$ ).

$$G_{cas(n, pk)} = \left( \begin{bmatrix} 2 \\ 2 \\ 2 \\ 1 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} 2 \\ 2 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix} \right) = \frac{2.2 \cdot \left( 1 - \left( \frac{|2-2|}{3} \right) \right) + 2.2 \cdot \left( 1 - \left( \frac{|2-2|}{3} \right) \right) + 2.1 \cdot \left( 1 - \left( \frac{|2-1|}{2} \right) \right) + 1.1 \cdot \left( 1 - \left( \frac{|1-1|}{2} \right) \right)}{\sqrt{(2^2 + 2^2 + 2^2 + 1^2) \cdot (2^2 + 2^2 + 1^2 + 1^2)}} = 0,8771$$

$$G_{cas(n, pk)} = \left( \begin{bmatrix} 2 \\ 2 \\ 2 \\ 1 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} 3 \\ 2 \\ 2 \\ 1 \end{bmatrix} \right) = \frac{2.3 \cdot \left( 1 - \left( \frac{|2-3|}{3} \right) \right) + 2.2 \cdot \left( 1 - \left( \frac{|2-2|}{3} \right) \right) + 2.2 \cdot \left( 1 - \left( \frac{|2-2|}{2} \right) \right) + 1.1 \cdot \left( 1 - \left( \frac{|1-1|}{2} \right) \right)}{\sqrt{(2^2 + 2^2 + 2^2 + 1^2) \cdot (3^2 + 2^2 + 2^2 + 1^2)}} = 0,8498$$

Para o Grau de Crença é estabelecido o primeiro maior Grau de Casamento dado por  $G_{cas}=\mu_1 = 0,8771$ . Já para o Grau de Descrença é estabelecido o segundo maior Grau de Casamento dado por  $G_{cas}=\mu_2 = 0,8498$ .

Para o *Grau de Especialista (e)* faz-se a diferença entre o Grau de Crença e o Grau de Descrença ( $\mu_1$  e  $\mu_2$ ), sendo  $e = 0,0273$ . Já para o valor de sensibilidade (s) é estabelecido como zero no primeiro diagnóstico.

### 5.2.2 Comparação dos resultados para fins de comparação

A figura 5.2 abaixo apresenta e compara os treze resultados para fins de validação. No lado esquerdo da figura 5.2, tem-se os resultados obtidos pelo *software* MatLab. Já no lado direito da figura abaixo, tem-se os treze resultados do Protótipo Recuperador estabelecido no trabalho de Martins (2003).

ORDEM	Gcas	CASO	DIAGNOSTICO
1	0.8771	3	D1
2	0.8498	12	D4
3	0.7868	9	D4
4	0.7692	7	D3
5	0.7687	1	D1
6	0.7518	11	D4
7	0.7171	2	D1
8	0.7071	10	D4
9	0.6671	13	D4
10	0.6537	8	D3
11	0.6472	5	D2
12	0.6432	6	D3
13	0.5871	4	D2

Resultado do Cálculo no MatLab

CAPÍTULO 4 - Raciocínio Baseado em Casos

Início do Processo de Cálculo

ORDEM	Gcas	CASO	DIAGNÓSTICO
1	0.8771	3	D1
2	0.8498	12	D4
3	0.7868	9	D4
4	0.7692	7	D3
5	0.7687	1	D1
6	0.7518	11	D4
7	0.7171	2	D1
8	0.7071	10	D4
9	0.6671	13	D4
10	0.6537	8	D3
11	0.6472	5	D2
12	0.6432	6	D3
13	0.5871	4	D2

Resultado do Protótipo Recuperador  
MARTINS (2003)

Figura 5.2 – Comparação dos Resultados entre *Software* MatLab e Protótipo Recuperador

Analisando a figura 5.2, constata-se que os resultados são exatamente os mesmos, podendo concluir que a aplicação da função está correta. Com os valores do Grau de Casamento determinados e validados, o cálculo realizado acima será implementado no

algoritmo Para – Especialista para fins de validação deste trabalho, sendo necessário modificar somente as dimensões das matrizes.

### 5.3 Resultados do teorema de Bayes e rede neural de regressão generalizada

Conforme já mencionado no início deste capítulo serão utilizados os resultados dos teoremas de Bayes e da Rede Neural de Regressão Generalizada (RNRG) para posteriormente comparar com a função Grau de Casamento. Sendo assim, serão descritas a seguir as tabelas de informações utilizadas por ambos os teoremas (Bayes e RNRG) para obtenção de tais resultados.

As informações utilizadas por ambos os teoremas têm como base o esquema de proteção de Transformadores de Potência (figura 5.1), compostos por cinco relés de proteção. Os cinco relés geram 32 possibilidades de operações; dentre elas, apenas cinco operações são conhecidas. As cinco operações conhecidas compõem uma matriz (5x5), chamada de Base de Conhecimento (tabela 5.4). As linhas da tabela 5.4 informam os estados de operação dos relés e cada coluna informa os eventos. Os eventos da matriz Base de Conhecimento são: Falta Interna Terra (**H1**); Falta Interna Fase (**H2**); Falta Externa Terra (H3); Falta Externa Fase (**H4**) e Não Falta (**H5**).

Na tabela 5.5 apresenta-se a probabilidade de operação de cada relé, sendo essa dividida em: operação correta, operação indesejada e falha de operação. Na tabela 5.6 tem-se a probabilidade de ocorrência dos eventos de cada evento (H1, H2, H3, H4, e H5). A fonte das três tabelas a seguir foi obtida do trabalho de G. CARDOSO JR., J. G. ROLIM AND H. H. ZÜRN (2003, p. 03).

Tabela 5.4 – Base de Conhecimento

Eventos					
Relés	Falta Interna		Falta Externa		Não Falta H5
	Terra H1	Fase H2	Terra H3	Fase H4	
87	1	1	0	0	0
64	1	0	0	0	0
63	1	1	0	0	0
51N	1	0	1	0	0
51	1	1	1	1	0

Tabela 5.5 – Probabilidade de Operação dos Relés

Relés	Operação Correta	Operação Indesejada	Falha de Operação
87	0,67	0,02	0,31
64	0,80	0,01	0,19
63	0,93	0,01	0,06
51N	0,88	0,05	0,07
51	0,88	0,01	0,11

Tabela 5.6 – Probabilidade de Ocorrência dos Eventos

Eventos					
	Falta Interna		Falta Externa		Não Falta
	Terra H1	Fase H2	Terra H3	Fase H4	H5
Probabilidade	0,08	0,08	0,45	0,2	0,19

Tendo em vista que cinco eventos são conhecidos, ou seja, são conhecidos cinco eventos conforme apresentado na tabela Base de Conhecimento, o método de Bayes (BABNIK e GUBNA, 2001) e o método da Rede Neural de Regressão Generalizada (CARDOSO JUNIOR, ROLIM e ZURN, 2003), utilizam as seguintes tabelas: Base de Conhecimento (tabela 5.4), Probabilidades de Operação dos Relés (tabela 5.5) e as Probabilidades de Ocorrência dos Eventos (tabela 5.6) para classificar e diagnosticar os vinte e sete eventos restantes.

Em relação ao trabalho de CARDOSO JUNIOR, ROLIM e ZURN foram apresentados sete casos com seus respectivos resultados. Levando em consideração que o principal objetivo deste trabalho é obter um resultado igual ou próximo do resultado do teorema de Bayes, o Caso 1 (**Diagnóstico Obtido pelo Teorema de RNRG – Caso 1**) foi o que apresentou um resultado mais próximo do teorema de Bayes. Sendo assim, o Caso 1 é o que será apresentado abaixo.

Para uma melhor visualização, faz-se necessário apresentar, em uma única página na formatação paisagem, a tabela 5.7. A tabela ilustra as **Trinta e Duas Possibilidades de Operação, Diagnóstico Obtido pelo Teorema de Bayes, bem como o Diagnóstico Obtido pelo Teorema de RNRG – Caso 1**.

Tabela 5.7 – Apresentação das 32 Possibilidades de Operação, Diagnósticos Obtidos pelo Teorema de Bayes e RNRG

Trinta e Duas Possibilidades de Operação																																				
Relés	Eventos																																			
87	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1
64	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0	0	1	0	1	0	1
63	1	1	1	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
51N	1	1	0	0	1	1	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
51	1	0	1	0	1	0	1	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	1	0	1	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	
Diagnóstico Obtido pelo Teorema de Bayes																																				
H1	1,00	1,00	0,85	0,85	0,96	0,96	0,70	0,76	0,76	1,00	1,00	0,84	0,75	0,01	0,01	0,1	0,01	0,06	0,05	0,21	0,43	0,39	0,00	0,00	0,18	0,01	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,30		
H2	0,00	0,00	0,15	0,15	0,00	0,00	0,12	0,23	0,23	0,00	0,00	0,15	0,13	0,99	0,98	0,90	0,54	0,02	0,02	0,00	0,13	0,12	0,00	0,00	0,00	0,41	0,01	0,01	0,08	0,00	0,00	0,00	0,05			
H3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,03	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,90	0,75	0,78	0,44	0,40	0,97	0,80	0,66	0,08	0,13	0,13	0,01	0,02	0,02	0,01					
H4	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,15	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	0,08	0,05	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,50	0,82	0,85	0,09	0,10	0,10	0,07					
H5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,10	0,00	0,01	0,00	0,40	0,00	0,16	0,00	0,00	0,09	0,00	0,18	0,14	0,01	0,01	0,01	0,81	0,88	0,88	0,57					
E	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32				
Diagnóstico Obtido pelo Teorema de RNRG – Caso 1																																				
H1	1,00	1,00	0,97	0,66	1,00	0,99	0,64	0,97	0,66	1,00	0,99	0,64	0,26	0,02	0,00	0,00	0,00	0,36	0,03	0,44	0,36	0,03	0,00	0,00	0,03	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,26				
H2	0,00	0,00	0,03	0,34	0,00	0,00	0,33	0,03	0,34	0,00	0,00	0,33	0,18	0,98	1,00	0,96	0,36	0,18	0,02	0,00	0,18	0,02	0,00	0,00	0,00	0,96	0,01	0,01	0,36	0,00	0,00	0,18				
H3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,45	0,89	0,55	0,45	0,89	0,98	0,96	0,91	0,01	0,28	0,45	0,00	0,01	0,01	0,00					
H4	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,10	0,00	0,00	0,03	0,19	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01	0,03	0,69	0,53	0,19	0,29	0,46	0,10			
H5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,46	0,00	0,00	0,00	0,45	0,00	0,05	0,00	0,00	0,05	0,00	0,03	0,05	0,00	0,02	0,01	0,45	0,70	0,53	0,46				
E	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32				

Fonte: CARDOSO JUNIOR, ROLIM e ZURN (2003, p. 03 e p. 04).

Analisando a tabela 5.7, ao comparar o **Diagnóstico Obtido pelo Teorema de RNRG – Caso 1** com o **Diagnóstico Obtido pelo Teorema de Bayes** observa-se que há divergência nos diagnósticos dos eventos 13, 17 e 26. Sendo o índice máximo de assertividade de 90,62%.

#### 5.4 Composição dos Resultados Grau de Casamento

Conforme mencionado na subseção 3.3, item VI, **a vantagem da utilização do Grau de Casamento é o fato de dispensar valores probabilísticos**; outrossim, é a possibilidade de ajuste dos pesos dos elementos para uma melhor convergência dos resultados. Dessa forma serão adotadas algumas estratégias de ajustes referentes aos valores que compõem o estado de operação de cada relé de proteção. A estratégia adotada segue conforme tabela 5.8.

Tabela 5.8 – Estratégia de Ajuste dos Relés

RELÉS	ESTADO DE NÃO OPERAÇÃO		ESTADO EM OPERAÇÃO	
	DE	PARA	DE	PARA
87	0	$1+X_1$	1	$1+Y_1$
64	0	$1+X_2$	1	$1+Y_2$
63	0	$1+X_3$	1	$1+Y_3$
51N	0	$1+X_4$	1	$1+Y_4$
51	0	$1+X_5$	1	$1+Y_5$

Esse ajuste tem dois objetivos: evitar resultados infinitos do Grau de Casamento ( $G_{cas} \rightarrow \infty$ ) devido à ocorrência de zero no denominador e permitir o acréscimo dos pesos na função Grau de Casamento para melhorar a convergência dos resultados. Destaca-se que, para quaisquer valores de  $X_{1...5}$  e  $Y_{1...5}$  diferente de zero, acarretará em uma modificação nos valores da Tabela 5.4 (**Base de Conhecimento**) e da Tabela 5.7 (**Trinta e Duas Possibilidades de Operação**). A seguir serão apresentados três Casos, cada qual com suas estratégias de ajustes referentes aos valores de operação dos relés.

Ressalta-se também que foi necessário apresentá-los na formatação paisagem, para uma melhor visualização das tabelas.

**CASO 1:** para evitar valores infinitos e ao mesmo tempo buscar um resultado satisfatório, adota-se a seguinte estratégia de pesos:  $X_{1...5}=0$  e  $Y_{1...5}=1$ . Nesse caso, tem-se as seguintes tabelas resultantes.

Tabela 5.9 – Estratégia de Ajuste do Caso 1

CASO 1		
RELÉS	NÃO OPERAÇÃO	EM OPERAÇÃO
87	1	2
64	1	2
63	1	2
51N	1	2
51	1	2

Tabela 5.10 – Resultado do Grau de Casamento do Caso 1

H1	1,00	0,92	0,92	0,83	0,92	0,83	0,83	0,92	0,83	0,92	0,83	0,83	0,74	0,83	0,74	0,74	0,63	0,83	0,74	0,83	0,83	0,74	0,74	0,63	0,74	0,74	0,63	0,63	0,63	0,50	0,74		
H2	0,83	0,71	0,90	0,78	0,71	0,57	0,78	0,90	0,78	0,71	0,57	0,78	0,64	1,00	0,88	0,88	0,75	0,78	0,64	0,57	0,78	0,64	0,64	0,47	0,40	0,88	0,64	0,75	0,75	0,47	0,59	0,64	
H3	0,74	0,58	0,58	0,40	0,80	0,64	0,64	0,80	0,64	0,80	0,64	0,64	0,45	0,64	0,45	0,72	0,53	0,88	0,72	0,88	0,88	0,72	1,00	0,85	0,72	0,72	0,72	0,85	0,53	0,53	0,67	0,45	
H4	0,63	0,42	0,68	0,47	0,68	0,47	0,75	0,68	0,47	0,68	0,47	0,75	0,53	0,75	0,53	0,85	0,62	0,75	0,53	0,75	0,75	0,53	0,85	0,62	0,53	0,85	0,85	1,00	0,62	0,62	0,79	0,53	
H5	0,50	0,54	0,54	0,59	0,54	0,59	0,59	0,54	0,59	0,54	0,59	0,59	0,67	0,59	0,67	0,67	0,79	0,59	0,67	0,59	0,59	0,67	0,67	0,67	0,79	0,67	0,67	0,67	0,79	0,79	0,79	1,00	0,67
E	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	

**CASO 2:** Nesse caso, para os valores de  $Y_{1...5}$  serão utilizados os valores da **tabela 5.5** (Estado de Operação Correta dos Relés) de forma que: para o Estado de Não Operação adota-se  $X_{1...5}=0$ ; para o Estado em Operação adota-se  $Y_1=0,67$ ,  $Y_2=0,80$ ,  $Y_3=0,93$ ,  $Y_4=0,88$  e  $Y_5=0,88$ . Assim, obtém-se as seguintes tabelas resultantes.

Tabela 5.11 – Estratégia de Ajuste do Caso 2

CASO 2		
RELÉS	NÃO OPERAÇÃO	EM OPERAÇÃO
87	1	1,67
64	1	1,80
63	1	1,93
51N	1	1,88
51	1	1,88

Tabela 5.12 – Resultado do Grau de Casamento do Caso 2

H1	1,00	0,92	0,92	0,83	0,91	0,82	0,82	0,93	0,84	0,94	0,86	0,86	0,76	0,84	0,75	0,78	0,67	0,83	0,74	0,85	0,87	0,78	0,77	0,66	0,76	0,74	0,76	0,66	0,63	0,65	0,54	0,73
H2	0,84	0,72	0,91	0,79	0,71	0,57	0,78	0,90	0,78	0,76	0,62	0,83	0,70	1,00	0,88	0,92	0,80	0,78	0,64	0,61	0,82	0,69	0,68	0,52	0,46	0,87	0,69	0,79	0,75	0,53	0,64	0,65
H3	0,77	0,62	0,62	0,45	0,84	0,69	0,69	0,83	0,68	0,81	0,67	0,67	0,49	0,68	0,51	0,74	0,56	0,92	0,77	0,90	0,88	0,74	1,00	0,86	0,75	0,77	0,75	0,86	0,60	0,58	0,70	0,52
H4	0,66	0,48	0,72	0,53	0,73	0,53	0,80	0,71	0,52	0,70	0,51	0,77	0,57	0,79	0,59	0,85	0,65	0,79	0,59	0,78	0,76	0,56	0,86	0,66	0,58	0,89	0,87	1,00	0,69	0,67	0,81	0,60
H5	0,54	0,59	0,59	0,65	0,59	0,65	0,65	0,58	0,64	0,57	0,63	0,63	0,70	0,64	0,72	0,69	0,80	0,64	0,73	0,63	0,62	0,69	0,70	0,81	0,71	0,73	0,71	0,81	0,85	0,83	1,00	0,74
E	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32

**CASO 3:** é feito uma busca dos pesos como forma de “treinamento da função”. Nesse caso os pesos que demonstraram uma melhor convergência foram: Estado de Não Operação foi estabelecido  $X_{1...5}=0,1$  ; para o Estado de Operação, estabeleceu-se  $Y_1=0,67$ ,  $Y_2=0,82$ ,  $Y_3=0,85$ ,  $Y_4=0,92$  e  $Y_5=0,61$ . Nesse caso tem-se as seguintes tabelas resultantes.

Tabela 5.13 – Estratégia de Ajuste do Caso 3

CASO 3		
RELÉS	NÃO OPERAÇÃO	EM OPERAÇÃO
87	1,1	1,67
64	1,1	1,82
63	1,1	1,85
51N	1,1	1,92
51	1,1	1,61

Tabela 5.14 – Resultado do Grau de Casamento do Caso 3

H1	1	0,95	0,91	0,86	0,92	0,87	0,83	0,93	0,88	0,94	0,90	0,86	0,80	0,84	0,78	0,78	0,72	0,85	0,79	0,87	0,87	0,82	0,79	0,73	0,82	0,75	0,77	0,68	0,69	0,71	0,61	0,78
H2	0,84	0,77	0,91	0,85	0,72	0,65	0,80	0,90	0,83	0,76	0,68	0,83	0,76	1	0,93	0,92	0,85	0,79	0,71	0,64	0,82	0,75	0,70	0,61	0,55	0,89	0,71	0,81	0,82	0,63	0,73	0,72
H3	0,79	0,71	0,64	0,55	0,85	0,77	0,70	0,85	0,77	0,83	0,75	0,68	0,59	0,70	0,61	0,76	0,66	0,92	0,85	0,90	0,90	0,82	1	0,92	0,83	0,78	0,76	0,86	0,69	0,67	0,78	0,61
H4	0,68	0,58	0,74	0,64	0,73	0,63	0,81	0,73	0,63	0,72	0,61	0,79	0,68	0,81	0,70	0,87	0,77	0,80	0,69	0,78	0,78	0,67	0,86	0,76	0,68	0,90	0,88	1	0,80	0,77	0,90	0,71
H5	0,61	0,64	0,67	0,71	0,66	0,70	0,73	0,66	0,70	0,65	0,68	0,71	0,76	0,73	0,78	0,79	0,85	0,72	0,77	0,70	0,70	0,75	0,78	0,84	0,75	0,81	0,79	0,90	0,89	0,86	1	0,78
E	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32

A partir dos resultados de cada caso apresentado acima, é possível visualizar na figura 5.3 a evolução dos Casos no sentido de aproximar-se do teorema de Bayes.

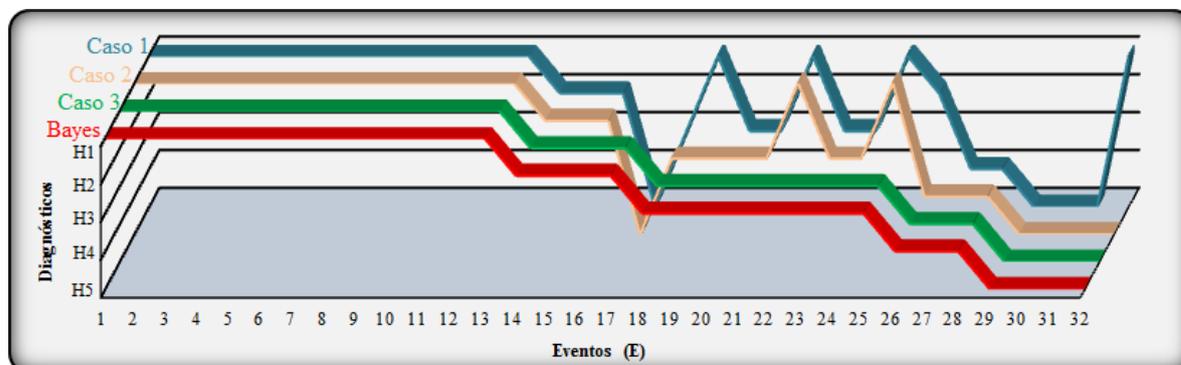


Figura 5.3 – Gráfico Índice de Acerto dos Casos

Tendo em vista que o objetivo é aproximar-se dos resultados do teorema de Bayes, a tabela 5.15 apresenta os valores atribuídos para os Estados de Operação e Não Operação de cada Caso, bem como **Índices de Acerto (IA)** do Grau de Casamento.

Tabela 5.15 – Índice de Acertos dos Casos

RELÉS	CASO 1		CASO 2		CASO 3	
	NÃO OPERAÇÃO	EM OPERAÇÃO	NÃO OPERAÇÃO	EM OPERAÇÃO	NÃO OPERAÇÃO	EM OPERAÇÃO
87	1	2	1	1,67	1,1	1,67
64	1	2	1	1,80	1,1	1,82
63	1	2	1	1,93	1,1	1,85
51N	1	2	1	1,88	1,1	1,92
51	1	2	1	1,88	1,1	1,61
IA	78,12%		90,62%		100%	

Analisando a tabela 5.15, basta ver que o **CASO 3** obteve uma assertividade de 100% quando comparado com o resultado do teorema de Bayes, sendo esse notoriamente escolhido como o melhor Caso. **Porém, na ocorrência de empate do caso escolhido, ou seja, diagnósticos que apresentarem os mesmos valores, esses serão analisados e desempatados pela LPA3v.** Posto isto, para fins de obtenção dos resultados finais da LPA3v, o CASO 3 será utilizado como dados de entrada do Grau e Crença ( $\mu_1$ ) e do Grau de Descrença ( $\mu_2$ ) da LPA3v.

### 5.5 Considerações finais

Este capítulo empenhou-se em passar uma confiabilidade e credibilidade na apresentação dos cálculos e nos resultados do Grau de Casamento, validando-os através da simulação de um caso existente (Protótipo Recuperador). Para fins de comparação foram utilizados os teoremas de Bayes e RNRG. Desse modo foi possível constatar a vantagem da função Grau de Casamento utilizado neste trabalho, pois dispensa valores probabilísticos, como também, foi constatado a facilidade de “treinamento” da função para a busca de um objetivo a ser atingindo.

No entanto deve-se ressaltar que, em algumas aplicações onde não se permite a variância dos elementos binário da matriz, ou seja, aplicações em que só se permitem valores binários  $[0, 1]$ , o Grau de Casamento **não apresenta resultados plausíveis**. Isto ocorre devido a ocorrência de zero no denominador, acarretando em resultados infinitos.

Finalizando, de tudo o que foi demonstrado neste capítulo, é suscetível concluir que apesar da desvantagem mencionada acima, de modo geral a função Grau de Casamento apresentou ótimos resultados no trabalho em questão, permitindo a aplicação concisa na teoria da LPA3v.

## 6 RESULTADOS FINAIS DA LPA3<sub>v</sub> APLICADA EM RBC

Este capítulo destina-se especificamente na **apresentação final dos diagnósticos estabelecidos pela LPA3<sub>v</sub>** tendo como base de entrada os resultados da tabela 5.13 (Grau de Casamento – CASO 3). Uma vez que todos os cálculos necessários foram amplamente demonstrados e simulados, a LPA3<sub>v</sub> aplicado em RBC irá estabelecer o diagnóstico dos trinta e dois Eventos de modo sucinto e segmentado. Sendo assim, este capítulo será apresentado em duas subseções. A subseção 6.1 está dividida em três itens: Dados de entrada e saída da LPA3<sub>v</sub>; Diagnóstico do Evento 5 com diferentes *Grau de Especialista*; e Diagnóstico dos trinta e dois Eventos. A subseção 6.2 descreve as considerações finais do capítulo.

### 6.1 Composição e diagnóstico final da LPA3<sub>v</sub> aplicado em RBC

Primeiramente serão demonstrados os dados de entrada e saída da LPA3<sub>v</sub>; em seguida o diagnóstico do Evento 5 e, posteriormente, o diagnóstico dos trinta e dois Eventos.

- 1- **Dados de entrada e saída da LPA3<sub>v</sub>**: para fins de otimização, são exemplificados na tabela 6.1 os dados de entrada e saída somente do Evento 5; porém, o mesmo procedimento será aplicado para os 31 eventos restantes;

Tabela 6.1 – Composição dos Dados de Entrada e Saída da LPA3<sub>v</sub>

Ordem Decrescente	Diagnóstico	G <sub>cas</sub>	Dados de Entrada e Saída H1 – H3	
1	H1	0,927	Grau de Crença	$\mu_1 = 0,927$
2	H3	0,854	Grau de Descrença	$\mu_2 = 0,854$
3	H4	0,740	Grau de Certeza	$G_c = 0,073$
4	H2	0,730	Grau de Contradição	$G_{ct} = 0,781$
5	H5	0,667	<i>Grau de Especialista</i>	$e = 0,073$

- 2- **Diagnóstico do Evento 5 com Diferente *Grau de Especialista* (e)**: considerando que o *Grau do Especialista* varia conforme o valor de *sensibilidade* (s), proporcionando assim diferentes diagnósticos, as tabelas a seguir demonstram os resultados desses diagnósticos.

Tabela 6.2 – Diagnóstico para Valor de *Sensibilidade*  $s = 0,0$

Diagnóstico no Quadro Unitário do Plano Cartesiano (QUPC) para o Evento 5			
Grau de Especialista $e = 0,073$			
Pontos Notáveis			
qH1 = 1,000; 0,927			
q-H1 = 0,000; 0,073			
qH2 = 0,927 1,000			
q-H2 = 0,073; 0,000			
Valores de Controle			
C <sub>1</sub> =0,073      C <sub>2</sub> = -0,073			
C <sub>3</sub> =0,927      C <sub>4</sub> = -0,927			
Diagnóstico Determinado: H1			
Diagnóstico da LPA3v para os 32 Eventos (s = 0,00)			
Ordem	Diagnóstico	Ordem	Diagnóstico
C1	H1	C17	H2
C2	H1	C18	H3
C3	H1	C19	H3
C4	H1	C20	H3
C5	H1	C21	H3
C6	H1	C22	H3
C7	H1	C23	H3
C8	H1	C24	H3
C9	H1	C25	H3
C10	H1	C26	H4
C11	H1	C27	H4
C12	H1	C28	H4
C13	H1	C29	H5
C14	H2	C30	H5
C15	H2	C31	H5
C16	H2	C32	H5

Tabela 6.3 – Diagnóstico para Valor de *Sensibilidade*  $s = 0,1$

Diagnóstico no Quadro Unitário do Plano Cartesiano (QUPC) para o Evento 5			
Grau de Especialista $e = 0,173$			
Pontos Notáveis			
qH1 = 1,000; 0,827			
q-H1 = 0,000; 0,173			
qH2 = 0,827; 1,000			
q-H2 = 0,173; 0,000			
Valores de Controle			
C <sub>1</sub> =0,173      C <sub>2</sub> = -0,173			
C <sub>3</sub> =0,827      C <sub>4</sub> = -0,827			
Diagnóstico Determinado: T→qH1			
Diagnóstico da LPA3v para os 32 Eventos (s = 0,1)			
Ordem	Diagnóstico	Ordem	Diagnóstico
C1	H1	C17	T→qH2
C2	T	C18	T→qH3
C3	T→qH1	C19	T→qH3
C4	T→qH1	C20	T→qH3
C5	T→qH1	C21	T→qH3
C6	T→qH1	C22	T→qH3
C7	T→qH1	C23	H3
C8	T→qH1	C24	T→qH3
C9	T→qH1	C25	T→qH3
C10	T→qH1	C26	T→qH4
C11	T→qH1	C27	T→qH4
C12	T→qH1	C28	H4
C13	T→qH1	C29	T→qH5
C14	H2	C30	T→qH5
C15	T→qH2	C31	H5
C16	T→qH2	C32	T→qH5

Tabela 6.4 – Diagnóstico para Valor de *Sensibilidade*  $s = 0,15$

Diagnóstico no Quadro Unitário do Plano Cartesiano (QUPC) para o Evento 5			
Grau de Especialista $e = 0,223$			
Pontos Notáveis			
qH1 = 1,000; 0,777			
q-H1 = 0,000; 0,223			
qH2 = 0,777; 1,000			
q-H2 = 0,223; 0,000			
Valores de Controle			
C <sub>1</sub> =0,223      C <sub>2</sub> = -0,223			
C <sub>3</sub> =0,777      C <sub>4</sub> = -0,777			
Diagnóstico Determinado: T			
Diagnóstico da LPA3v para os 32 Eventos ( $s = 0,15$ )			
Ordem	Diagnóstico	Ordem	Diagnóstico
C1	H1	C17	T→qH2
C2	T	C18	T
C3	T→qH1	C19	T→qH3
C4	T→qH1	C20	T→qH3
C5	T	C21	T→qH3
C6	T→qH1	C22	T→qH3
C7	T→qH1	C23	H3
C8	T	C24	T
C9	T→qH1	C25	T→qH3
C10	T	C26	T→qH4
C11	T→qH1	C27	T→qH4
C12	T→qH1	C28	H4
C13	T→qH1	C29	T→qH5
C14	H2	C30	T→qH5
C15	T	C31	H5
C16	T	C32	T→qH5

Analisando as três tabelas com diferentes *Grau de Especialista* ( $e = 0,073$ ,  $e = 0,173$  e  $e = 0,223$ ) percebe-se que, conforme  $e$  varia novos diagnósticos são estabelecidos além do verdadeiro ou falso, o que era de se esperar, já que o seu conhecimento em relação aos especialistas inferiores é mais apurado. Assim, **considera-se como resultado final deste trabalho, os novos diagnósticos estabelecidos pelo maior Grau de Especialista ( $e = 0,223$ )**. O comportamento do Especialista  $e = 0,223$  pode ser observado na tabela abaixo.

Tabela 6.5 – Comportamento do Diagnóstico para  $e = 0,223$ 

	$T \rightarrow qV$	T	Verdadeiro	Total
Número de Eventos	19	8	5	32
Porcentagem	59,37%	25%	15,63%	100%

Dos 32 Eventos diagnosticados pela LPA3v tem-se que: dezenove ou 59,37% encontram-se na região tendenciosa do QUPC ( $T \rightarrow qV$ ), ou seja, esses Eventos tendem a uma solução como sendo Verdadeira; oito ou 25% dos Eventos são completamente inconsistente (T), necessitando de mais informações para se estabelecer um diagnóstico; cinco ou 15,63% são considerados como sendo totalmente Verdadeiro.

Nos apêndices A, B e C é possível visualizar as tabelas geradas pelo *software* MatLab referente aos resultados. As imagens geradas são: resultado da função de Grau de Casamento; os três resultados da LPA3v (apêndice A, B e C); os códigos referentes ao algoritmo Para – Especialista (apêndice D).

## 6.2 Considerações finais

Neste capítulo foi observado o modo em que a LPA3v irá atuar caso ocorra uma falta no Transformador de Potência, auxiliando o operador a diagnosticar casos semelhantes. Conclui-se que, mesmo que os teoremas de Bayes, RNRG e a função Grau de Casamento estabeleçam seus diagnósticos, eles podem induzir a uma solução equivocada por parte do operador do sistema, tendo em vista a semelhança entre dois casos.

Nos casos em que não seja possível afirmar com 100% de exatidão, a igualdade do grau de crença e de descrença, a LPA3v trata as informações inconsistentes ou indeterminadas, disponibilizando soluções tendenciosas. Porém, nos casos em que houver diagnósticos totalmente inconsistentes ou indeterminados, faz-se necessária a opinião de outros especialistas para o tratamento das informações.

## 7 CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Diante dos resultados obtidos, serão apresentados a seguir as principais conclusões levantadas neste trabalho, assim como propor sugestões para realização de trabalhos futuros relacionados ao tema (LPA).

### 7.1 Conclusões

O presente trabalho expôs um modelo contemporâneo, pois resolve problemas do tempo atual. O modelo chamado de Lógica Paraconsistente Anotada de Três Valores (LPA3v) estabelece o diagnóstico de falta em transformadores de potência, tendo como base de informações somente a combinação dos disparos dos relés de proteção. O modelo pode auxiliar o operador na tomada de decisão relativa ao religamento do transformador de potência, em ocorrência de uma contingência. A estruturação dos resultados deste trabalho foi realizado em dois momentos, de forma que: no primeiro momento, concentrou-se especificamente na obtenção dos dados de entrada para a LPA3v; já no segundo, a LPA3v teve a incumbência de tratar/analisar os dados de entrada, disponibilizando, na saída, o diagnóstico da falta.

O propósito da utilização desse modelo é de fato se estabelecer um diagnóstico na saída, mesmo que as informações na entrada sejam paradoxais (inconsistente ou indeterminado). Para efeito de credibilidade e confiabilidade no trabalho, foi utilizado um Protótipo Analisador para a validação dos cálculos realizados no primeiro momento e, em seguida, os resultados foram comparados com os teoremas de Bayes e RNRG (Rede Neural de Regressão Generalizada). Após a validação dos cálculos, três cenários de diagnósticos com diferentes *Graus de Especialista* foram apresentados e o cenário com o maior *Grau de Especialista* escolhido como diagnóstico final. Com base nos resultados, foi possível verificar a eficácia e aplicabilidade do modelo proposto e proporcionar ao operador uma nova técnica para o diagnóstico de falta.

### 7.2 Sugestões para trabalhos futuros

Como trabalhos futuros, podem-se destacar:

- ✓ Realização de estudos comparativos com outros modelos que trabalhem com

- ✓ informações inconsistentes e indeterminadas como, por exemplo, a lógica Fuzzy, Redes Lógicas de Markov e Modelos Ocultos de Markov;
- ✓ Aplicabilidade do modelo em um sistema elétrico de potência, utilizando as informações de alarmes advindas do SCADA para detectar seções em falta;
- ✓ Desenvolvimento ou melhoramento do algoritmo proposto no sentido de automatizar a busca por pesos ideais da função Grau de Casamento;
- ✓ Integrar esse modelo ao procedimento de manobras, a fim de reestabelecer, de forma automática, o sistema de potência, conhecido como “*self-healing*”.

## REFERÊNCIAS

- A. AAMODT AND E. PLAZA. Case-Based Reasoning: Foundational Issues, Methodological Variations, and System Approaches. **AI Communications**, v. 7, p. 39 - 59, March 1994.
- ABE, J. M.; DA SILVA FILHO, J. I. **Lógica Paraconsistente Anotada**. 1ª edição. ed. Santos: Emmy, 2000.
- ABE, J. M.; HELDER, F. S. L.; NAKAMATSU, K. Paraconsistent neurocomputing and brain signal analysis. **Vietnam Journal of Computer Science**, 1, 2014. 219-230.
- ADU, T. An Accurate Fault Classification Technique for Power System Monitoring Devices. **IEEE Transactions on Power Delivery**, JULHO 2002. 684 - 690.
- ALI, M. A.; BENDARY, F. M. Design of prototype non directional overcurrent relay micro-controller-based. **22nd International Conference and Exhibition on Electricity Distribution (CIRED 2013)**, Stockholm, p. 1 - 4, Junho 2013.
- ALVES, H. N.; FONSECA JUNIOR, R. N. B. An Algorithm Based on Discrete Wavelet Transform for Fault Detection and Evaluation of the Performance of Overcurrent Protection in Radial Distribution Systems. **EEE (Revista IEEE America Latina), Latin America Transactions**, v. 12, p. 602 - 608, June 2014.
- ANDERSON, P. M. **Power System Protection**. Nova York: McGraw-Hill, v. 1, 1999. 1307 p.
- Anuário Estatístico de Energia Elétrica. **EPE - Empresa de Pesquisa Energética**, 2015. Disponível em: <<http://www.epe.gov.br/AnuarioEstatisticodeEnergiaEletrica/Forms/Anurio.aspx>>. Acesso em: 03 jan. 2016. Tabela 2.3.
- BABNIK, T.; GUBNA, F. Fast transformer fault classification by means of recorded protection signals. **2001 IEEE Porto Power Tech Proceedings**, Porto, v. 3, p. 1 - 6, Setembro 2001.
- BAEZA-YATES, R.; RIBEIRO-NETO, B. **Modern Information Retrieval**. ACM Press, New York: [s.n.], 1999.
- C37.2-2008 - IEEE Standard Electrical Power System Device Function Numbers, Acronyms, and Contact Designations. **IEEE Power and Energy Society**, p. 1 - 48, Outubro 2008. <http://ieeexplore.ieee.org/xpl/articleDetails.jsp?arnumber=4639522>.
- C37.91-2008-IEEE Guide for Protecting Power Transformers - Redline. **Power Engineering Society IEEE**, New York, p. 1 - 139, Maio 2008. <http://ieeexplore.ieee.org/servlet/opac?punumber=4534868>.
- CARDOSO JUNIOR, G. **ESTIMAÇÃO DA SEÇÃO EM FALTA EM SISTEMAS ELÉTRICOS DE POTÊNCIA VIA REDES NEURAIS E SISTEMAS ESPECIALISTAS REALIZADA EM NÍVEL DE CENTRO DE CONTROLE**. Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica), Universidade Federal de Santa Catarina. [S.l.], p. 162. 2003.
- CARDOSO JUNIOR, G.; ROLIM, J. G.; ZURN, H. H. Applicability of General Regression Neural Networks to the Task of Fault Classification in Electric Power Systems. **ISAP**, v. 1, p.

1- 6, 2003.

CARVALHO, F. R.; ABE, J. M. **Tomadas de Decisão com Ferramentas da Lógica Paraconsistente Anotada**. 1ª. ed. [S.l.]: EDGARD BLUCHER, 2012. 214 p.

CIESLASK, D. A. G.; MORETO, M. A Fuzzy Approach for Disturbances Diagnosis and Fault Classification in Power Plants, Eindhoven, p. 1-6, 29 June 2015.

Consumo Anual de Energia Elétrica por Classe (nacional) - 1995-2014. **EPE - Empresa de Pesquisa Energética**, 2015. Disponível em: <<http://www.epe.gov.br/mercado/Paginas/Consumonacionaldeenergiael%C3%A9tricaporclasse%E2%80%931995-2009.aspx>>. Acesso em: 03 jan. 2016.

COSTA, D.; MARTINS, M. A. Inconsistencies in health care knowledge. **2014 IEEE 16th International Conference on e-Health Networking, Applications and Services (Healthcom)**, Outubro 2014. 37 - 42.

COVER , T.; HART, P. Nearest neighbor pattern classification. **IEEE Transactions on Information Theory (IEEE Journals & Magazines)**, p. 21 - 27, 06 Janeiro 1967.

DA SILVA FILHO, J. I. Métodos de Aplicações da Lógica Paraconsistente Anotada de anotação com dois valores-LPA2v. **Revista Seleção Documental do GLPA**, Santos - SP, Março 2006. 18 - 25.

DA SILVA FILHO, J. I.; ABE, J. M.; LAMBERT-TORRES, G. **Inteligência Artificial com as Redes de Análises Paraconsistentes - Teoria e Aplicações**. 1. ed. [S.l.]: LTC, 2008. 328 p.

DA SILVA FILHO, J. I.; ROCCO, A. Power Systems Outage Possibilities Analysis By Paraconsistent Logic. **Power and Energy Society General Meeting Conversion and Delivery of Electrical Energy in the 21st Century, 2008 IEEE**, Pittsburgh, p. 1- 6, Julho 2008.

DA SILVA, P. H. G. L. **Proteção Diferencial de Transformadores Usando a Transformada Wavelet**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica), Universidade Estadual Paulista - UNESP. [S.l.], p. 69. 2014.

DASHTI , H.; SANAYE-PASAND, M. Power Transformer Protection Using a Multiregion Adaptive Differential Relay. **IEEE Transactions on Power Delivery**, v. 29, p. 777 - 785, out. 2013.

ENGLERT, T. J.; CHOWDHURY, B. H.; GRIGSBY , E. A LABORATORY INVESTIGATION OF ELECTRO-OPTIC KERR EFFECT FOR DETECTION OF. **IEEE Transactions on Power Delivery**, v. 6, p. 979 - 985, Julho 1991.

GONZALES, C.; VASQUES, E.; SELLSCHOPP, F. Fault location diagnosis based on synchronized phasor measurements. **IEEE (Revista IEEE America Latina), Latin America Transactions**, v. 13, p. 645 - 650, 26 March 2015.

GUPTA , K. M.; MONTEZEMI, A. R. Empirical Evaluation of Retrieval in Case-Based

Reasoning Systems Using Modified Cosine Matching Function. **IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics: Systems.**, 27, Set 1997. 601 - 612.

HOOSHYAR, A.; SANAYE-PASAND, M.; AFSHARNIA, S.; DAVARPANAH, M.; EBRAHIMI, B. M., A. Time-Domain Analysis of Differential Power Signal to Detect Magnetizing Inrush in Power Transformers. **IEEE Transactions on Power Delivery**, v. 27, p. 1394 - 1404, Junho 2012.

IEC – International Electrotechnical Commission. **IEC – International Electrotechnical Commission**, 06 jan. 2016. Disponível em: <<http://www.electropedia.org/iev/iev.nsf/display?openform&ievref=421-01-01>>. Acesso em: 06 jan. 2016.

IEEE STANDART ASSOCIATION. **57.12.80-2010 - IEEE Standard Terminology for Power and Distribution Transformers**, p. 1 - 56, Dezembro 2010. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org.ez8.periodicos.capes.gov.br/xpl/articleDetails.jsp?arnumber=5672286&contentType=Standards#>>. Acesso em: 14 jan. 2016. pp. 1 - 56.

INTERNATIONAL Energy Statistics. **EIA - Independent Statistics & Analysis**, 2015. Disponível em: <<http://www.eia.gov/cfapps/ipdbproject/IEDIndex3.cfm?tid=2&pid=2&aid=12>>. Acesso em: 04 jan. 2016.

JEONG, M. G.; MORRISON, J. R.; SUH, H. W. Approximate Life Cycle Assessment via Case-Based Reasoning for Eco-Design. **IEEE Transactions on Automation Science and Engineering (IEEE Journals & Magazines)**, p. 716 - 728, Abril 2015.

KIRSCH, J.; GOOSE, S.; AMIR, Y.; WEI, D.; SKARE, P.. Survivable SCADA Via Intrusion-Tolerant Replication. **IEEE Transactions on Smart Grid**, v. 5, p. 60 - 70, 2014.

KRAUS, H. M. **FERRAMENTA PARA DESENVOLVIMENTO DE SISTEMA DE RACIOCÍNIO BASEADO EM CASOS**. UNIVALI - Dissertação de Mestrado. São José - SC. 2009.

LI, L.; YONG, C.; LONG-JUN, X.; LI-QIU, JIANG; NING, M.; MING, L. An integrated method of set pair analysis and association rule for fault diagnosis of power transformers. **IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation**, v. 22, p. 2368 - 2378, August 2015.

LIMA, D. R.; ROSATELLI, M. C. Uma abordagem para a recuperação e adaptação de casos em um Sistema. **XV Simpósio Brasileiro de Informática na Educação - SBIE**, Manaus, 2004.

MARTINS, H. G. **A Lógica Paraconsistente Anotada de Quatro Valores - LPA4v aplicada em Sistema de Raciocínio Baseado em Casos para o Restabelecimento de Subestações Elétricas**. Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica), Universidade Federal de Itajubá. Itajubá - MG, Brasil, p. 130. 2003.

MORETO, M.; ROLIM, J. G. Using phasor data records and sequence of events to automate the classification of disturbances of power generating units. **Electric Power Systems Research**, v. 81, p. 1266 - 1273, 2011.

OHANA, I. **EXPERIMENTOS DE MINERAÇÃO DE DADOS APLICADOS A SISTEMAS SCADA DE USINAS HIDRELÉTRICAS**. Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica), Universidade Federal do Pará - UFPA. Belém - PA. 2012.

OLIVEIRA, A. L. **PROPOSTA DE UMA METODOLOGIA PARA O TRATAMENTO DE ALARMES E DIAGNÓSTICO DE FALTA EM CENTROS DE OPERAÇÃO E CONTROLE DO SISTEMA DE POTÊNCIA**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica), Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria - RS, Brasil, p. 172. 2013.

OLIVEIRA, H. H.; PEÇANHA, L. P.; ZAMBOTI FORTES, M.; RIBAS D'AVILA, C. J.; BAHIANSE DA SIVA LEITE, L. S.; MELLO NETO, A. F. Development of transient fault management methodology. **Latin America Transactions, IEEE (Revista IEEE America Latina)**, v. 12, p. 618 - 625, 31 JUNHO 2014.

PATACA, L. C. **Análise de Contingência com Critério N-1 em Sistema Elétrico de Potência Utilizando Computação Paralela em MATLAB**. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Elétrica), Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos. São Carlos - SP, p. 58. 2012.

PAUL BARRINGER, P. E. Process and Equipment Reliability. **Maintenance & Reliability Technology Summit**, Chicago, p. 1 -11, Maio 2004.

PENA, E. H. M.; BARBON, S.; RODRIGUES, J. J. P. C.; LEMES PROENÇA JUNIR, M. Anomaly detection using digital signature of network segment with adaptive ARIMA model and Paraconsistent Logic. **2014 IEEE Symposium on Computers and Communication (ISCC)**, Funchal, Junho 2014. 1 - 6.

PENG, H.; WANG, J.; PÉREZ-JIMÉNEZ; WANG, H.; SHAO, J.; WANG, T. Fuzzy reasoning spiking neural P system for fault diagnosis. **ELSEVIERSCIENTIFIC INFORMATION SCIENCES**, v. 235, p. 106 - 116, JUNHO 2013.

PROGRAMA de Investimento em Energia Elétrica - PIEE. **EPE - Empresa de Pesquisa Energética**, 2015. Disponível em: <[http://www.epe.gov.br/Estudos/Paginas/Programa%20de%20Investimento%20em%20Energia%20El%C3%A9trica%20-%20PIEE/GovernodivulgaprogramadeinvestimentodeR\\$186biemEnergiaEl%C3%A9trica.aspx?CategoriaID=390](http://www.epe.gov.br/Estudos/Paginas/Programa%20de%20Investimento%20em%20Energia%20El%C3%A9trica%20-%20PIEE/GovernodivulgaprogramadeinvestimentodeR$186biemEnergiaEl%C3%A9trica.aspx?CategoriaID=390)>. Acesso em: 03 jan. 2016.

R. W. LEE. **Pesquisa Jurisprudencial Inteligente**. UFSC, Tese de Doutorado. Florianópolis - SC. 1998.

RAHMATI, A.; SANAYE-PASAND,. Protection of power transformer using multi criteria decision-making. **International Journal of Electrical Power & Energy Systems**, v. 68, p. 294 - 303, Junho 2015.

REENA, R. M.; DHATRAK, R. K. Extraction Of Features To Discriminate And Detect Transformer Inrush Current And Faulty Condition Using ANN. **2014 Annual International Conference on Magnetics, Machines and Drives (AICERA/iCMMD)**, Kottayam, p. 1 - 5, Julho 2014.

RIESBECK, C. K.; SCHANK, R. C. **INSIDE CASE-BASED REASONING**. New Jersey:

LAWRENCE ARLBAUM ASSOCIATES, 1989.

SALTON, G. Information dissemination and automatic information systems. **IEEE Journals & Magazines**, p. 1663 - 1678, 1966 Dezembro.

SAMPAIO, R. F.; BARROSO, G. C.; RUTH, P. S. L. Método de implementação de Sistema de Diagnóstico de Falta para subestações baseado em Redes de Petri. **Controle & Automação Sociedade Brasileira de Automatica - Sba**, Campinas - SP, v. 16, nov. 2005.

T. BABNIK AND F. GUBINA. Fast Transformer Fault Classification by Means of Recorded Protection Signals. **IEEE Porto Power Tech Conference**, Portugal , v. 3, p. 6, 10 Set 2001.

TAVARES, K. A.; SILVA, K. M. Evaluation of Power Transformer Differential Protection Using the ATP Software. **IEEE (Revista IEEE America Latina) Latin America Transactions**, v. 12, p. 161 - 168, Março 2014.

TIAKO, R.; JAYAWEERA, D.; ISLAM, S. Real-time dynamic security assessment of power systems with large amount of wind power using Case-Based Reasoning methodology. **2012 IEEE Power and Energy Society General Meeting**, San Diego, SA, Julho 2012. 1 - 7.

TORRES, C. R. **Sistema Inteligente Baseado na Lógica Paraconsistente Anotada Evidencial para Controle e Navegação de Robôs Móveis Autônomos em um Ambiente não Estruturado**. Tese (Doutorado em Automação e Sistema Elétricos), Universidade Federal de Itajubá. Itajubá - MG, p. 190. 2010.

TORRES, C. R.; LAMBERT-TORRES, G.; ABE, J. M.; SILVA FILHO, J. I. The Sensing System for the Autonomous Mobile Robot Emmy III, Taipei, Taiwan, Junho 2011. 2928 - 2933.

TVERSKY, A. Features of Similarity. **By the American Psychological Association**, v. 84, p. 327 - 352, Julho 1977.

WANG, L.; CHEN, Q.; GAO, Z.; NIU, L.; ZHAO, Y.; MA, Z.; WU, D. Knowledge representation and general Petri net models for power grid fault diagnosis. **IET Generation, Transmission & Distribution (Journals & Magazines)**, v. 9, p. 866 - 873, June 2015.

WANG, T.; ZHANG, G.; ZHAO, J.; HE, Z.; WANG, J.; PÉREZ-JIMÉNEZ, M. J. Fault Diagnosis of Electric Power Systems Based on Fuzzy Reasoning Spiking Neural P Systems. **IEEE Transactions on Power Systems**, p. 1182 - 1194, May 2015.

WANG, X.; WU, K.; XU, Y. Research on Transformer Fault Diagnosis based on Multi-source Information Fusion. **International Journal of Control and Automation**, v. 2, p. 197 - 208, 2014.

WANGENHEIM, C. G. V.; WANGENHEIM, A. V. **RACIOCÍNIO BASEADO EM CASOS**. 1ª. ed. Barueri - SP: Manole LTDA, v. 297, 2003.

WAUGH, N. T.; MUIR, D. D. Improving the life cycle management of power transformers transforming data to life. **SoutheastCon**, Fort Lauderdale, FL, p. 1 - 7, Abril 2015.

ZHOU, P.; LU, S. W.; CHAI, T. Data-Driven Soft-Sensor Modeling for Product Quality

---

Estimation Using Case-Based Reasoning and Fuzzy-Similarity Rough Sets. **IEEE Transactions on Automation Science and Engineering (IEEE Journals & Magazines)**, p. 992-1003, 02 JANUARY 2014.

## APÊNDICE A – DIAGNÓSTICO PARA VALOR DE SENSIBILIDADE $s = 0,00$

### Grau de Casamento (Gcas) - CASO 3

<b>H1</b>	1.000	0.955	0.918	0.869	0.927	0.879	0.839	0.931	0.883	0.949	0.901	0.862	0.810	0.843	0.789	0.781	0.723	0.853	0.800	0.872	0.876	0.824	0.792	0.735	0.820	0.755	0.777	0.686	0.695	0.718	0.619	0.785
<b>H2</b>	0.843	0.774	0.918	0.850	0.730	0.652	0.807	0.905	0.837	0.763	0.688	0.840	0.766	1.000	0.936	0.927	0.858	0.794	0.716	0.640	0.827	0.753	0.705	0.618	0.554	0.896	0.718	0.814	0.824	0.632	0.734	0.730
<b>H3</b>	0.792	0.713	0.647	0.556	0.854	0.775	0.708	0.850	0.772	0.835	0.756	0.689	0.597	0.705	0.613	0.760	0.669	0.929	0.852	0.908	0.904	0.827	1.000	0.928	0.831	0.787	0.765	0.866	0.696	0.673	0.781	0.616
<b>H4</b>	0.686	0.584	0.747	0.642	0.740	0.635	0.818	0.737	0.632	0.723	0.619	0.795	0.689	0.814	0.707	0.878	0.772	0.804	0.698	0.787	0.783	0.677	0.866	0.760	0.681	0.908	0.883	1.000	0.803	0.777	0.902	0.711
<b>H5</b>	0.619	0.648	0.674	0.712	0.667	0.704	0.738	0.665	0.701	0.652	0.686	0.718	0.764	0.734	0.784	0.792	0.856	0.726	0.774	0.710	0.706	0.751	0.781	0.842	0.754	0.819	0.797	0.902	0.891	0.861	1.000	0.788
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32

### Diagnóstico da LPA3v para $s = 0,0$

Casos	Diag.	Casos	Diag.
C1	H1	C17	H2
C2	H1	C18	H3
C3	H1	C19	H3
C4	H1	C20	H3
C5	H1	C21	H3
C6	H1	C22	H3
C7	H1	C23	H3
C8	H1	C24	H3
C9	H1	C25	H3
C10	H1	C26	H4
C11	H1	C27	H4
C12	H1	C28	H4
C13	H1	C29	H5
C14	H2	C30	H5
C15	H2	C31	H5
C16	H2	C32	H5

## APÊNDICE B – DIAGNÓSTICO PARA VALOR DE SENSIBILIDADE $s = 0,1$

### Grau de Casamento (Gcas) - CASO 3

<b>H1</b>	1.000	0.955	0.918	0.869	0.927	0.879	0.839	0.931	0.883	0.949	0.901	0.862	0.810	0.843	0.789	0.781	0.723	0.853	0.800	0.872	0.876	0.824	0.792	0.735	0.820	0.755	0.777	0.686	0.695	0.718	0.619	0.785
<b>H2</b>	0.843	0.774	0.918	0.850	0.730	0.652	0.807	0.905	0.837	0.763	0.688	0.840	0.766	1.000	0.936	0.927	0.858	0.794	0.716	0.640	0.827	0.753	0.705	0.618	0.554	0.896	0.718	0.814	0.824	0.632	0.734	0.730
<b>H3</b>	0.792	0.713	0.647	0.556	0.854	0.775	0.708	0.850	0.772	0.835	0.756	0.689	0.597	0.705	0.613	0.760	0.669	0.929	0.852	0.908	0.904	0.827	1.000	0.928	0.831	0.787	0.765	0.866	0.696	0.673	0.781	0.616
<b>H4</b>	0.686	0.584	0.747	0.642	0.740	0.635	0.818	0.737	0.632	0.723	0.619	0.795	0.689	0.814	0.707	0.878	0.772	0.804	0.698	0.787	0.783	0.677	0.866	0.760	0.681	0.908	0.883	1.000	0.803	0.777	0.902	0.711
<b>H5</b>	0.619	0.648	0.674	0.712	0.667	0.704	0.738	0.665	0.701	0.652	0.686	0.718	0.764	0.734	0.784	0.792	0.856	0.726	0.774	0.710	0.706	0.751	0.781	0.842	0.754	0.819	0.797	0.902	0.891	0.861	1.000	0.788
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32

### Diagnóstico da LPA3v para $s = 0,1$

Casos	Diag.	Casos	Diag.
C1	H1	C17	T→q H2
C2	T	C18	T→q H3
C3	T→q H1	C19	T→q H3
C4	T→q H1	C20	T→q H3
C5	T→q H1	C21	T→q H3
C6	T→q H1	C22	T→q H3
C7	T→q H1	C23	H3
C8	T→q H1	C24	T→q H3
C9	T→q H1	C25	T→q H3
C10	T→q H1	C26	T→q H4
C11	T→q H1	C27	T→q H4
C12	T→q H1	C28	H4
C13	T→q H1	C29	T→q H5
C14	H2	C30	T→q H5
C15	T→q H2	C31	H5
C16	T→q H2	C32	T→q H5

## APÊNDICE C – DIAGNÓSTICO PARA VALOR DE SENSIBILIDADE $s = 0,15$

### Grau de Casamento (Gcas) - CASO 3

<b>H1</b>	1.000	0.955	0.918	0.869	0.927	0.879	0.839	0.931	0.883	0.949	0.901	0.862	0.810	0.843	0.789	0.781	0.723	0.853	0.800	0.872	0.876	0.824	0.792	0.735	0.820	0.755	0.777	0.686	0.695	0.718	0.619	0.785
<b>H2</b>	0.843	0.774	0.918	0.850	0.730	0.652	0.807	0.905	0.837	0.763	0.688	0.840	0.766	1.000	0.936	0.927	0.858	0.794	0.716	0.640	0.827	0.753	0.705	0.618	0.554	0.896	0.718	0.814	0.824	0.632	0.734	0.730
<b>H3</b>	0.792	0.713	0.647	0.556	0.854	0.775	0.708	0.850	0.772	0.835	0.756	0.689	0.597	0.705	0.613	0.760	0.669	0.929	0.852	0.908	0.904	0.827	1.000	0.928	0.831	0.787	0.765	0.866	0.696	0.673	0.781	0.616
<b>H4</b>	0.686	0.584	0.747	0.642	0.740	0.635	0.818	0.737	0.632	0.723	0.619	0.795	0.689	0.814	0.707	0.878	0.772	0.804	0.698	0.787	0.783	0.677	0.866	0.760	0.681	0.908	0.883	1.000	0.803	0.777	0.902	0.711
<b>H5</b>	0.619	0.648	0.674	0.712	0.667	0.704	0.738	0.665	0.701	0.652	0.686	0.718	0.764	0.734	0.784	0.792	0.856	0.726	0.774	0.710	0.706	0.751	0.781	0.842	0.754	0.819	0.797	0.902	0.891	0.861	1.000	0.788
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32

### Diagnóstico da LPA3v para $s = 0,15$

Casos	Diag.	Casos	Diag.
C1	H1	C17	T→q H2
C2	T	C18	T
C3	T→q H1	C19	T→q H3
C4	T→q H1	C20	T→q H3
C5	T	C21	T→q H3
C6	T→q H1	C22	T→q H3
C7	T→q H1	C23	H3
C8	T	C24	T
C9	T→q H1	C25	T→q H3
C10	T	C26	T→q H4
C11	T→q H1	C27	T→q H4
C12	T→q H1	C28	H4
C13	T→q H1	C29	T→q H5
C14	H2	C30	T→q H5
C15	T	C31	H5
C16	T	C32	T→q H5

## APÊNDICE D – ALGORITMO PARA – ESPECIALISTA

```

clear
clc

% O programa consiste na similaridade entre os Eventos
desconhecidos da...
...matriz a1 com os Eventos conhecidos da matriz a2. O
modelo utilizado...
... é a Lógica Paraconsistente Anotada de Três Valores -
LPA3v Aplicado...
...em Raciocínio Baseado em Casos RBC. A sequência do
programa é:

...1- Adequação e Substituição dos valores das matrizes a1
e a2;
...2- Cálculo do Grau de Casamento - Gcas utilizando a
Função de Cosseno...
...Modificado;
...3- Criação da Tabela Gcas;
...4- Criação do Algoritmo da LPA3v
...4.6- Tabela Final de Resultados da LPA3v

%-----DESCRITÕES-----
% R1-----Pesos dos Relés Em Operação;
% R2-----Pesos dos Relés em Não Operação;
% s-----Ajuste do Grau de Sensibilidade;
% Casos-----Total de Casos da matriz a1;
% Diag-----Diagnostico do Programa LPA3v;
% GC-----Grau de Crença;
% GCT-----Grau de Contradição;
% TabelaFinal----Tabela Final de Resultados da LPA3v;
% ValMaxAjus----Valor máximo de ajuste do Grau de
Casamento;

%-----VALORES DE ENTRADAS-----

% 1- ENTRE COM OS PESOS PARA OS RELÉS EM OPERAÇÃO

Y1=0.67;
Y2=0.82;
Y3=0.85;
Y4=0.92;
Y5=0.61;

% 2- ENTRE COM OS PESOS PARA OS RELÉS EM NÃO OPERAÇÃO.

X1=0.1;
X2=0.1;

```

```

X3=0.1;
X4=0.1;
X5=0.1;

R1=[1+Y1; 1+Y2; 1+Y3; 1+Y4; 1+Y5];
R2=[1+X1; 1+X2; 1+X3; 1+X4; 1+X5];

%ENTRE COM OS VALORES DE AJUSTE DA SENSIBILIDADE (s=0,
s=0.1 e s=0.15)

s=0.15;
%Matriz de Eventos a1 com os 32 CASOS (Casos Novos mais
Prévios) e...
...Matriz Base de Conhecimento / Casos Prévios a2.

a1=[1 1 1 1 1 1 1 1 1 0 0 0 0 1 1 0 0 1 1 0 0 0 0 0 0 1 0 0 1 0 0 1;
1 1 1 1 1 1 1 0 0 1 1 1 1 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 1 0 1 0 0 1 0 1;
1 1 1 1 0 0 0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0 0 0 1 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0;
1 1 0 0 1 1 0 1 1 1 1 0 0 0 0 0 0 0 1 1 1 1 1 1 1 0 0 0 0 0 0 0;
1 0 1 0 1 0 1 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 1 1 0 1 0 0 1 1 1 0 0 0 0];

a2=[1 1 0 0 0;
1 0 0 0 0;
1 1 0 0 0;
1 0 1 0 0;
1 1 1 1 0];

R=R1; % MATRIZ VALOR MÁXIMO DE ESCALA R.

a3=[1,2,3,4,5]; % Matriz Diagnósticos dos Casos Prévios.

%-----INCÍCIO DO ALGORITMO-----
-----

% 1- Modifica as matrizes a1 e a2, de acordo com os pesos
estabelecidos...

for k1=1:size(a1,1);
    for k2=1:size(a1,2);
        if a1(k1,k2)==1;
            a1(k1,k2)=R1(k1);
        else
            a1(k1,k2)=R2(k1);
        end
    end
end
for k3=1:size(a1,1);
    if a2(k1,k3)==1;
        a2(k1,k3)=R1(k1);
    else

```

```

        a2(k1,k3)=R2(k1);
    end
end
end

% 2- Cálculo do Grau de Casamento (Gcas)

for k4=1:size(a1,2);
    for k5=1:size(a1,1);
        for i=1:size(a1,1)
            c1(i)=1-(abs(a1(i,k4)-a2(i,k5))/R(i));
            c2(i)=a1(i,k4)*a2(i,k5)*c1(i);
            c3(i)=a1(i,k4)^2;
            c4(i)=a2(i,k5)^2;
        end
        Gcas(k5,k4)=sum(c2)/sqrt(sum(c3)*sum(c4));
    end
end

% 3- Criação da Tabela de Resultados do Grau de Casamento
- Gcas

for k6=1:size(Gcas,2);
    [x1,y1]=sort(Gcas);
    Gcas(y1(k5-1,k6),k6)=Gcas(y1(k5-1,k6),k6);
    for k7=1:size(Gcas,1);
        d1=max(Gcas);
        d2(k7,k6)=d1(k6)==Gcas(k7,k6);
        if d2(k7,k6)==1;
            d3(k7,k6)=55; % Gera escala de cor cinza
        else
            d3(k7,k6)=100;% Gera escala de cor branca
        end
    end
end

Pos=axes('Position',[0.04,0.65,0.93,0.3]); %Posição da
Imagem
    colormap 'bone' %Estabelece cores cinzas na imagem
    image(d3); % Gera uma tabela de imagem do Gcas
    g1=num2str(Gcas(:),'%0.3f'); % Cria uma matriz de
caracteres
    g1=strtrim(cellstr(g1)); % Remove os espaços da direita e
esquerda da coluna
    [x2,y2]=meshgrid(1:size(a1,2),1:size(a1,1)); % Cria
matrizes de coordenadas x e y
    g2=text(x2(:),y2(:),g1(:),'FontName','Times New
Roman','HorizontalAlignment','center'); %Inserre os caracteres
da matriz d4 nas coordenadas x e y
    set(gca,'xtick',0.5:size(a1,2)+0.5,'FontName','Times New

```

```

Roman', 'XGrid', 'on', 'xticklabel', {''}) % Valores no eixo x
    set(gca, 'ytick', 0.5:size(a1,1)+0.5, 'FontName', 'Times New
Roman', 'Yticklabel', {''}, 'Ygrid', 'on', 'gridlinestyle', '-') %
Valores no eixo y
    g3=strtrim(cellstr(num2str([1:size(a1,2)]))'); %Cria
matriz de caracteres eliminando os espaços
    [x3,y3] = meshgrid(1:size(a1,2),5.7); % Cria coordenadas
x,y, com posição fixa de y=5.7
    g4=text(x3(:),y3(:)+0.1,g3(:), 'FontName', 'Times New
Roman', 'HorizontalAlignment', 'center', 'FontWeight', 'bold'); %
Insere os caracteres g3 no eixo x
    g5(1:size(a1,1),:)= 'H'; % Cria uma matriz de caracteres H
    g6=strtrim(cellstr([g5,num2str(a3')]))'; % Concatena duas
matrizes de caracteres
    [x4,y4]=meshgrid(0.2,1:size(a1,1)); % Cria coordenadas
x,y, com posição fixa de x=0.2
    g7=text(x4(:),y4(:),g6(:), 'FontName', 'Times New
Roman', 'HorizontalAlignment', 'center', 'FontWeight', 'bold'); %
Insere os caracteres g6 no eixo y
    title('Grau de Casamento (Gcas) - CASO
3', 'FontName', 'Times New Roman', 'FontWeight', 'bold',
'fontsize', 17);
    colormap('cool'); % Estabelece as cores na tabela

% 4- Criação do Algoritmo da Lógica Paraconsistente
Anotada de 3 Valores
    [x5,y5]=sort(Gcas);

    for k4=1:size(a1,2);

        % 4.1 Cálculo do Grau de Crença, Grau de Descrença e Grau
de Especialista

            Gc=Gcas(y5(k5,k4),k4)-Gcas(y5(k5-1,k4),k4);
            Gct=(Gcas(y5(k5,k4),k4)+Gcas(y5(k5-1,k4),k4))-1;
            e=Gcas(y5(k5,k4),k4)-Gcas(y5(k5-1,k4),k4);

            % 4.2 Determinação dos Pontos Notáveis
                Gcas1(k4,1)=Gcas(y5(k5,k4),k4);
                Gcas2(k4,1)=Gcas(y5(k5-1,k4),k4);
                C1=e+s;
                C2=-(e+s);
                C3=1-(e+s);
                C4=-(1-(e+s));

            % 4.3 Determinação dos Estados Extremos

                if x5(k5,k4)==1;
                    f1=['H',num2str(y5(k5,k4))];

```

```

        f2=['H', num2str(y5(k5,k4))];
elseif Gc>=C1;
        f1=['H', num2str(y5(k5,k4))];
        f2=['H', num2str(y5(k5,k4))];
elseif Gc<=C2;
        f1=['H', num2str(y5(k5,k4))];
        f2=['H', num2str(y5(k5,k4))];
elseif Gct>=C3;
        f=['Inconsistente'];
        f1=['T'];
        f2=['T'];
elseif Gct<=C4;
        f=['Indeterminado'];
        f1=['\perp'];
        f2=['\perp'];
elseif Gc==0 & Gct==0;
        f=['Indeterminado'];
        f1=['\perp'];
        f2=['\perp'];

```

#### % 4.4 Determinação dos Estados Não-Extremos

```

%-----1-----
        elseif Gc>=0 & Gc<C1 & Gct>=0 & Gct<C3 & Gc>=Gct;
            f=['H', num2str(y5(k5,k4)), ' ', 'Tendendo a
Quase', ' ', 'H', num2str(y5(k5,k4))];

f1=['H', num2str(y5(k5,k4)), 'tq', 'H', num2str(y5(k5,k4))];
f2=['H', num2str(y5(k5,k4)), '\rightarrowq
', 'H', num2str(y5(k5,k4))]
        elseif Gc>=0 & Gc<C1 & Gct>=0 & Gct<C3 & Gc<Gct;
            f=['Inconsistente Tendendo a Quase', '
', 'H', num2str(y5(k5,k4))];
            f1=['ItqH', num2str(y5(k5,k4))];
            f2=['T\rightarrowq H', num2str(y5(k5,k4))];

%-----2-----
        elseif Gc>=0 & Gc<C1 & Gct>C4 & Gct<0 & Gc>=abs(Gct);
            f=['H', num2str(y5(k5,k4)), ' ', 'Tendendo a Quase
Não', ' ', 'H', num2str(y5(k5-1,k4))];

f1=['H', num2str(y5(k5,k4)), 'tqn', 'H', num2str(y5(k5-1,k4))];

f2=['H', num2str(y5(k5,k4)), '\rightarrowq\neg', 'H', num2str(y5(k
5-1,k4))];
        elseif Gc>=0 & Gc<C1 & Gct>C4 & Gct<0 & Gc<abs(Gct);
            f=['Indeterminado Tendendo Quase Não', '
', num2str(y5(k5-1,k4))];
            f1=['PtqnH', num2str(y5(k5-1,k4))];
            f2=['\perp\rightarrowq\negH', num2str(y5(k5-

```

```

1, k4)]];

%-----3-----
elseif Gc>C2 & Gc<0 & Gct>C4 & Gct<0 &
abs(Gc)>=abs(Gct)
    f=['H', num2str(y5(k5-1, k4)), ' ', 'Tendendo a Quase
Não', ' ', 'H', num2str(y5(k5, k4))];
    f1=['H', num2str(y5(k5-
1, k4)), 'tqn', 'H', num2str(y5(k5, k4))];
    f2=['H', num2str(y5(k5-
1, k4)), '\rightarrowq\neg', 'H', num2str(y5(k5, k4))];
elseif Gc>C2 & Gc<0 & Gct>C4 & Gct<0 &
abs(Gc)<abs(Gct);
    f=['Indeterminado Tendendo Quase Não', '
', num2str(y4(k5, k4))];
    f1=['PtqnH', num2str(y5(k5, k4))];
    f2=['\perp\rightarrowq\neg H', num2str(y5(k5, k4))];

%-----4-----
elseif Gc>C2 & Gc<0 & Gct>=0 & Gct<C3 & abs(Gc)>=Gct;
    f=['H', num2str(y5(k5-1, k4)), ' ', 'Tendendo a
Quase', ' ', 'H', num2str(y5(k5-1, k4))];
    f1=['H', num2str(y5(k5-
1, k4)), 'tq', 'H', num2str(y5(k5-1, k4))];
    f2=['H', num2str(y5(k5-1, k4)), '\rightarrowq
', 'H', num2str(y5(k5-1, k4))];
elseif Gc>C2 & Gc<0 & Gct>=0 & Gct<C3 & abs(Gct)<Gct;
    f=['Inconsistente Tendendo a Quase', '
', num2str(y5(k5-1, k4))];
    f1=['I', 'tqH', num2str(y5(k5-1, k4))];
    f2=['T', '\rightarrowq H', num2str(y5(k5-1, k4))];
end

%-----FIM-----
-----

```

#### % 4.5 Criação da TABELA FINAL DE RESULTADOS DA LPA3v

```

j1(1:size(a1,2),:)= 'C';
j2(:,1)=1:size(a1,2);
Casos=[j1, num2str(j2, '%-i')];
DiagLPA(k4, 1:size(f1,2))=f1;
GC1(k4,1)=Gc;
GC=num2str(GC1, '%5.4f');
GCT1(k4,1)=Gct;
GCT=num2str(GCT1, '%5.4f');
j3(k4,1)=Gc;
[x6, y6]=sort(j3);
j4=j2(y6,1);

```

```

        j5(1:size(a1,2),:)= 'C';
        j6(:,1)=1:size(a1,2);
        Casos=[j5,num2str(j6,'%i')];
        DiagLPA1(k4,1:size(f2,2))=f2;
    end

    % 5- Tabela Final dos Resultdos
    TabelaFina=table(Casos,DiagLPA,GC,GCT)

    % 6- Acrescenta o Diagnóstico da LPA3v na Tabela de
    Resultados do Gcas

        text(11.6,6.9,'Diagnóstico da LPA3 para s =
0,1','FontName','Times New
Roman','FontWeight','bold','fontsize',17);
        text(16.9,6.93,'v','FontName','Times New
Roman','FontAngle','italic','FontWeight','bold','fontsize',17)
        %text(13,7.5,'v','FontWeight','italic',15);

        text(10.6,7.7,'Casos','FontName','Times New
Roman','FontWeight','bold','fontsize',13);
        text(10.9,12.1,Casos(1:16,:), 'FontName','Times New
Roman','FontWeight','bold','fontsize',13);
        text(13.6,7.7,'Diag.','FontName','Times New
Roman','FontWeight','bold','fontsize',13);
        text(13.3,12.1,DiagLPA1(1:16,:), 'FontName','Times New
Roman','FontWeight','bold','fontsize',13);

        text(16.8,7.7,'Casos','FontName','Times New
Roman','FontWeight','bold','fontsize',13);
        text(16.95,12.1,Casos(17:32,:), 'FontName','Times New
Roman','FontWeight','bold','fontsize',13);
        text(19.7,7.7,'Diag.','FontName','Times New
Roman','FontWeight','bold','fontsize',13);
        text(19.4,12.1,DiagLPA1(17:32,:), 'FontName','Times New
Roman','FontWeight','bold','fontsize',13);

    %-----FIM DO ALGORITMO PARA-ESPECIALISTA-----

```