

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DO RIO GRANDE DO SUL  
FACULDADE DE ENGENHARIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

EDSON DE ARAUJO

**IDENTIFICAÇÃO DE CAUSAS DE FALHAS EM SISTEMAS DE DISTRIBUIÇÃO  
USANDO O PROCESSO ANALÍTICO HIERÁRQUICO – AHP**

Porto Alegre

2010

EDSON DE ARAUJO

**IDENTIFICAÇÃO DE CAUSAS DE FALHAS EM SISTEMAS DE DISTRIBUIÇÃO  
USANDO O PROCESSO ANALÍTICO HIERÁRQUICO – AHP**

Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, da Faculdade de Engenharia Elétrica da Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Elétrica.

**Orientador: Prof. Flávio Antonio Becon Lemos, Dr.**

Porto Alegre

2010



## AGRADECIMENTOS

Ao prof. Dr. Flávio Antonio Becon Lemos, orientador e mentor, por guiar o caminho a ser trilhado e pela oportunidade proporcionada.

Aos colegas do PPGEE, que compartilharam esforços e conhecimentos e que muito contribuíram em meu aprendizado.

À minha família, pelos exemplos de vida e pela dedicação despendida ao longo de toda minha caminhada.

À Aline, pelo afeto, dedicação, compreensão e por, apesar da distância e das adversidades, manter constantemente presença e apoio.

À RGE, pela bolsa de estudos.

Resumo da Dissertação apresentada a PUCRS como parte dos requisitos necessários para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Elétrica.

## **IDENTIFICAÇÃO DE CAUSAS DE FALHAS EM SISTEMAS DE DISTRIBUIÇÃO USANDO O PROCESSO ANALÍTICO HIERÁRQUICO – AHP**

EDSON DE ARAUJO

Março/2010.

Orientador: Flávio Antonio Becon Lemos.

Área de Concentração: Sistemas de Energia.

Linha de Pesquisa: Planejamento e Gestão de Sistemas de Energia.

Palavras-chave: Interrupções Não Programadas, Processo Analítico Hierárquico, AHP, Confiabilidade de Sistemas Elétricos

A identificação das causas de desligamentos não programados é uma tarefa complexa que envolve diversos fatores e afeta diretamente o planejamento da empresa e as tarefas de operação e manutenção de suas redes. Além disso, as empresas devem seguir padrões de qualidade e continuidade definidos pelo órgão regulador, os quais, quando violados, acarretam em penalidades monetárias impostas às empresas sob a forma de multas e de ressarcimento a seus consumidores. Nesta dissertação é apresentada uma proposta de aplicação de um método multicritério, chamado de Processo Analítico Hierárquico – AHP, para apoiar o processo de identificação das causas de falhas em sistemas de distribuição. Inicialmente são apresentados alguns conceitos sobre causas de eventos não programados seguido da apresentação teórica do Processo Analítico Hierárquico – AHP e do desenvolvimento da metodologia proposta. O AHP oferece uma abordagem simplificada e intuitiva a problemas complexos através de sua decomposição hierárquica e permite avaliar o grau de consistência das informações utilizadas. O método possui ainda a vantagem de poder se apropriar do conhecimento e da experiência dos especialistas de forma contínua, promovendo uma solução adequada quando não existe uma base de dados históricos apropriada. O AHP também pode ser utilizado para a qualificação contínua de uma base de dados de eventos não programados. A dissertação é finalizada com exemplos de aplicação do método para identificação de causas de eventos não programados.

Abstract of the Dissertation presented to PUCRS as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Master in Electrical Engineering

**IDENTIFICATION OF FORCED OUTAGES CAUSES IN ELECTRIC ENERGY DISTRIBUTION USING THE ANALYTIC HIERARCHY PROCESS**

EDSON DE ARAUJO

March/2010.

Advisor: Flávio Antonio Becon Lemos.

Area of Concentration: Energy Systems.

Line of Research: Planning and Management of Energy Systems.

Keywords: Forced Outages, Analytyc Hierarchy Process, AHP.

Identifying the causes of unplanned outages is a complex task that involves many factors and directly affects the company's planning and the tasks of operating and maintaining their networks. In addition, companies must follow standards of quality and continuity set by the regulator, which, when violated, result in monetary penalties imposed as fines and compensation to its customers. In this dissertation is presented a proposal for implementing a multicriteria method, called Analytical Hierarchy Process – AHP –, to support the process of identifying the causes of faults in distribution systems. Initially some concepts about causes of unplanned events are presented, followed by the theoretical presentation of the Analytical Hierarchy Process – AHP – and the development of the proposed methodology. The AHP provides a simplified and intuitive approach to complex problems through its hierarchical decomposition and allows to measure the consistency of the information used. The method also has the advantage of being able to appropriate continuously of the knowledge and experience from experts, promoting an adequate solution when it doesn't exist an adequate historical data base. The AHP can also be used for the continuous qualification of an outage events database. The dissertation is finished with examples of the method applicated for identifying causes of unplanned events.

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 2-1: GALHO EM CONTATO COM DOIS CONDUTORES .....	37
FIGURA 2-2: DESCARGA ATMOSFÉRICA.....	38
FIGURA 2-3: PÁSSAROS SOBRE POSTES.....	40
FIGURA 2-4: GAMBÁ NA REDE ELÉTRICA .....	41
FIGURA 2-5: CALÇADOS NA REDE ELÉTRICA .....	42
FIGURA 3-1: EXEMPLO DE ESTRUTURA HIERÁRQUICA DO AHP .....	52
FIGURA 3-2: QUESTIONÁRIO PARA COMPARAÇÕES ENTRE OS CRITÉRIOS.....	55
FIGURA 3-3: QUESTIONÁRIO PARA COMPARAÇÕES ENTRE AS ALTERNATIVAS .....	55
FIGURA 3-4: HIERARQUIA NO CRITERIUM DECISIONPLUS.....	65
FIGURA 3-5: COMPARAÇÕES NO CRITERIUM DECISIONPLUS .....	66
FIGURA 3-6: INTERFACE AHP DESENVOLVIDA NO MATLAB .....	67
FIGURA 4-1: ESTRUTURA HIERÁRQUICA PARA IDENTIFICAÇÃO DE CAUSAS .....	72
FIGURA 4-2: FLUXO DAS INFORMAÇÕES .....	76
FIGURA 4-3: QUESTIONÁRIO PARA COMPARAÇÕES PAREADAS.....	78
FIGURA 4-4: EXEMPLO DE PRIORIDADES – CAUSAS SECUNDÁRIAS .....	80
FIGURA 4-5: EXEMPLO DE PRIORIDADES – CAUSAS PRIMÁRIAS .....	82
FIGURA 5-1: CENÁRIO 1 – PRIORIDADES DAS CAUSAS SECUNDÁRIAS.....	87
FIGURA 5-2: CENÁRIO 1 – PRIORIDADES DAS CAUSAS PRIMÁRIAS .....	89
FIGURA 5-3: CENÁRIO 22 – PRIORIDADES DAS CAUSAS SECUNDÁRIAS .....	92
FIGURA 5-4: CENÁRIO 22 – PRIORIDADES DAS CAUSAS PRIMÁRIAS.....	94
FIGURA 5-5: CENÁRIO 53 – PRIORIDADES DAS CAUSAS SECUNDÁRIAS .....	97
FIGURA 5-6: CENÁRIO 53 – PRIORIDADES DAS CAUSAS PRIMÁRIAS.....	99
FIGURA 5-7: CENÁRIO 149 – PRIORIDADES DAS CAUSAS SECUNDÁRIAS .....	102
FIGURA 5-8: CENÁRIO 149 – PRIORIDADES DAS CAUSAS PRIMÁRIAS.....	104
FIGURA 5-9: CENÁRIO 157 – PRIORIDADES DAS CAUSAS SECUNDÁRIAS .....	107
FIGURA 5-10: CENÁRIO 157 – PRIORIDADES DAS CAUSAS PRIMÁRIAS .....	110
FIGURA 5-11: CENÁRIO 189 – PRIORIDADES DAS CAUSAS SECUNDÁRIAS.....	113
FIGURA 5-12: CENÁRIO 189 – PRIORIDADES DAS CAUSAS PRIMÁRIAS .....	115
FIGURA 5-13: CENÁRIO 215 – PRIORIDADES DAS CAUSAS SECUNDÁRIAS.....	118
FIGURA 5-14: CENÁRIO 215 – PRIORIDADES DAS CAUSAS PRIMÁRIAS .....	120

FIGURA 5-15: CENÁRIO 238 – PRIORIDADES DAS CAUSAS SECUNDÁRIAS .....	123
FIGURA 5-16: CENÁRIO 238 – PRIORIDADES DAS CAUSAS PRIMÁRIAS .....	126
FIGURA 5-17: CENÁRIO 295 – PRIORIDADES DAS CAUSAS SECUNDÁRIAS .....	128
FIGURA 5-18: CENÁRIO 295 – PRIORIDADES DAS CAUSAS PRIMÁRIAS .....	131
FIGURA 5-19: CENÁRIO 320 – PRIORIDADES DAS CAUSAS SECUNDÁRIAS .....	133
FIGURA 5-20: RESULTADOS DOS AVALIADORES EM CADA CENÁRIO .....	135
FIGURA A-1: HIERARQUIA PARA O EXEMPLO DA ESCOLHA DE UMA MORADIA .....	146
FIGURA A-2: COMPARAÇÕES ENTRE OS CRITÉRIOS NO EXEMPLO.....	147
FIGURA A-3: PRIORIDADES DOS CRITÉRIOS SOBRE O OBJETIVO.....	148
FIGURA A-4: COMPARAÇÕES ENTRE ALTERNATIVAS À LUZ DO CRITÉRIO QV.....	150
FIGURA A-5: COMPARAÇÕES ENTRE ALTERNATIVAS À LUZ DO CRITÉRIO PR.....	151
FIGURA A-6: COMPARAÇÕES ENTRE ALTERNATIVAS À LUZ DO CRITÉRIO LOC .....	151
FIGURA A-7: COMPARAÇÕES ENTRE ALTERNATIVAS À LUZ DO CRITÉRIO SEG .....	152
FIGURA A-8: PRIORIDADES RELATIVAS DAS ALTERNATIVAS SOBRE CADA CRITÉRIO.....	152
FIGURA A-9: PRIORIDADE DAS ALTERNATIVAS E INFLUÊNCIA DOS CRITÉRIOS.....	154

## LISTA DE TABELAS

TABELA 3-1 – REPRESENTAÇÃO NUMÉRICA DAS COMPARAÇÕES PARITÁRIAS .....	54
TABELA 3-2 – PESOS DOS ELEMENTOS NAS COMPARAÇÕES .....	60
TABELA 3-3 – ÍNDICE RANDÔMICO DE CONSISTÊNCIA – RI .....	63
TABELA 5-1 – CENÁRIO 1: CAUSAS SECUNDÁRIAS – AVALIADOR 1 .....	85
TABELA 5-2 – CENÁRIO 1: CAUSAS SECUNDÁRIAS – AVALIADOR 2 .....	86
TABELA 5-3 – CENÁRIO 1: CAUSAS SECUNDÁRIAS – AVALIADOR 3 .....	86
TABELA 5-4 – CENÁRIO 1: CAUSAS PRIMÁRIAS – AVALIADOR 1 .....	88
TABELA 5-5 – CENÁRIO 1: CAUSAS PRIMÁRIAS – AVALIADOR 2 E AVALIADOR 3 .....	88
TABELA 5-6 – CENÁRIO 22: CAUSAS SECUNDÁRIAS – AVALIADOR 1 .....	90
TABELA 5-7 – CENÁRIO 22: CAUSAS SECUNDÁRIAS – AVALIADOR 2 .....	90
TABELA 5-8 – CENÁRIO 22: CAUSAS SECUNDÁRIAS – AVALIADOR 3 .....	91
TABELA 5-9 – CENÁRIO 22: CAUSAS PRIMÁRIAS – AVALIADOR 1 .....	93
TABELA 5-10 – CENÁRIO 22: CAUSAS PRIMÁRIAS – AVALIADOR 2 .....	93
TABELA 5-11 – CENÁRIO 22: CAUSAS PRIMÁRIAS – AVALIADOR 3 .....	94
TABELA 5-12 – CENÁRIO 53: CAUSAS SECUNDÁRIAS – AVALIADOR 1 .....	95
TABELA 5-13 – CENÁRIO 53: CAUSAS SECUNDÁRIAS – AVALIADOR 2 .....	96
TABELA 5-14 – CENÁRIO 53: CAUSAS SECUNDÁRIAS – AVALIADOR 3 .....	96
TABELA 5-15 – CENÁRIO 53: CAUSAS PRIMÁRIAS – AVALIADOR 1 .....	98
TABELA 5-16 – CENÁRIO 53: CAUSAS PRIMÁRIAS – AVALIADOR 2 .....	98
TABELA 5-17 – CENÁRIO 53: CAUSAS PRIMÁRIAS – AVALIADOR 3 .....	99
TABELA 5-18 – CENÁRIO 149: CAUSAS SECUNDÁRIAS – AVALIADOR 1 .....	101
TABELA 5-19 – CENÁRIO 149: CAUSAS SECUNDÁRIAS – AVALIADOR 2 .....	101
TABELA 5-20 – CENÁRIO 149: CAUSAS SECUNDÁRIAS – AVALIADOR 3 .....	102
TABELA 5-21 – CENÁRIO 149: CAUSAS PRIMÁRIAS – AVALIADOR 1 .....	103

TABELA 5-22 – CENÁRIO 149: CAUSAS PRIMÁRIAS – AVALIADOR 2 E AVALIADOR 3 .....	103
TABELA 5-23 – CENÁRIO 157: CAUSAS SECUNDÁRIAS – AVALIADOR 1.....	105
TABELA 5-24 – CENÁRIO 157: CAUSAS SECUNDÁRIAS – AVALIADOR 2.....	106
TABELA 5-25 – CENÁRIO 157: CAUSAS SECUNDÁRIAS – AVALIADOR 3.....	106
TABELA 5-26 – CENÁRIO 157: CAUSAS PRIMÁRIAS – AVALIADOR 1 .....	108
TABELA 5-27 – CENÁRIO 157: CAUSAS PRIMÁRIAS – AVALIADOR 2 .....	108
TABELA 5-28 – CENÁRIO 157: CAUSAS PRIMÁRIAS – AVALIADOR 3 .....	109
TABELA 5-29 – CENÁRIO 189: CAUSAS SECUNDÁRIAS – AVALIADOR 1.....	111
TABELA 5-30 – CENÁRIO 189: CAUSAS SECUNDÁRIAS – AVALIADOR 2.....	111
TABELA 5-31 – CENÁRIO 189: CAUSAS SECUNDÁRIAS – AVALIADOR 3.....	112
TABELA 5-32 – CENÁRIO 189: CAUSAS PRIMÁRIAS – AVALIADOR 1 .....	113
TABELA 5-33 – CENÁRIO 189: CAUSAS PRIMÁRIAS – AVALIADOR 2 .....	114
TABELA 5-34 – CENÁRIO 189: CAUSAS PRIMÁRIAS – AVALIADOR 3 .....	114
TABELA 5-35 – CENÁRIO 215: CAUSAS SECUNDÁRIAS – AVALIADOR 1.....	116
TABELA 5-36 – CENÁRIO 215: CAUSAS SECUNDÁRIAS – AVALIADOR 2.....	117
TABELA 5-37 – CENÁRIO 215: CAUSAS SECUNDÁRIAS – AVALIADOR 3.....	117
TABELA 5-38 – CENÁRIO 215: CAUSAS PRIMÁRIAS – AVALIADOR 1 .....	119
TABELA 5-39 – CENÁRIO 215: CAUSAS PRIMÁRIAS – AVALIADOR 2 .....	119
TABELA 5-40 – CENÁRIO 215: CAUSAS PRIMÁRIAS – AVALIADOR 3 .....	120
TABELA 5-41 – CENÁRIO 238: CAUSAS SECUNDÁRIAS – AVALIADOR 1.....	122
TABELA 5-42 – CENÁRIO 238: CAUSAS SECUNDÁRIAS – AVALIADOR 2.....	122
TABELA 5-43 – CENÁRIO 238: CAUSAS SECUNDÁRIAS – AVALIADOR 3.....	123
TABELA 5-44 – CENÁRIO 238: CAUSAS PRIMÁRIAS – AVALIADOR 1 .....	124
TABELA 5-45 – CENÁRIO 238: CAUSAS PRIMÁRIAS – AVALIADOR 2 E AVALIADOR 3 .....	125
TABELA 5-46 – CENÁRIO 295: CAUSAS SECUNDÁRIAS – AVALIADOR 1.....	127
TABELA 5-47 – CENÁRIO 295: CAUSAS SECUNDÁRIAS – AVALIADOR 2 E AVALIADOR 3	128
TABELA 5-48 – CENÁRIO 295: CAUSAS PRIMÁRIAS – AVALIADOR 1 .....	129
TABELA 5-49 – CENÁRIO 295: CAUSAS PRIMÁRIAS – AVALIADOR 2 .....	130
TABELA 5-50 – CENÁRIO 295: CAUSAS PRIMÁRIAS – AVALIADOR 3 .....	130
TABELA 5-51 – CENÁRIO 320: CAUSAS SECUNDÁRIAS – AVALIADOR 1.....	132
TABELA 5-52 – CENÁRIO 320: CAUSAS SECUNDÁRIAS – AVALIADOR 2.....	132
TABELA 5-53 – CENÁRIO 320: CAUSAS SECUNDÁRIAS – AVALIADOR 3.....	133
TABELA A-1 – PESOS DOS ELEMENTOS NAS COMPARAÇÕES.....	153

## SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS.....	4
1 INTRODUÇÃO.....	14
1.1 O Tema e Sua Importância .....	14
1.2 Caracterização do Problema .....	15
1.3 Objetivos.....	16
1.4 Revisão Bibliográfica .....	17
1.5 Estrutura da Dissertação .....	24
2 FALHAS NO SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO.....	25
2.1 Princípios sobre Confiabilidade.....	26
2.1.1 Termos e Definições .....	26
2.1.2 Índices Comumente Usados.....	28
2.1.3 Índices Usados no Brasil .....	30
2.2 Classificação das Interrupções.....	33
2.3 Causas de Falhas no Sistema de Distribuição.....	34
2.3.1 Falha em Componente .....	35
2.3.2 Vegetal .....	36
2.3.3 Descarga Atmosférica.....	38
2.3.4 Animais.....	39
2.3.5 Furto ou Vandalismo .....	41
2.3.6 Objetos Estranhos .....	42
2.3.7 Acidentes .....	43
2.3.8 Outras Empresas.....	43
2.3.9 Vento.....	44
2.3.10 Perda de Suprimento .....	44
2.3.11 Sobrecarga .....	45

2.3.12	Erro de operação .....	45
2.3.13	Subtensão ou Sobretensão .....	46
2.3.14	Temperatura Extrema .....	46
2.3.15	Poluição ou Maresia.....	46
2.3.16	Deslizamento ou Erosão .....	46
2.4	Banco de Dados .....	47
3	<b>O PROCESSO ANALÍTICO HIERÁRQUICO – AHP</b> .....	49
3.1	Hierarquias.....	51
3.2	Processo de Medidas e Julgamentos.....	53
3.2.1	Escala de Comparações .....	54
3.2.2	Questionários para Julgamentos .....	55
3.2.3	Quantidade de Julgamentos.....	55
3.3	Matrizes de comparação .....	57
3.4	Vetor de Prioridades .....	58
3.5	Análise de Consistência.....	60
3.6	Avaliação do AHP .....	64
4	<b>ORGANIZAÇÃO E IDENTIFICAÇÃO DE CAUSAS</b> .....	68
4.1	Organização das Causas de Falhas do Sistema de Distribuição .....	68
4.1.1	Falhas Próprias do Sistema – FPS.....	69
4.1.2	Tempo Adverso – TAD .....	70
4.1.3	Meio Ambiente Adverso – MAA .....	70
4.1.4	Interferência de Terceiros – ITE.....	71
4.2	Estrutura Hierárquica do Problema.....	71
4.3	Cenários .....	73
4.4	Questionários para Julgamentos .....	75
4.4.1	Aplicação de Questionários para Julgamentos .....	75
4.5	Aplicação do AHP aos Dados Obtidos.....	78
5	<b>RESULTADOS</b> .....	84
5.1	Cenário 1 .....	85
5.1.1	Causa Secundária .....	85
5.1.2	Causa Primária .....	87
5.2	Cenário 22.....	89
5.2.1	Causa Secundária .....	90
5.2.2	Causa Primária .....	92

5.3	Cenário 53.....	95
5.3.1	Causa Secundária.....	95
5.3.2	Causa Primária.....	97
5.4	Cenário 149.....	100
5.4.1	Causa Secundária.....	100
5.4.2	Causa Primária.....	103
5.5	Cenário 157.....	105
5.5.1	Causa Secundária.....	105
5.5.2	Causa Primária.....	108
5.6	Cenário 189.....	110
5.6.1	Causa Secundária.....	111
5.6.2	Causa Primária.....	113
5.7	Cenário 215.....	116
5.7.1	Causa Secundária.....	116
5.7.2	Causa Primária.....	118
5.8	Cenário 238.....	121
5.8.1	Causa Secundária.....	121
5.8.2	Causa Primária.....	124
5.9	Cenário 295.....	126
5.9.1	Causa Secundária.....	127
5.9.2	Causa Primária.....	129
5.10	Cenário 320.....	131
5.10.1	Causa Secundária.....	132
5.11	Avaliação dos Resultados.....	134
6	CONCLUSÃO.....	136
6.1	Trabalhos Futuros.....	139
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	141
	APÊNDICE A: EXEMPLO DE APLICAÇÃO DO AHP.....	146
	APÊNDICE B: ROTEIRO DE EXEMPLO DE AHP NO MATLAB.....	155
	APÊNDICE C: BANCO DE DADOS – EVENTOS DE INTERRUPÇÕES NÃO PROGRAMADAS.....	163
	APÊNDICE D: QUESTIONÁRIOS ONLINE – PRIMEIRA PARTE.....	172
	APÊNDICE E: QUESTIONÁRIOS ONLINE – SEGUNDA PARTE.....	174

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 O Tema e Sua Importância

O setor elétrico brasileiro passou por uma ampla reformulação na década de 90, a qual culminou na privatização de várias empresas, com destaque para as de distribuição de energia elétrica. Essa reformulação inseriu conceitos de competição, produtividade e desempenho na distribuição de energia (Pretto, 2005).

Com a reestruturação do setor elétrico, a continuidade do fornecimento de energia tornou-se fator crítico para o sucesso das empresas distribuidoras de energia. A Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL, que é o órgão regulador e fiscalizador do sistema elétrico brasileiro, é a responsável por definir os padrões de qualidade e continuidade, bem como as penalidades pelo não atendimento desses padrões. A adoção de novos padrões de desempenho induziu as empresas distribuidoras a reverem suas metodologias de avaliação e atuação no sistema a fim de atender às novas exigências (Coelho, 2005).

Melhorar os índices de continuidade significa diminuir o tempo em que o sistema não está em operação, de modo que prevenir falhas no fornecimento de energia melhora os índices de confiabilidade das empresas. Para melhorar os índices de confiabilidade do sistema é fundamental conhecer os eventos que o fazem falhar. Tais informações podem direcionar os investimentos das distribuidoras de energia, de modo a destinar os recursos a ações capazes de prevenir a recorrência de tais problemas, ao invés de despender seus recursos apenas para deslocar equipes para tarefas de restauração do sistema.

## 1.2 Caracterização do Problema

Apesar dos impactos gerados por interrupções não programadas no sistema de distribuição e da importância da continuidade do fornecimento, a análise preliminar dos problemas que ocorrem na rede geralmente é realizada pelos eletricitistas e operadores do sistema. Cabe a essas pessoas, a partir de suas experiências profissionais, apontar a causa da falha no sistema de distribuição. Entretanto, às vezes as causas dos problemas não estão ao alcance de meras inspeções visuais, de modo que nem sempre essas pessoas têm embasamento suficiente para promover um julgamento confiável acerca dos problemas enfrentados pela rede. Aliado a isso há o fato de que, ao serem deslocadas ao local de um evento de interrupção não programada, as equipes têm como objetivo principal restabelecer o fornecimento de energia, com a maior brevidade possível, sem que possam ater-se à questão da análise das causas que levaram o sistema a falhar.

Atualmente, quando uma interrupção é informada pelos clientes, os operadores estimam a localização do problema, baseados nas informações disponíveis, e enviam uma equipe para resolver o problema. Por questões de segurança, muitos serviços não são restaurados até que seja encontrada a causa de sua interrupção. O eletricitista deslocado ao local deve, ao longo da rede, procurar indícios que apontem para a causa do evento, tais como corpos de animais, postes queimados por raios, galhos em contato com os fios, etc., e garantir que o sistema está seguro antes de reenergizá-lo. Tendo restaurado o fornecimento, o eletricitista normalmente tem de se deslocar para resolver outro problema, tornando secundário o processo de recolhimento de informações mais detalhadas sobre o ambiente encontrado no local da interrupção.

O método mais utilizado para determinação de interrupções é baseado em, a partir da localização do cliente que telefonou reportando a falha, percorrer a rede e identificar o primeiro dispositivo comum como sendo a interrupção. O problema é que o método ignora a existência de outros dispositivos de proteção ao longo do circuito, que também podem ter causado a interrupção (Sumic e Vidianand, 1996).

A eficácia do processo de identificação das causas de interrupções não programadas está relacionada à quantidade e à qualidade das informações obtidas no local da ocorrência, pois é com base nessas informações que uma análise mais detalhada pode ser realizada. A correta identificação dessas causas pode ser convertida em informações armazenadas em bancos de dados que permitam conhecer os padrões dos problemas enfrentados em determinadas regiões ou partes do sistema.

Seria interessante ainda apontar os percentuais estimados da ocorrência de cada uma das causas de falha, estratificadas por tipo e nível de ocorrência, com relação ao total de eventos decorridos na região atendida. Porém, não existe um consenso ou padronização de causas de eventos não programados. Isso expõe, aliás, uma das motivações deste trabalho, que é buscar um padrão hierárquico de causas a ser considerado na avaliação de interrupções não programadas, tal que se possa fazer análises e correlações estatísticas sobre os eventos de desligamentos não programados.

### **1.3 Objetivos**

Nesta dissertação é apresentado o desenvolvimento de uma metodologia para identificação de causas de interrupções não programadas no sistema de distribuição de energia elétrica. A metodologia desenvolvida deve ser capaz de, a partir dos dados coletados do banco de dados da empresa distribuidora de energia, oferecer as condições necessárias para que a causa do evento possa ser encontrada.

Nesse escopo, esta dissertação tem os seguintes objetivos:

- auxiliar na compreensão sobre causas de eventos não programados em sistemas de distribuição;
- apoiar as pesquisas para uma possível uniformização e classificação de causas de eventos não programados;
- desenvolver uma metodologia utilizando o Processo Analítico Hierárquico – AHP – que permita sua aplicação ao problema de identificação de causas de eventos não programados.

Para ilustrar os objetivos a metodologia é aplicada a 10 cenários de falhas de suprimento comumente encontrados na operação diária de um sistema de distribuição. Os dados desses eventos são recuperados por um processo de descoberta de conhecimento em base de dados, conhecido pela sigla inglesa KDD, e descrito nas referências (Tronchoni, 2008) e (Tronchoni et. al., 2010).

Não foram encontradas publicações que utilizassem o AHP na abordagem à identificação de causas de desligamentos não programados. Dessa forma, este trabalho apresenta uma contribuição inédita para a área de sistemas de energia. Uma grande vantagem da aplicação do AHP neste problema é que o método possibilita o emprego da experiência dos eletricitistas, de forma analítica e estruturada, não necessitando obrigatoriamente de uma base de dados tão organizada. Como seria se fossem aplicados outros métodos, como redes neurais e lógica fuzzy.

## 1.4 Revisão Bibliográfica

O tema de identificação e classificação de causas de falhas em sistemas de distribuição é pouco explorado na literatura. O assunto é tratado de diferentes maneiras por diferentes autores (Brown, 2002) (Billinton e Allan, 1984) (Xu e Chow, 2005) (Chowdhury e Koval, 2009) (Coelho, 2005). Algumas referências abordam pequenas partes do problema, identificando apenas falhas relacionadas a um ou outro tipo de evento. Algumas classificações encontradas na literatura são apresentadas na seqüência.

De acordo com (ELETROBRÁS, 1982), as causas de interrupções não programadas subdividem-se em:

- *meio ambiente*: poluição, corrosão, fogo (não devido a falhas), inundação, erosão, vegetal, pássaros, insetos, outros animais, etc.;
- *terceiros*: *vandalismo* (dano ou interferência intencional ou voluntária), acidente (dano ou interferência acidental) e empresas de serviços públicos ou contratadas;

- *falha humana*: erro de operação e acidente (contato, dano ou interferência da própria companhia ou contratado, responsáveis pela operação e manutenção do sistema);
- *próprias do sistema*: subtensão, sobretensão, manobra para localização de falhas, manobra por segurança ou características construtivas do equipamento;
- *falha de componente*: falha de ajuste, falha de montagem, falha de projeto, uso impróprio do equipamento, envelhecimento, falha de manutenção, falha de fabricação (material, projeto ou montagem pelo fabricante), falha não relacionada e falha desconhecida;
- *outro órgão / companhia*: concessionária, consumidor, outro órgão da empresa (não responsável diretamente pela operação ou manutenção de sistemas);
- *outras*: neste grupo deverá ser enquadrada toda causa cuja natureza seja do conhecimento do informante, porém não se enquadre em nenhum dos itens relacionados;
- *desconhecidas*: neste grupo deverá ser enquadrada toda causa cuja natureza não seja do conhecimento do informante.

A relação proposta na referência (ELETROBRÁS, 1982) é bastante abrangente, entretanto deixa margens para informações pouco claras e até mesmo inconsistentes, especialmente ao permitir classificar as causas como “outras” ou “desconhecidas”. Além disso, não agrupa eventos relacionados às condições atmosféricas, as quais podem, sem dúvida, provocar interrupções no sistema.

A referência (Oprisan et. al, 1991) consiste na busca de informações para avaliar o desempenho de equipamentos para determinar índices de confiabilidade do sistema de distribuição no Canadá. O objetivo do trabalho é, a partir dos dados estatísticos obtidos, encontrar indicações e tendências sobre onde o sistema pode necessitar melhorias e onde se pode obter o maior benefício por dólar investido. O autor assume o fato de que todo evento de interrupção envolve um componente principal, para reconstruir a falha no desempenho de uma determinada configuração a partir dos registros dos diversos componentes. É apresentada uma classificação que visa associar as saídas dos componentes principais do sistema

com causas primárias de interrupções não programadas. Os componentes considerados como principais são:

- linha de distribuição;
- cabo de distribuição;
- transformador de distribuição;
- transformador de potência;
- chave;
- regulador;
- capacitor.

As causas consideradas por impor interrupções forçadas aos componentes são (Oprisan et. al, 1991):

- equipamento defeituoso;
- tempo adverso;
- meio ambiente adverso;
- intervenção humana;
- interferência externa;
- desconhecida.

Em (Pretto, 2005) é desenvolvido um trabalho voltado à coleta e ao tratamento de dados obtidos em eventos de desligamentos não programados, baseado na aplicação de computadores móveis na realização destas tarefas. O trabalho tem por objetivo melhorar a qualidade dos dados coletados pelas equipes de campo, bem como diminuir a ocorrência de registros equivocados, como aqueles em que alguma consequência é apontada como a causa da interrupção no fornecimento, por exemplo. O trabalho desenvolvido em (Tronchoni, 2008) parte das pesquisas desenvolvidas em (Pretto, 2005) e tem como objetivos criar uma metodologia para a identificação das causas de desligamentos não programados no sistema de distribuição e desenvolver um processo para extração de conhecimentos em um banco de dados (Tronchoni et. al., 2010), para que a metodologia de identificação de causas possa ser apoiada em uma base de dados que apresenta um conjunto incompleto de informações. Em ambos (Pretto, 2005) e (Tronchoni, 2008) os trabalhos descritos, as causas de interrupções não programadas consideradas são as seguintes:

- perda de suprimento;

- contato com árvores;
- descarga atmosférica;
- equipamento defeituoso;
- tempo adverso;
- ambiente adverso;
- elemento humano;
- interferência externa;
- outras.

Outra abordagem para a classificação de falhas, semelhante à apresentada em (Oprisan et. al, 1991) e que leva em consideração o sugerido pelo IEEE (IEEE, 1998), é apresentada em (Chowdhury e Koval, 2009). Neste, as possíveis causas de interrupções não programadas são:

- contato com árvores;
- equipamento defeituoso;
- tempo adverso;
- meio ambiente adverso;
- elemento humano;
- interferência externa.

Embora fosse o ideal um conhecimento mais aprofundado, com um maior detalhamento relacionado às causas e aos componentes envolvidos em eventos de interrupções forçadas, a adoção de metodologias como as propostas acima resulta em informações muito úteis às empresas de energia elétrica, capazes de guiar seus investimentos e suas rotinas de manutenção.

Diversos métodos já foram testados, com objetivo de apresentar uma solução ao problema de identificação de causas de falhas no sistema de distribuição. A seguir apresentam-se algumas referências utilizadas para construir o referencial teórico desta dissertação.

Em (Chow et. AL, 1993) é desenvolvido um sistema de identificação de interrupções através do uso de Redes Neurais Artificiais – RNA. Os dados de entrada da rede são baseados nos coletados por uma concessionária dos EUA. Complementarmente são utilizadas Probabilidades Condicionais – dadas pelo Teorema de Bayes –, para atribuir pesos aos nós da RNA de acordo com a região geográfica onde ocorreu a interrupção. Os autores afirmam que RNAs são

capazes de se adaptar e aprender com o passar do tempo e melhorar seu desempenho com base nos resultados encontrados. Por isso, são bastante úteis em aplicações onde não existem modelos matemáticos apropriados para o sistema sob análise. A eficácia da metodologia é comprovada através dos resultados encontrados, os quais foram superiores a 98% de acerto nas identificações realizadas. Entretanto, apesar de os autores afirmarem que o modelo poderia ser expandido para analisar outras causas de falhas na distribuição, o modelo implementado investigava apenas a ocorrência de eventos causados por animais, não tendo sido aplicado para identificação de um conjunto de causas. O uso de Redes Neurais Artificiais é adotado por outros autores, como Tronchoni (Tronchoni, 2008) e Xu e Chow (Xu e Chow, 2005), por exemplo.

Em (Xu e Chow, 2005) são aplicados os métodos de Regressão Logística e Redes Neurais na identificação de causas de falhas. Esse trabalho considera ainda problemas relacionados ao banco de dados utilizado na análise, como inconsistência e insuficiência de dados. As análises são realizadas para dois tipos de ocorrências que são causas freqüentes de interrupções não programadas: contato de árvores e de animais com a rede elétrica. Embora ambos os métodos tenham apresentado capacidade para resolver o problema sugerido, com acurácia superior a 90 %, a abordagem ao problema é incompleta, pois considera apenas dois dentre os diversos eventos que podem ser responsáveis por falhas.

Em (Sumic e Vidyanand, 1996), a lógica fuzzy é aplicada para determinar causas de interrupções não programadas do fornecimento de energia, a partir da identificação do dispositivo de proteção que tem a maior probabilidade de ter atuado. A abordagem tem suas regras baseadas na localização dos dispositivos no esquema elétrico da rede de distribuição, em suas posições geográficas, em telefonemas de clientes reportando interrupções e em outros fatores como condições atmosféricas e de vegetação. A localização dos dispositivos é possível através do sistema de Mapeamento Automatizado / Gestão de Instalações (AM/FM) e do Sistema de Informação Geográfica – GIS. Os autores justificam o uso da lógica fuzzy argumentando que esta ferramenta aumenta o potencial de se modelar o raciocínio em domínios inexatos e incertos, e também é útil no emprego de descrição lingüística (qualitativa) em inferência computadorizada. Ao final do artigo, os autores, embora não apresentem resultados para comprovar, afirmam que a lógica fuzzy é bastante eficaz na resolução deste problema. A

lógica fuzzy é um método consagrado para solução de problemas que envolvem incerteza e, por isso, é presente em outros trabalhos, que abordam a identificação de causas de falhas no sistema de distribuição, existentes na literatura.

Outra técnica, que tem comprovada sua capacidade na resolução do problema de identificação de causas de desligamentos não programados, é a aplicação de Redes Bayesianas, que funcionam baseadas em probabilidades condicionais preestabelecidas. Dentre os trabalhos, que utilizam este método na identificação de causas, encontrados na literatura, pode-se citar como exemplo os as referências (Tronchoni, 2008) (Tronchoni et. al., 2007) (Chien et. al., 2002) e (Nassar et. al., 2004). Um grande benefício deste método é a possibilidade de trabalhar simultaneamente com evidências incompletas e com as incertezas do evento, resultando em uma ótima aproximação ao problema.

O objetivo neste trabalho é desenvolver uma metodologia para identificação de causas de interrupções não programadas no sistema de distribuição de energia utilizando o Processo Analítico Hierárquico, conhecido pela sigla AHP, do inglês *Analytic Hierarchy Process*. O método teve sua origem no ano de 1971, quando seu criador, Thomas L. Saaty, trabalhava no Departamento de Defesa dos EUA. A teoria que sustenta o método foi desenvolvida ao longo das décadas de 1970 e 1980 (Saaty, 1980). É um método matemático para auxílio na tomada de decisões quando essas forem complexas e ou houver múltiplos critérios a considerar, refletindo a maneira como as pessoas pensam. Isto porque permite decompor problemas complexos em hierarquias e problemas menores e estruturados, conciliando lógica matemática com a intuição dos decisores.

Desde sua criação, o AHP foi ganhando espaço e tem sido aplicado em diversas áreas na solução de problemas de tomada de decisão envolvendo múltiplos critérios e incertezas inerentes ao raciocínio de cada indivíduo. Algumas aplicações interessantes do método na área de engenharia elétrica são encontradas na literatura, as quais são apresentadas a seguir.

Em (Lin et. al, 2006) o AHP foi aplicado para auxiliar a manutenção em linhas de transmissão, cuja estrutura está se tornando cada vez mais complexa devido à sua grande expansão. O trabalho, que tem os objetivos de aumentar a confiabilidade do sistema através da redução dos tempos de desligamentos e torná-lo economicamente mais eficiente, considera fatores como custos

operacionais, condição de equipamentos, efeitos ambientais, entre outros. O trabalho mostrou que o AHP é uma aplicação benéfica na busca por mecanismos para ajudar na compreensão e na decisão de rotinas de manutenção de linhas de transmissão.

Em (Akash et. al, 1999) o Processo Analítico Hierárquico é aplicado na comparação entre diferentes opções de fontes de geração de energia elétrica na Jordânia, que é um país não produtor de petróleo. Na aplicação as opções de geração comparadas foram energia solar, eólica, hídrica, nuclear e fóssil, e os critérios considerados foram custo de combustível, custo de estrutura, custo de manutenção, sistema auxiliar e questões ambientais. A aplicação do AHP conduz os avaliadores de maneira intuitiva às respostas buscadas.

Em (Zhu et. al, 1998) o método é aplicado para a alocação bancos de capacitores para compensação de energia reativa no sistema elétrico. Os casos estudados mostraram o AHP como sendo muito útil e poderoso ao lidar com problemas de compensação de reativos. Os modelos desenvolvidos foram aplicados aos sistemas testes IEEE de 14 e 30 barras e obtiveram resultados satisfatórios.

Na referência (Momoh e Zhu, 2003) o AHP é aplicado na seleção de unidades de geração para atender à carga demandada visando o despacho econômico das unidades, alocando as que oferecem os melhores preços no mercado desregulamentado de energia. Aspectos técnicos e não técnicos, assim como fatores não quantitativos, presentes no mercado desregulamentado são tratados pelo AHP. Ao final são sugeridas outras considerações ao esquema integrado de alocação de unidades e fluxo de potência ótimo, assegurando a factibilidade da alocação das unidades através da integração do AHP à solução do problema.

Na referência (Barin et. al., 2009) é apresentada uma metodologia de decisão multicriterial que utiliza o AHP e lógica fuzzy para o gerenciamento da operação de um conjunto de fontes renováveis de energia. Os critérios de decisão são eficiência, custos, maturidade tecnológica, impactos ambientais, amplitude de atuação do sistema e vida útil.

## **1.5 Estrutura da Dissertação**

Esta dissertação está dividida em sete capítulos. O primeiro capítulo apresenta o problema abordado e os objetivos do trabalho, seguidos por uma revisão bibliográfica. No capítulo 2 são apresentados conceitos sobre confiabilidade no sistema de distribuição de energia elétrica e os fenômenos que provocam falhas no fornecimento de energia. No capítulo 3 é explanado o Processo Analítico Hierárquico. No capítulo 4, é desenvolvida uma metodologia para testar a aplicação do AHP na identificação das causas de interrupções não programadas no sistema de distribuição. O capítulo 5 é composto pelos resultados que ilustram a aplicabilidade do modelo desenvolvido no problema proposto. Por fim, o capítulo 6 versa sobre as conclusões alcançadas no decorrer do trabalho.

## 2 FALHAS NO SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO

Eventos que ocasionam falhas no sistema de distribuição são causados por uma ampla variedade de fenômenos. As causas dessas falhas são a raiz da confiabilidade em sistemas de distribuição e compreendê-las permite que temas abstratos como modelagem da confiabilidade sejam visualizados de maneira prática. Além disso, localizar e identificar essas causas freqüentemente oferece o melhor custo-benefício no combate a problemas de confiabilidade (Brown, 2002).

Na ocorrência de um evento, uma equipe é deslocada até o local onde o fornecimento foi interrompido. No local devem ser inspecionados os fatos que podem ter relevância para a análise do evento. Estes fatos devem demonstrar, da melhor maneira possível, em condições a rede de distribuição se encontrava no momento da falha. Deve ser descrito se havia componentes danificados ou que não estavam em que condições de operação, quais eram as condições meteorológicas, se havia objetos estranhos na rede de distribuição, a situação da vegetação, dentre outras questões que podem ajudar a compreender o fenômeno que provocou a interrupção não programada.

Estima-se que, nos Estados Unidos, o prejuízo devido às interrupções não programadas seja de aproximadamente US\$ 80 bilhões anuais, dos quais 67% se devem a interrupções momentâneas, com duração inferior a 5 minutos, e 33% a interrupções sustentadas (LaCommare e Eto, 2004). No Brasil consideram-se momentâneas interrupções com duração máxima de 3 minutos (ELETROBRÁS, 1982), e não foram encontradas referências sobre o impacto econômico das interrupções não programadas.

Nesta dissertação tem-se o objetivo de desenvolver uma metodologia para identificar as causas de interrupções não programadas para que, a partir do conhecimento gerado, se possa preveni-las e mitigá-las, melhorando a confiabilidade do sistema elétrico. Por isso, serão apresentados em seguida alguns conceitos sobre confiabilidade e sua aplicação no que é pertinente ao sistema de distribuição de energia elétrica.

## 2.1 Princípios sobre Confiabilidade

Confiabilidade pode ser definida como “a probabilidade de um componente cumprir suas funções pré-fixadas, dentro de um período de tempo desejado e sob certas condições de operação” (Camargo, 1981). Na NBR 5462 (ABNT, 1994) a Confiabilidade está definida como a “capacidade de um item desempenhar uma função requerida sob condições especificadas, durante um dado intervalo de tempo”.

A confiabilidade sempre teve importância primordial ao serviço público de fornecimento de energia. A avaliação de confiabilidade pode ser dividida em dois segmentos fundamentais: a medição de desempenho passado e a predição de desempenho futuro (Billinton, 1995). Ambas as aplicações envolvem o levantamento de dados de desempenho do sistema e equipamentos.

### 2.1.1 Termos e Definições

As referências (IEEE, 1998) e (IEEE, 1997) trazem definições sobre confiabilidade e manutenção aplicadas ao sistema elétrico. Alguns termos são utilizados nesta dissertação e, portanto, cabem aqui suas definições para guiar a correta interpretação dos mesmos.

- **Componente:** Uma peça de um equipamento elétrico ou mecânico, uma linha ou circuito, ou uma seção de uma linha ou circuito, ou um grupo de itens que é visto como uma entidade para os propósitos de avaliação da confiabilidade.

- **Sistema:** Um grupo de componentes conectados ou associados em uma configuração para desempenhar uma função específica de distribuição de energia.
- **Interrupção:** Quando um componente ou sistema não está disponível para desempenhar adequadamente a função para a qual foi projetado, devido a algum evento diretamente associado ao componente ou sistema.
- **Falha:** Qualquer problema com um componente do sistema de energia que causa o acontecimento de qualquer dos seguintes eventos:
  - desligamento parcial ou total do sistema elétrico, ou operação fora dos limites;
  - desempenho inaceitável de equipamento;
  - operação do relé de proteção ou operação emergencial do sistema;
  - desenergização de qualquer circuito ou equipamento.

Uma falha no sistema de fornecimento pode causar tanto a interrupção ou perda de serviço, quanto o desvio da tensão ou frequência normal.

- **Interrupção Forçada:** Uma interrupção que não pode ser prevista ou adiada. Os termos falha e interrupção forçada são freqüentemente usados como sinônimos.
- **Frequência de interrupções:** A quantidade de interrupções esperadas para uma carga por unidade de tempo, geralmente expressa como interrupções por ano. Será detalhada na subseção 2.1.2.
- **Duração esperada de interrupção:** A duração esperada, ou média, para um evento de interrupção, considerando-se uma única carga.
- **Tempo de Reparo:** Também chamado de duração da falha, é o tempo contado do instante da ocorrência da falha até que o serviço seja reparado.

### 2.1.2 Índices Comumente Usados

É possível determinar uma grande variedade de índices de desempenho para o sistema, uma região, nível de tensão, determinados alimentadores ou grupos de consumidores (Billinton, 1995).

Alguns índices são consagrados para medir o desempenho e a confiabilidade de sistemas de distribuição de energia e são utilizados em diversos países, normalizados através das normas de cada país. Os índices mais comuns, de acordo com (Billinton e Allan, 1984), são:

- Índice de Frequência Média de Interrupções do Sistema – **SAIFI**: do Inglês *System Average Interruption Frequency Index*, é a média do número de interrupções por consumidor servido por ano. É determinado dividindo o número acumulado de interrupções a consumidores em um ano pelo número de consumidores atendidos, conforme equação 2-1.

$$SAIFI = \frac{\text{número total de interrupções a consumidores}}{\text{número total de consumidores}} \quad 2-1$$

- Índice de Frequência Média de Interrupções ao Consumidor – **CAIFI**: do Inglês *Customer Average Interruption Frequency Index*, é a média do número de interrupções por consumidor interrompido por ano. É determinado dividindo o número acumulado de interrupções a consumidores em um ano pelo número de consumidores afetados, como mostra a equação 2-2.

$$CAIFI = \frac{\text{número total de interrupções a consumidores}}{\text{número total de consumidores afetados}} \quad 2-2$$

- Índice de Duração Média de Interrupção do Sistema – **SAIDI**: do Inglês *System Average Interruption Duration Index*, é a média da duração das interrupções por consumidores servidos por ano. É determinado

dividindo a soma de todas as durações de interrupções a consumidores durante um ano pelo número de consumidores atendidos durante o ano, como apresenta a equação 2-3.

$$SAIDI = \frac{\textit{soma das interrupções a consumidores}}{\textit{número total de consumidores}} \quad 2-3$$

- Índice de Duração Média de Interrupção do Consumidor – **CAIDI**: do Inglês *Customer Average Interruption Duration Index*, é a média da duração das interrupções por consumidores interrompidos durante um ano. É determinado dividindo a soma de todas as durações de interrupções a consumidores durante um ano pelo número de consumidores interrompidos no período, de acordo com a equação 2-4.

$$CAIDI = \frac{\textit{soma das durações de interrupções a consumidores}}{\textit{número total de consumidores interrompidos}} \quad 2-4$$

- Índice de Disponibilidade Média de Serviço – **ASAI**: do Inglês *Average Service Availability Index*, esta é a taxa entre o número total de horas em que o serviço esteve disponível durante um ano e o total de horas demandadas pelo consumidor. As horas demandadas pelo consumidor são determinadas como a média de consumidores servidos durante doze meses vezes 8760 horas. Este também é conhecido como “Índice de Confiabilidade” – IOR (*Index of Reliability*), conforme a equação 2-5.

$$ASAI = \frac{\textit{horas de serviço disponível ao consumidor}}{\textit{horas demandadas pelo consumidor}} \quad 2-5$$

### 2.1.3 Índices Usados no Brasil

A tarefa de regular e fiscalizar os serviços públicos de energia elétrica, no Brasil, cabe à Agência Nacional de Energia Elétrica. A ANEEL determina alguns conceitos e terminologias a serem adotados para a interpretação de suas resoluções (ANEEL, 2000), dentre os quais os citados abaixo são relevantes na seqüência do texto.

- **Concessionária ou Permissionária:** agente titular de concessão ou permissão federal, para explorar a prestação de serviços públicos de energia elétrica.
- **Conjunto de Unidades Consumidoras:** qualquer agrupamento de unidades consumidoras, global ou parcial, de uma mesma área de concessão de distribuição, definido pela concessionária ou permissionária e aprovado pela ANEEL.
- **Consumidor:** pessoa física ou jurídica, ou comunhão de fato ou de direito, legalmente representada, que assuma a responsabilidade pelo pagamento das faturas de energia elétrica e pelas demais obrigações fixadas em normas e regulamentos da ANEEL, vinculando-se assim ao contrato de fornecimento, de uso e de conexão ou de adesão, conforme cada caso.

No Brasil os índices de confiabilidade, os quais devem ser observados e seguidos pelas concessionárias e permissionárias, são definidos como índices de continuidade.

Esses índices são definidos e regulamentados na **Resolução ANEEL 024**, de janeiro de 2000, que “estabelece as disposições relativas à Continuidade da Distribuição de energia elétrica às unidades consumidoras” (ANEEL, 2000).

Tais índices, bem como a maneira da computá-los, são apresentados abaixo:

- **Duração Equivalente de Interrupção por Unidade Consumidora – DEC:** Intervalo de tempo em que, em média, no período de observação, em cada unidade consumidora do conjunto considerado, ocorreu

descontinuidade na distribuição de energia elétrica, definido pela equação 2-6

$$DEC = \frac{\sum_{i=1}^k Ca(i) \times t(i)}{Cc} \quad 2-6$$

- **Frequência Equivalente de Interrupção por Unidade Consumidora – FEC:** Número de interrupções ocorridas, em média, no período de observação, em cada unidade consumidora do conjunto considerado, de acordo com a equação 2-7.

$$FEC = \frac{\sum_{i=1}^k Ca(i)}{Cc} \quad 2-7$$

Onde:

$Ca(i)$  = número de unidades consumidoras interrompidas em um evento (i), no período de apuração;

$t(i)$  = duração de cada evento (i), no período de apuração;

$i$  = índice de eventos ocorridos no sistema que provocam interrupções em uma ou mais unidades consumidoras;

$k$  = número máximo de eventos no período considerado; e

$Cc$  = número total de unidades consumidoras, do conjunto considerado, no final do período de apuração.

- **Duração de Interrupção Individual por Unidade Consumidora ou por Ponto de Conexão – DIC:** Intervalo de tempo em que, no período de observação, em uma unidade consumidora ou ponto de conexão, ocorreu descontinuidade na distribuição de energia elétrica, dada pela equação 2-8.

$$DIC = \sum_{i=1}^n t(i) \quad 2-8$$

- **Frequência de Interrupção Individual por Unidade Consumidora ou por Ponto de Conexão – FIC:** Número de interrupções ocorridas, no período de observação, em cada unidade consumidora ou ponto de conexão, conforme a equação 2-9.

$$FIC = n \quad 2-9$$

- **Duração Máxima de Interrupção Contínua por Unidade Consumidora ou por Ponto de Conexão – DMIC:** Tempo máximo de interrupção contínua da energia elétrica em uma unidade consumidora ou ponto de conexão, como mostra a equação 2-10.

$$DMIC = t(i)_{max} \quad 2-10$$

Onde:

$i$  = índice de interrupções da unidade consumidora ou do ponto de conexão, no período de apuração, variando de 1 a  $n$ ;

$n$  = número de interrupções da unidade consumidora ou do ponto de conexão considerado, no período de apuração;

$t(i)$  = tempo de duração da interrupção ( $i$ ) da unidade consumidora ou do ponto de conexão considerado, no período de apuração; e

$t(i)_{max}$  = valor correspondente ao tempo da máxima duração de interrupção, no período de apuração, verificado na unidade consumidora ou no ponto de conexão considerado, expresso em horas e centésimos de horas.

## 2.2 Classificação das Interrupções

Na ocorrência de uma falha no sistema de distribuição, esta deve ser identificada e localizada, para que possa ser reparada e o fornecimento restabelecido.

As interrupções são resultado de uma ou mais saídas de componentes, dependendo da configuração do sistema, e devem ser classificadas de acordo com certos critérios, de maneira a bem caracterizar o tipo de análise que se deseja realizar (ELETROBRÁS, 1982). Esses componentes, a partir dos quais o fornecimento é interrompido, podem ser definidos como Elementos de Interrupção, conforme proposto em (Pretto, 2005).

Devem ser consideradas, nos cálculos dos índices de continuidade, todas as interrupções resultantes de saídas de um ou mais componentes que afetam os consumidores alimentados pelo sistema analisado, quaisquer que sejam suas origens, inclusive aquelas motivadas por distúrbios no sistema de transmissão. Excetuam-se os desligamentos dos consumidores provocados por seus próprios dispositivos ou por falhas em sua própria rede, contando que não provoquem interrupções em parte do sistema da concessionária e, conseqüentemente, em outros consumidores (ELETROBRÁS, 1982).

As interrupções são divididas em *programadas* e *não programadas*. É considerada *interrupção programada* aquela que resulta da retirada deliberada de serviço de um componente, por um tempo preestabelecido, usualmente para fins de construção ou manutenção. *Interrupções não programadas* são aquelas causadas por saídas forçadas em algum componente do sistema de distribuição.

Sendo assim, a correta e eficaz identificação das causas dessas falhas é de suma importância para a concessionária. A cada ocorrência no sistema de distribuição, deve-se procurar identificar a circunstância ou mecanismo que provocou o mau funcionamento do componente, para definir os procedimentos que venham a minimizar sua reincidência (ELETROBRÁS, 1982). Às vezes um pequeno conjunto, com um problema de continuidade que poderia ser facilmente solucionado, resulta em um grande problema para os índices de continuidade da empresa.

Um problema que dificulta as análises de identificação de causas de falhas é a falta de padronização nos dados que são coletados e nos métodos de coleta. A disparidade nessas informações resulta na dificuldade de se comparar resultados aferidos de diferentes fontes (Chowdhury e Koval, 2009), como entre empresas distintas, por exemplo. Mesmo dentro de uma única empresa, a falta de um padrão adequado para se efetuar análises acerca de causas de falhas pode levar a resultados dos quais não se extrai conclusão alguma. Dessa maneira, ao invés de um banco de dados repleto de informações estatísticas sobre o histórico das falhas no sistema da empresa, o que se cria é um aglomerado de dados dos quais não se consegue extrair qualquer conclusão ou benefício. Torna-se evidente a necessidade de uma uniformidade nos dados coletados para que se possa gerar informações que permitam compreender e analisar os eventos de desligamentos não programados.

Em (Billinton, 1989) o autor relaciona a contribuição das causas de falhas sobre índices de confiabilidade, medidos nos EUA e Canadá durante um determinado período. Estas relações demonstram que causas têm maior influência sobre cada índice, e apontam quais problemas são os mais críticos e, portanto, que medidas devem ser priorizadas.

No Brasil há pouca literatura abordando a determinação de causas de falhas. Deste modo, as empresas de energia elétrica concentram seus esforços em localizar as falhas e reparar o sistema, sem dispor de ferramentas para prevenir e diminuir tais ocorrências.

### **2.3 Causas de Falhas no Sistema de Distribuição**

O sistema elétrico opera exposto a diversos fenômenos capazes de lhe infligir comportamentos inadequados. A vulnerabilidade de qualquer sistema está atrelada às condições do ambiente onde o mesmo está inserido.

Para oferecer qualidade no serviço de fornecimento de energia, deve-se garantir segurança e funcionalidade no sistema de distribuição. Para se promover a confiabilidade, o gerenciamento do sistema deve proporcionar respostas rápidas e apropriadas a interrupções não programadas.

A fim de diminuir a duração da interrupção, os dispositivos de proteção que atuaram devem ser encontrados com a maior brevidade possível. A rápida e acurada determinação da falha pode ajudar no despacho de uma equipe para o local do evento (Sumic e Vidyanand, 1996). Além disso, “uma vez que a causa é identificada, ações podem ser tomadas para eliminar as fontes do problema” (Chow et. AL, 1993). Deve-se considerar como a causa de um desligamento o motivo primário que levou à interrupção do fornecimento de energia, uma vez que as conseqüências originadas pela causa raiz podem “mascarar” a verdadeira causa e originar uma ação de manutenção inadequada (Tronchoni, 2008).

Com base nas referências (Brown, 2002), (Billinton e Allan, 1984), (Chowdhury e Koval, 2009), (Pretto, 2005) e (Tronchoni, 2008), são descritos na seqüência os fenômenos considerados nesta dissertação como capazes de fazer com que o fornecimento de energia seja interrompido de maneira não programada.

### **2.3.1 Falha em Componente**

Cada um dos equipamentos instalados em um sistema de distribuição de energia tem uma probabilidade de falhar (Brown, 2002). As falhas devidas a componentes podem ocorrer por defeitos de projeto, fabricação, instalação inadequada, falta de manutenção, danos durante o transporte e término de vida útil (ELETROBRÁS, 1982).

Todo componente do sistema elétrico está sujeito a atuar ou sofrer avarias devido a comportamentos inesperados do sistema. Portanto, é necessário discernir se a falha se deve ao mau funcionamento de um equipamento ou se o mesmo atuou devido a outro problema qualquer.

Por exemplo, ao se encontrar um fusível rompido na localidade de um evento, é possível e provável que ele tenha atuado corretamente devido à passagem de uma corrente indevida, e não porque o componente estava com problemas. Neste caso o rompimento do fusível é uma conseqüência, ocasionada por algum outro acontecimento, e não a causa da falha.

A lista abaixo apresenta alguns dos principais componentes cujo mau funcionamento pode provocar interrupções no fornecimento de energia:

- condutor ;
- poste;
- cruzeta;
- isolador;
- chave;
- fusível;
- transformador;
- capacitor;
- regulador;
- pára-raios
- entre outros.

No dia 22 de fevereiro de 2010, no município de Taquara – RS, mais de trinta animais morreram devido a um poste podre que caiu e permaneceu energizado (Zero Hora, 2010)

### **2.3.2 Vegetal**

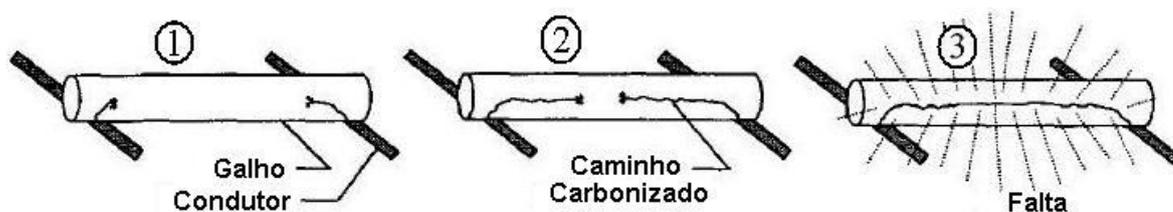
Árvores estão entre as três mais freqüentes causas de interrupções no fornecimento de energia, junto com animais e descargas atmosféricas (Brown, 2002). A interação entre vegetais e o sistema elétrico pode resultar em interrupções por diferentes razões, decorrentes das situações em que galhos podres ou mal podados entram em contato com a rede elétrica.

Um galho que se apóia sobre os condutores pode rompê-los ou forçar um contato físico entre os mesmos, ocasionando um curto-circuito. Este caso pode ser facilmente identificado se, quando a equipe deslocada chegar, ainda houver algum dano aparente como um galho quebrado caído sobre a rede ou no chão ou vegetação com sinais de carbonização.

Entretanto, um galho pode não ter quebrado, mas apenas vergado sobre a rede durante um curto período em função de um vento e fechado um curto-

circuito, por exemplo. Neste caso, pode ser difícil identificar visualmente a real causa da falha, uma vez que o galho não mais exerce força sobre os condutores e a rede pode estar visualmente normal no momento da inspeção, sendo a saída de um dispositivo de proteção a única constatação feita no local pelo eletricitista.

Outra situação ocorre quando um galho entra em contato com dois condutores, tornando-se uma ponte de ligação entre eles. De acordo com (Brown, 2002), a falta não ocorre imediatamente, pois galhos geralmente têm alta resistência elétrica, mesmo assim, dois processos são iniciados: surge uma pequena corrente, que começa a dissecar o galho, o que aumenta sua resistência; e o campo elétrico começa a carbonizar a celulose próxima aos condutores, formando caminhos de carbono através do galho, conforme a Figura 2-1.



**Figura 2-1: Galho em contato com dois condutores**

Se a resistência se torna grande demais antes que os caminhos de carbono se encontrem, não ocorre falta, caso contrário o caminho carbonizado provoca um curto-circuito entre os condutores.

Verifica-se que as falhas provocadas por vegetais poderiam ser evitadas através um monitoramento da vegetação próxima à rede, mantendo-se podadas as árvores que representem ameaças ao sistema de distribuição.

Contudo, a rede de distribuição é bastante extensa e monitorá-la implica em altos investimentos. Conforme notícia publicada na *Electric Energy Online* (Electric Energy Online, 2009), a empresa de energia PECO – *Philadelphia Electric Company*, responsável pela distribuição de energia elétrica na Pensilvânia, nos EUA, investiria vinte e cinco milhões de dólares somente com a poda de árvores 2009.

### 2.3.3 Descarga Atmosférica

Relâmpagos são intensas descargas elétricas que ocorrem na atmosfera, com duração média de um quarto de segundo, e trajetória típica com comprimento de 5 a 10 km (Pinto e Pinto, 2000) (Aguado e Burt, 1999). Esses têm origem na quebra da rigidez dielétrica do ar, que ocorre quando o campo elétrico é suficiente para ionizar os átomos do ar e acelerar os elétrons a ponto de produzir uma descarga (ELAT, 2009). Medidas em laboratório sugerem que os campos devem ser da ordem de  $1 \times 10^6$  V/m para que tal quebra ocorra dentro da nuvem.

A corrente da descarga flui através do ar por um canal com poucos centímetros de diâmetro, onde aquece o ar a temperaturas de até 30.000 °C, o que equivale a cinco vezes a da superfície do sol (Pinto e Pinto, 2000) (Aguado e Burt, 1999). Essa corrente geralmente atinge patamares superiores a 30 kA (Brown, 2002), podendo, em raros casos, exceder a 200 kA (Pinto e Pinto, 2000).



**Figura 2-2: Descarga Atmosférica**

Estima-se que o solo brasileiro seja atingido por cerca de cem milhões de relâmpagos a cada ano (Pinto e Pinto, 2000), o que equivale a uma média de quase dez relâmpagos por quilômetro quadrado.

Este tipo de fenômeno merece destaque na análise de desligamentos não-programados, uma vez que é notória uma das mais freqüentes dentre as causas

de falhas do sistema de distribuição. Segundo dados do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE (INPE, 2009), no Brasil os raios são os responsáveis por cerca de 40% dos desligamentos do sistema de distribuição.

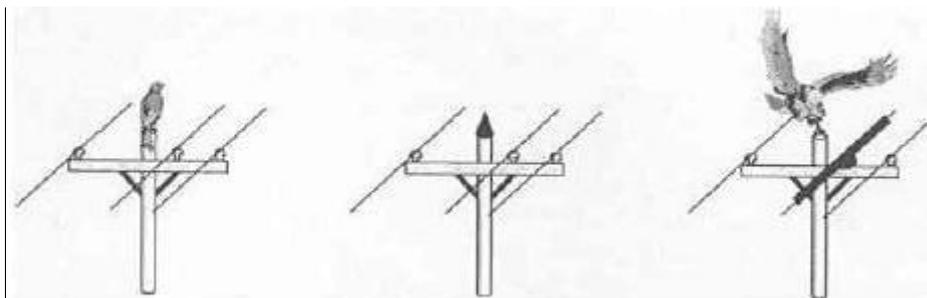
Em (Chisholm, 2001) é feito um levantamento sobre as interrupções causadas por descargas atmosféricas na região de Ontário, no Canadá, durante um período de quatro anos. Observou-se que os raios foram responsáveis por 30% do total de interrupções não programadas. Outra informação interessante obtida é a variação destas ocorrências ao longo do ano, a qual mostra que a maioria destes eventos ocorre no verão, enquanto no inverno praticamente não há registros.

Raios podem provocar a queima de componentes, ao elevar a tensão do sistema, tanto através do impacto direto sobre a rede quanto indireto – ao atingir áreas próximas e induzir tensões na rede (Brown, 2002). Além disso, podem causar danos estruturais ao sistema através do impacto direto ou nas proximidades, como derrubando uma árvore sobre a rede, por exemplo.

#### **2.3.4 Animais**

Animais são uma das causas mais comuns de interrupções em sistemas elétricos (Brown, 2002). Há diversas espécies de animais que podem causar problemas, de acordo com a fauna na região considerada.

Pássaros são causa freqüente de falhas no sistema elétrico. Alguns constroem seus ninhos em postes e subestações, outros utilizam os equipamentos elétricos, como postes e condutores, como poleiros para descansar ou procurar por presas. Assim, os pássaros podem provocar faltas por meio dos materiais utilizados nos ninhos; ao fazer pontes entre os condutores através de suas asas, principalmente ao pousar ou levantar vôo; ou, ainda, ao danificar isoladores pela contaminação com seus excrementos fecais. Há ainda os problemas causados por pica-paus, que podem danificar seriamente postes de madeira enquanto procuram por insetos ou constroem ninhos.



**Figura 2-3: Pássaros sobre postes**

A Figura 2-3 mostra à esquerda um pássaro empoleirado em um poste. Problemas de contaminação de isoladores podem ser amenizados instalando-se pontas que desencorajem os pássaros ao pouso sobre postes, como mostrado no desenho central da figura. O contato fase-fase através de asas de pássaros pode ser evitado isolando-se o condutor central, conforme exemplificado no desenho da direita. Problemas com pica-paus podem ser abrandados com o uso de postes de aço ou concreto. Há também repelentes para afastar pássaros.

Outro problema são os roedores, especialmente camundongos, que causam faltas ao roer o isolamento em cabos subterrâneos. Além de mastigarem isolamentos, esses ratos criam problemas ao atraírem serpentes. Para evitar que roedores tenham acesso a equipamentos subterrâneos, cabines e aberturas de duto devem ser bem fechadas. Algumas instalações têm utilizado dispositivos de ultra-som para afastar ratos (Brown, 2002).

Serpentes são outra grande preocupação para a confiabilidade em ambas as subestações e redes subterrâneas. Elas podem espremer-se através de aberturas muito pequenas, subir em quase qualquer coisa, e ter o comprimento para facilmente fazer ponte entre condutores. São animais de sangue frio que, em dias frios, procuram lugares para se aquecer, o que eventualmente as leva a se abrigar em cabines elétricas. Problemas com serpentes podem ser mitigados com cabines bem fechadas e evitando a presença de suas presas. Outra solução é instalar cercas para serpentes em torno de subestações e componentes críticos de equipamentos (Brown, 2002).



**Figura 2-4: Gambá na rede elétrica**

Há outros animais eventualmente responsáveis por falhas, entretanto com menor frequência que os descritos acima, a saber: gambás – como mostra a Figura 2-4 – e raposas que causam faltas ao subir na rede; grandes animais, como cavalos, que causam danos físicos ao se coçarem na estrutura; formigas cujos ninhos podem causar curto-circuitos e também por mastigarem a isolação dos condutores (Brown, 2002).

### **2.3.5 Furto ou Vandalismo**

Neste tópico são consideradas as interrupções causadas intencionalmente, quando pessoas demonstram a intenção de provocar danos, atentando contra o sistema elétrico através da retirada ou destruição de componentes do sistema.

Condutores de cobre são alvo de furtos devido ao alto valor de mercado desse metal. Interrupções por essa razão não são incomuns, especialmente em regiões rurais que, por serem pouco movimentadas, facilitam a ação dos ladrões. Em muitas localidades, condutores de alumínio, de menor valor comercial, estão substituindo os de cobre furtados, de modo a desestimular a prática

Uma forma comum de vandalismo ocorre quando pessoas atiram em equipamentos da instalação como prática de tiro ao alvo. Pode-se destacar o problema com buchas e isoladores de cerâmica, cuja destruição pode valer como recompensa pela boa pontaria. Em algumas instalações foi verificado que as

interrupções diminuíram após a troca por isoladores e buchas poliméricos (Brown, 2002).

Outro problema ocorre quando balas perfuram os ventiladores do radiador do transformador. Vazamentos de óleo resultantes podem causar superaquecimento, falhas internas e preocupações ambientais (Brown, 2002).

Existem ainda, em alguns países, problemas de terrorismo, onde ataques ao setor elétrico são freqüentemente divulgados em jornais.

### 2.3.6 Objetos Estranhos

Uma grande variedade de objetos, considerados estranhos, é encontrada em contato com a rede elétrica e pode fazê-la falhar. Tais objetos são assim chamados porque são estranhos ao sistema elétrico, bem como ao meio ambiente natural.

Dentre esses objetos podem-se citar pandorgas e bolas, que geralmente atingem os condutores devido a crianças que brincam próximo à rede; tapetes e cartazes de propaganda que, por estarem mal presos, voam em condições de vento; sapatos, cadarços, arames, correntes, entre outros que podem ser arremessados contra os condutores, com ou sem intenção de provocar uma interrupção.



Figura 2-5: Calçados na rede elétrica

### **2.3.7 Acidentes**

Acidentes com veículos são um grande problema ao longo das estradas. A colisão de um automóvel com um poste de madeira normalmente resulta na sua inclinação, causando o desalinhamento dos postes e condutores, demandando reparo.

Esses impactos podem resultar em faltas ao provocar curto-circuitos devido ao balanço dos condutores; o desalinhamento imposto aos postes pode diminuir a tração mecânica sobre os condutores, fazendo com que esses se aproximem do solo; e, ainda, os postes podem quebrar totalmente, derrubando parte da estrutura física do sistema.

Os problemas com acidentes podem ser diminuídos com o uso de barreiras de concreto, para proteger os postes, ou com postes de concreto, que são mais resistentes. Outra medida que pode diminuir esse tipo de ocorrência é posicionar os postes em lugares menos propensos a sofrer colisões.

Embora pouco comum, aviões que voam baixo podem causar interrupções ao se chocarem contra a rede – normalmente pequenas aeronaves utilizadas na agricultura. Para prevenir esse tipo de acidente as linhas aéreas podem ser providas de sinalizadores, como bolas coloridas, para aumentar sua visibilidade para os pilotos (Brown, 2002).

### **2.3.8 Outras Empresas**

São assim consideradas as interrupções causadas por outras empresas que não a responsável diretamente pela operação ou manutenção do sistema (ELETROBRÁS, 1982). Aquelas que trabalhem na própria estrutura do sistema de distribuição, como as de telefonia, por exemplo, ou ainda empresas que estejam realizando obras próximo à rede.

Uma das maneiras de uma obra provocar uma interrupção é através de escavação, quando um equipamento cava através de cabos subterrâneos. Para prevenir este tipo de ocorrência as rotas de cabos elétricos deveriam ser identificadas antes de se iniciar qualquer escavação. Em casos extremos, onde é

requisito a alta confiabilidade, os dutos podem ser encerrados em bancos de concreto (Brown, 2002).

### **2.3.9 Vento**

Vento é um termo genérico que identifica o ar em movimento, independente de sua velocidade. Tempestades de vento podem causar contato entre os condutores da rede elétrica ao balançá-los, provocando curto-circuitos e, conseqüentemente, interrupções no fornecimento de energia (Brown, 2002).

Dependendo da intensidade, o vento pode ainda entortar ou derrubar postes (Brown, 2002), principalmente aqueles que já estão velhos e em piores condições. O movimento de postes pode provocar curto-circuitos ou até mesmo o rompimento de condutores. Outra possibilidade é de um vento forte derrubar uma árvore sadia sobre a rede elétrica. Em (Chowdhury e Koval, 2009) é considerado como adverso o vento com velocidade superior a 80 km/h.

Além das falhas originadas diretamente pela força do vento, sua interação com o meio ambiente aumenta as chances de galhos ou objetos estranhos se chocarem contra a rede. Entretanto, nesses casos a causa da falha não é o vento, mas a falta de poda ou existência de objetos estranhos ao sistema em local inadequado.

### **2.3.10 Perda de Suprimento**

Uma falha no sistema de transmissão ou na subestação resultará na falta de energia para o sistema de distribuição. Neste caso a falha não provém do sistema de distribuição e nada pode ser feito pelas equipes que neste operam.

Interrupções de fornecimento ocorridas no sistema supridor podem ocorrer devido a problemas como diminuição da frequência em função de um aumento de carga, tensão fora dos limites aceitáveis de operação, transitório no sistema de transmissão, entre outros (Tronchoni, 2008).

### **2.3.11 Sobrecarga**

Quando o sistema não tem condições de atender à demanda de energia solicitada pelos consumidores, espera-se que os equipamentos de proteção contra sobrecorrentes atuem, interrompendo o fornecimento de energia.

Nessas circunstâncias a causa da falha pode ser definida como sendo uma sobrecarga ou, em outras palavras, a incapacidade do sistema em atender o que lhe é requisitado. Tal insuficiência pode ser atribuída a erros de planejamento quando este não previu adequadamente ou não percebeu o crescimento da demanda.

Fatores como época do ano e hora do dia podem ter influência sobre o aumento da demanda e a conseqüente sobrecarga do sistema de distribuição. Foi observado, em análise realizada com um banco de dados de uma empresa de energia, que a ocorrência de interrupções por sobrecarga é consideravelmente maior no período da tarde com relação ao restante do dia, e maior no verão com relação às outras épocas do ano.

Pode-se optar, em certas ocasiões, por tolerar certos níveis de sobrecarga, admitindo a operação de alguns equipamentos além de suas capacidades nominais, aumentando assim a confiabilidade momentânea do sistema. Em contrapartida, tal medida diminui a vida útil dos componentes envolvidos, especialmente transformadores devido ao aumento de temperatura resultante do acréscimo de corrente (Brown, 2002).

### **2.3.12 Erro de operação**

É considerado erro de operação qualquer falha causada por funcionários da própria empresa distribuidora de energia, ao atuarem em alguma atividade na operação do sistema, como manutenção, por exemplo, cometam algum erro que resulte em uma interrupção no fornecimento.

### **2.3.13 Subtensão ou Sobretensão**

Quando por alguma razão o sistema elétrico falha em manter a tensão dentro dos níveis estabelecidos para o fornecimento, causando a atuação de algum componente de proteção.

### **2.3.14 Temperatura Extrema**

Além do aumento na demanda por energia elétrica para alimentar aos aparelhos condicionadores de ar, temperaturas elevadas causam problemas aos equipamentos utilizados no sistema de distribuição. Situações de extremo calor, durante períodos prolongados, podem causar dilatamento excessivo nos condutores e, ainda, sobrecarga nos transformadores devido a problemas de refrigeração.

Por outro lado – e mesmo que incomum no cenário nacional –, temperaturas extremamente negativas junto com queda de neve podem causar congelamento nos condutores, e por conseqüência, aumento em seu peso e em sua área exposta ao vento, o que os pode levar ao rompimento.

### **2.3.15 Poluição ou Maresia**

Tanto a poluição quanto a maresia podem promover a degradação de componentes do sistema elétrico como isoladores e condutores, por exemplo. Componentes degradados tendem a falhar e, no caso da aplicação em sistemas elétricos, provocar curto-circuitos.

### **2.3.16 Deslizamento ou Erosão**

Deslizamento e erosão podem causar a inclinação ou queda de estruturas que compõem o sistema elétrico, tais como postes e estais. Esse tipo de

ocorrência pode provocar problemas como curto-circuitos e rompimento dos condutores.

## **2.4 Banco de Dados**

A base para as análises realizadas neste trabalho são as interrupções não programadas ocorridas em uma região, que abrange 76 municípios, do estado do Rio Grande do Sul. Para tal, utiliza-se um banco de dados fornecido pela empresa responsável pela distribuição de energia elétrica na região, com informações a respeito desses eventos, obtidas localmente em cada ocorrência entre abril de 2005 e abril de 2006, envolvendo 384 alimentadores.

É a partir dessas informações que se busca inferir quanto à causa responsável por cada falha. Contudo, o banco de dados está longe de um modelo ideal que permita refletir de maneira clara e objetiva sobre as circunstâncias envolvidas em cada evento.

Um grande problema observado é a pouca qualidade das informações obtidas. As equipes de campo, que são deslocadas aos locais das ocorrências, nem sempre têm experiência e conhecimento acerca dos fenômenos que provocam falhas na rede, de modo que muitas vezes apontem dados equivocados e incoerentes. Um erro comum verificado é a indicação de alguma consequência como sendo a própria causa da falha, como no caso de elementos de interrupção que atuaram ou foram danificados em função do funcionamento anormal do sistema, por exemplo.

Outro fato que contribui para a falta de qualidade das informações do banco de dados é o objetivo imposto aos eletricitas, que geralmente é restaurar o sistema com a maior brevidade possível (Pretto, 2005), sem “perder tempo” com anotações, e dirigir-se ao próximo ponto com problema.

A mesma base de dados é utilizada por Tronchoni (Tronchoni, 2008), que promove uma mineração dos dados no intuito de obter informações mais consistentes sobre as ocorrências. A mineração promovida resulta no encolhimento da base de dados, de um inicial de 803.737 para 26.283 ocorrências consideradas válidas para suas análises.

Observa-se, ainda, que há grande escassez de informações disponíveis na estrutura do banco de dados utilizado, o qual traz as seguintes anotações sobre cada evento:

- cidade, data e horário;
- elemento de interrupção – a partir do qual o fornecimento foi interrompido;
- tempo – tempo bom, neblina, chuva, neve ou granizo, temporal;
- causa – a causa da interrupção, apontada pelo eletricista enviado ao local para fazer o reparo.

As rotinas (de obtenção de dados) carecem de uma padronização, que organize de modo eficiente os dados colhidos. Diversas informações, que poderiam ser obtidas com facilidade pela equipe deslocada para restaurar o fornecimento, são simplesmente ignoradas. A referência (Pretto, 2005) propõe a utilização de uma estrutura de dados e um questionário hierárquico para ser utilizado na fase de inspeção no local do evento.

A partir das possíveis causas de falhas, discutidas anteriormente, pode-se traçar um perfil do sistema de modo a representar suas condições perante os fenômenos que ameaçam a continuidade de seu funcionamento. Algumas informações simples, que poderiam ser obtidas por mera inspeção visual, são bastante úteis para melhor detalhamento e compreensão dos problemas enfrentados. Desse modo, seria conveniente o banco de dados trazer campos com informações associadas aos tipos de problemas que o sistema enfrenta, o que facilitaria a identificação das causas de falhas.

Outra benfeitoria que poderia ser adicionada à base de dados é a utilização de dados provenientes do SCADA, tais como, intensidade de corrente, sub e sobretensão que aconteceram e a quais alimentadores estão relacionadas. Esta informação adicional permite reforçar a identificação da causa de um evento.

A resultante baixa qualidade dos dados, mesmo que obtidos a partir de um banco de dados com muitas ocorrências, implica em poucas informações úteis sobre as mesmas. Em outras palavras, o que se verifica é uma base repleta de dados, porém carente de informações, as quais poderiam ser muito úteis na promoção de melhorias no sistema.

## 3 O PROCESSO ANALÍTICO HIERÁRQUICO – AHP

Pessoas tomam decisões o tempo todo em seu cotidiano, intuitivamente, a partir das preferências e necessidades que lhes são intrínsecas. Tudo o que se faz, consciente ou inconscientemente, é resultado de alguma decisão (Saaty, 2008). O cérebro é treinado para fazer escolhas de acordo com o objetivo individual, em cada situação enfrentada.

O processo de tomada de decisões envolve critérios e alternativas. Os critérios normalmente têm importância diferente e as alternativas, por sua vez, diferem de acordo com a preferência com relação a cada critério (Saaty, 2004). Para avaliar tais critérios e alternativas é necessária uma maneira de medir seus impactos sobre o objetivo. Esta tarefa exige um bom entendimento de métodos de medição e diferentes escalas de medição.

É comum pensar que medição necessita de uma escala física com um zero e unidade para aplicar aos objetos ou fenômenos, o que nem sempre é verdade. Pode-se também construir escalas relativas, acuradas e confiáveis, sem um zero ou unidade, a partir do conhecimento particular através de julgamento subjetivo. Na verdade as pessoas fazem isso o tempo todo sem que isso seja percebido (Saaty, 2004).

A confiabilidade do julgamento depende do quanto a pessoa conhece o fenômeno que está avaliando e de quão boa é sua capacidade de julgamento para representar cada situação. Em geral, sabe-se que há pessoas que sabem mais que outras em determinadas áreas e seus julgamentos devem, portanto, ter

preferência em relação aos daqueles que sabem menos sobre o assunto em questão.

A partir da análise conjunta dos critérios e alternativas envolvidos, chega-se a uma decisão considerada a melhor dentre as possíveis, ou seja, aquela cujo efeito esperado é o mais próximo do desejado.

Existem alguns métodos que permitem construir modelos para ajudar no processo de tomada de decisão, inclusive considerando incertezas de maneira similar ao raciocínio humano. Bons exemplos disso, e já bastante difundidos, são as Redes Neurais Artificiais e a Lógica Fuzzy.

Uma recente maneira de abordagem para problemas decisórios se caracteriza por tratá-los à luz de vários critérios. Os métodos que utilizam tal abordagem têm sido denominados na literatura como Auxílio Multicritério à Decisão – AMD, *Multicriteria Decision Making* – MCDM, e *Multicriteria Decision Aid* – MCDA. “Uma das principais e mais atraentes características das metodologias de AMD, é que as mesmas reconhecem a subjetividade como inerente aos problemas de decisão e utilizam julgamento de valor como forma de tratá-la cientificamente” (Costa, 2002). Outra característica atrativa desses métodos é a possibilidade de decomposição e estruturação de um problema inteiramente empírico em um processo analítico.

Dentre os métodos de AMD, pode-se destacar o *Analytic Hierarchy Process* – AHP, que permite formular um modelo e, com base neste, determinar uma solução aproximada para problemas com múltiplas escolhas quando não há um método determinístico que permita encontrar uma solução exata.

Baseado em conceitos de matemática e de psicologia, foi desenvolvido na década de 70, por Thomas L. Saaty, e tem sido extensivamente estudado e refinado desde então. Foi um dos primeiros métodos dedicados à decisão multicritério (Baracas e Machado, 2006), e é um dos mais conhecidos e difundidos (Costa, 2002).

O AHP é um método de apoio à tomada de decisão que oferece uma abordagem simplificada e intuitiva a problemas complexos através de sua decomposição hierárquica, “especialmente apropriado para casos que envolvem ambas as análises qualitativa e quantitativa” (Momoh e Zhu, 1998).

O método AHP tem sido aplicado na solução problemas em diversas áreas, tais como engenharia de produção e civil (Costa, 2002) (Baracas e Machado,

2006), economia e administração (Yang et. al, 2008) (Nunes Jr., 2006), entre outros. Na área de engenharia elétrica o método foi utilizado para abordar questões de manutenção de linhas de transmissão (Lin et. al, 2006), seleção de opções de fontes de geração (Akash et. al, 1999), otimização de potência reativa (Zhu et. al, 1998), despacho de geração (Momoh e Zhu, 2003) e alocação de unidades (Momoh e Zhu, 1998).

Não foram encontradas publicações que utilizassem o AHP na abordagem à identificação de causas de desligamentos não programados. Dessa forma, este trabalho apresenta uma contribuição inédita para a área de sistemas de energia.

### **3.1 Hierarquias**

Freqüentemente, quando se analisa uma estrutura de interesse, o número de entidades e suas relações aumentam além da habilidade do pesquisador compreender as partes distintas da informação (Saaty, 1980). Em tais situações, o sistema pode ser subdividido em subsistemas de modo a facilitar o processo de compreensão, uma vez que se pode analisar apenas um pequeno subsistema de cada vez e, ao final das análises divididas e simplificadas, encontrar um resultado sobre o sistema inteiro.

Uma hierarquia é um tipo particular de sistema, baseado no conceito de que as entidades identificadas podem ser agrupadas em conjuntos distintos, com as entidades de um grupo influenciando apenas as de outro grupo, e sendo influenciadas apenas pelas de outro (Saaty, 1980). Cada um desses grupos representa um nível na estrutura hierárquica do problema.

O método AHP é baseado na decomposição do problema em uma hierarquia. Sendo assim, para uma aplicação exitosa do método, é de relevância fundamental que a hierarquia represente um modelo fiel da situação real.

Para um modelo explicativo do método, pode-se definir alguns elementos que devem fazer parte da estrutura hierárquica (Saaty, 2008):

- objetivo – é o elemento que fica no topo da estrutura. Representa o problema que se espera solucionar, como a causa que se espera

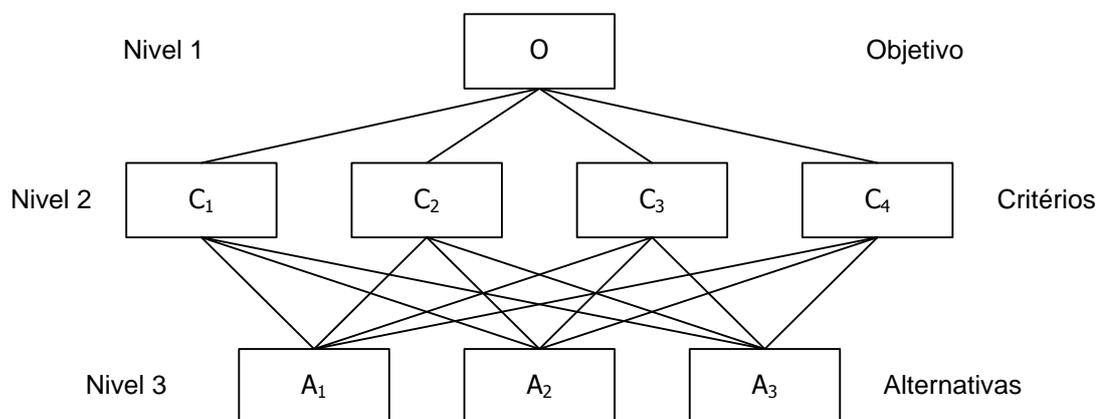
encontrar para um evento de falha do sistema de distribuição de energia elétrica, por exemplo;

- critérios – situados no nível da estrutura imediatamente abaixo do objetivo, são os fatores considerados por exercer influência sobre o objetivo. Podem ser ainda divididos em subcritérios, localizados em um nível abaixo na hierarquia e conectados apenas ao critério em questão;
- alternativas – situadas no último nível da hierarquia, são as opções possíveis, das quais uma será apontada como a provável solução para o problema ou decisão a ser tomada. Todas as alternativas devem estar conectadas a todos os elementos do nível imediatamente superior da estrutura.

A estrutura hierárquica pode ser composta por mais níveis, além dos três (ou quatro) comentados, contanto que mantenha uma hierarquia que represente o problema de maneira real e lógica e permita sua resolução de maneira intuitiva.

A Figura 3-1 exemplifica a estrutura de um problema onde são considerados quatro critérios [ $C_1$   $C_2$   $C_3$   $C_4$ ] e três alternativas [ $A_1$   $A_2$   $A_3$ ], relacionados a um objetivo  $O$ .

Esta hierarquia servirá como base para as explanações acerca do AHP na seqüência do texto. Foi escolhida uma hierarquia com estas dimensões por ser uma estrutura que permite ilustrar o funcionamento do método de maneira simples e clara, demonstrando comparações entre três e quatro elementos, como será comum nos problemas estudados neste trabalho.



**Figura 3-1: Exemplo de Estrutura Hierárquica do AHP**

Pode-se observar na hierarquia como os elementos relacionam-se com cada um dos elementos subsequentes. O *Analytic Hierarchy Process* avalia “o impacto de cada elemento sobre um nível adjacente superior, através da decomposição de contribuições relativas dos elementos naquele nível com respeito aos elementos do nível adjacente” (Saaty, 1980).

### 3.2 Processo de Medidas e Julgamentos

Quando um assunto trata de um evento envolvendo diversas sensações, essas devem ser relacionadas mentalmente de maneira que seja possível distinguir corretamente o efeito de cada uma sobre todo o conjunto (Saaty e Ozdemir, 2003).

Normalmente julgamentos e medidas são feitos com base em alguma escala física como, por exemplo, medidas de temperatura, comprimento, entre outras. No AHP as medidas são feitas a partir de comparações pareadas entre os elementos de um mesmo nível.

As comparações pareadas devem ser realizadas entre todos os elementos de cada nível, relacionadas a cada um dos elementos do nível imediatamente acima na hierarquia.

Tomando como exemplo a estrutura montada na Figura 3-1, pode-se demonstrar como tais comparações devem ser efetuadas. Na hierarquia em questão, todos os critérios –  $C_1$ ,  $C_2$ ,  $C_3$  e  $C_4$ , no nível 2 – serão comparados entre si, chegando-se à influência relativa de cada um sobre o objetivo – nível 1, imediatamente acima na estrutura. De maneira análoga, as alternativas –  $A_1$ ,  $A_2$  e  $A_3$ , no nível 3 – serão comparadas entre si, de modo a obter a influência de cada uma sobre cada um dos critérios. É importante observar que as comparações entre as alternativas serão realizadas, neste caso, quatro vezes: uma à luz de cada elemento do nível acima, obtendo-se o peso relativo de cada uma das alternativas sobre cada um dos elementos do nível superior da hierarquia.

### 3.2.1 Escala de Comparações

As comparações refletem a dominância ou prioridade de um elemento sobre o outro. Torna-se necessária a existência de uma escala capaz de atribuir valores matemáticos que demonstrem a contribuição de cada elemento do nível. O AHP adota uma escala na qual a preferência de um elemento sobre outro podem ser atribuídos valores que variam de 1 a 9, cujos significados são explanados na Tabela 3-1.

**Tabela 3-1 – Representação numérica das comparações paritárias**

<b>Intensidade de Importância</b>	<b>Definição</b>	<b>Explicação</b>
1	Mesma importância	Os dois elementos contribuem igualmente para o objetivo.
3	Importância pequena de uma sobre a outra	A experiência e o julgamento favorecem levemente um elemento em relação ao outro.
5	Importância grande ou essencial	A experiência e o julgamento favorecem fortemente um elemento em relação ao outro.
7	Importância muito grande ou demonstrada	Um elemento é muito fortemente favorecido em relação ao outro; sua dominação de importância é demonstrada na prática.
9	Importância absoluta	A evidência favorece um elemento em relação ao outro com o mais alto grau de certeza.
2,4,6 e 8	Valores intermediários	Quando se procura uma condição de compromisso entre duas definições.

Os valores dessa escala provêm da conjectura de que o limite psicológico da capacidade humana para processar comparações entre elementos interagindo simultaneamente, com acurácia confiável, é de sete mais ou menos dois (Saaty e Ozdemir, 2003).

Observa-se que a capacidade para se fazer distinções qualitativas é bem representada por cinco atributos: igual, fraco, forte, muito forte e absoluto. Objetivando-se uma maior precisão, podem ser estabelecidos valores intermediários entre atributos adjacentes (Saaty, 1980), chegando-se assim à escala apresentada, com nove distinções possíveis para comparar os elementos

### 3.2.2 Questionários para Julgamentos

Tendo sido definida a escala utilizada pelo método, é necessário determinar uma maneira para atribuir os valores nas comparações. Um modo simples e eficaz de se obter estas comparações é através de questionários como o apresentado pela Figura 3-2.

	Absoluta	Muito Forte	Forte	Fraca	Igual ou Indiferente	Fraca	Forte	Muito Forte	Absoluta	
C1	___	___	___	___	___	___	___	___	___	C2
C1	___	___	___	___	___	___	___	___	___	C3
C1	___	___	___	___	___	___	___	___	___	C4
C2	___	___	___	___	___	___	___	___	___	C3
C2	___	___	___	___	___	___	___	___	___	C4
C3	___	___	___	___	___	___	___	___	___	C4

**Figura 3-2: Questionário para Comparações entre os Critérios**

No questionário apresentado pela Figura 3-2 podem ser realizadas as comparações entre os quatro critérios definidos no caso do exemplo introduzido pela Figura 3-1.

No exemplo são necessários, ainda, outros quatro questionários similares para realizar as comparações entre as alternativas, cada um medindo a influência dessas com relação a um dos quatro critérios, conforme a Figura 3-3.

	Absoluta	Muito Forte	Forte	Fraca	Igual ou Indiferente	Fraca	Forte	Muito Forte	Absoluta	
A1	___	___	___	___	___	___	___	___	___	A2
A1	___	___	___	___	___	___	___	___	___	A3
A2	___	___	___	___	___	___	___	___	___	A3

**Figura 3-3: Questionário para Comparações entre as Alternativas**

### 3.2.3 Quantidade de Julgamentos

O número de comparações a serem realizadas na solução do AHP é claramente dependente do número de combinações possíveis entre os

elementos. É notório que o número possível de combinações entre  $n$  elementos tomados  $p$  a  $p$  é dado por

$$C_p^n = \binom{n}{p} = \frac{n!}{p!(n-p)!} \quad 3-1$$

Como no caso do método AHP as comparações são pareadas, isto é, realizadas tomando-se os elementos 2 a 2, o número de combinações possíveis será definido por

$$C_2^n = \binom{n}{2} = \frac{n!}{2(n-2)!} \quad 3-2$$

O que pode, nesta circunstância, ser simplificado por

$$C_2^n = \frac{n(n-1)}{2} \quad 3-3$$

Cabe lembrar que este é o número de combinações entre elementos de um mesmo nível, comparados à luz de apenas um elemento do nível acima da hierarquia. Assim, essas comparações serão realizadas uma vez para cada um dos elementos do nível imediatamente superior.

Isto significa que em uma hierarquia como a exemplificada pela Figura 3-1, as comparações entre os critérios –  $C_1$ ,  $C_2$ ,  $C_3$  e  $C_4$  – serão realizadas apenas uma vez, pois existe apenas um elemento no nível superior – o objetivo,  $O$  –, enquanto que as comparações entre as alternativas –  $A_1$ ,  $A_2$  e  $A_3$  – serão realizadas quatro vezes, cada relacionada a um dos elementos do nível superior – os critérios  $C_1$ ,  $C_2$ ,  $C_3$  e  $C_4$ .

### 3.3 Matrizes de comparação

O passo seguinte é montar, a partir dos valores obtidos, a matriz das comparações, denominada matriz **A**, a qual será de dimensão  $n \times n$ , onde  $n$  é igual ao número de elementos comparados.

Nessa matriz, cada elemento –  $w_i$  ou  $w_j$  – comparado está associado a uma linha  $i$  e a uma coluna  $j$ , de modo que o valor da dominância do elemento  $i$  sobre o elemento  $j$  está representado pelo elemento matricial  $a_{ij}$ , ou seja,

$$a_{ij} = \frac{w_i}{w_j} \quad 3-4$$

Dessa maneira, tem-se que a matriz de julgamentos é uma matriz recíproca, cujos elementos têm a seguinte relação:

$$a_{ji} = \frac{1}{a_{ij}} \quad 3-5$$

As matrizes utilizadas no AHP são construídas a partir das comparações paritárias, baseadas na escala introduzida pela Tabela 3-1 e seus recíprocos. Isso significa que não haverá elementos negativos nem zeros compondo-as, de modo que as matrizes serão sempre positivas e irreduzíveis.

Todos os julgamentos de dominância entre os elementos são quantificados e representados na matriz de julgamentos, conforme pode ser observado em 3-6, onde é demonstrada a matriz resultante das comparações entre quatro elementos  $[w_1 w_2 w_3 w_4]$ .

$$A = \begin{matrix} & w_1 & w_2 & w_3 & w_4 \\ \begin{matrix} w_1 \\ w_2 \\ w_3 \\ w_4 \end{matrix} & \begin{bmatrix} 1 & a_{12} & a_{13} & a_{14} \\ 1/a_{12} & 1 & a_{23} & a_{24} \\ 1/a_{13} & 1/a_{23} & 1 & a_{34} \\ 1/a_{14} & 1/a_{24} & 1/a_{34} & 1 \end{bmatrix} \end{matrix} \quad 3-6$$

No caso da hierarquia exemplo, mostrada na Figura 3-1, haveria uma matriz, de dimensão  $4 \times 4$ , representando as comparações entre os quatro critérios; e quatro matrizes, de dimensão  $3 \times 3$ , representando as comparações entre as três alternativas, uma à luz de cada um dos critérios.

### 3.4 Vetor de Prioridades

Tendo sido montadas as matrizes das comparações, o passo seguinte é encontrar o peso relativo de cada um dos elementos em comparação, em cada uma dessas matrizes. Para tal, o principal autovetor – à direita – da matriz é calculado e, quando normalizado, representa o peso de cada um dos elementos na comparação. Entretanto, no método AHP, o autovetor à direita associado ao autovalor principal da matriz é aproximado a partir de operações matemáticas elementares, simplificando sua obtenção.

O primeiro passo para definir esse vetor, de acordo com o que define o autor do método (Saaty, 1980), é remontar a matriz  $A$  através da normalização de suas colunas. A matriz normalizada, aqui definida como ' $N$ ', tem seus elementos definidos conforme descreve a equação 3-7.

$$n_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sum_{i=1}^n a_{ij}} \quad 3-7$$

Assim, a matriz  $N$ , gerada a partir da normalização das colunas da matriz  $A$  apresentada pela equação 3-6, será:

$$N = \begin{bmatrix} n_{11} & n_{12} & n_{13} & n_{14} \\ n_{21} & n_{22} & n_{23} & n_{24} \\ n_{31} & n_{32} & n_{33} & n_{34} \\ n_{41} & n_{42} & n_{43} & n_{44} \end{bmatrix} \quad 3-8$$

O peso relativo de cada uma das opções representadas em cada linha da matriz  $A$  é obtido extraindo-se a média aritmética das linhas da matriz  $N$ , da maneira descrita na equação 3-9.

$$w_i = \frac{\sum_{j=1}^n n_{ij}}{n} \quad 3-9$$

Desse modo, o vetor que fornece o peso de cada elemento em comparação será representado por

$$w = \begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \vdots \\ w_n \end{bmatrix} \quad 3-10$$

Este processo resulta em um vetor normalizado que apresenta as prioridades das alternativas representadas em cada linha da matriz. Essa aproximação fornece uma estimativa muito próxima aos valores reais do autovetor procurado, quando a matriz é composta por julgamentos consistentes, o que será demonstrado posteriormente.

Como todos os elementos do problema estão inter-relacionados entre si através da estrutura hierárquica, os pesos relativos de cada elemento são preservados no sistema completo.

Dessa maneira, no caso da estrutura exemplificada pela Figura 3-1, haveria um vetor representando a prioridade de cada um dos Critérios –  $C_1$   $C_2$   $C_3$   $C_4$  – sobre o Objetivo –  $O$  –, e quatro vetores representando a prioridade de cada Alternativa –  $A_1$   $A_2$   $A_3$  – sobre cada um dos critérios. A prioridade de cada uma das Alternativas sobre o Objetivo é obtida através do somatório entre seu peso relativo sobre cada Critério e o peso do Critério sobre o Objetivo, conforme define a expressão

$$W_i = \sum_{j=1}^n w_{A_{ij}} \times w_{C_j} \quad 3-11$$

Onde:

- $w_{C_j}$  é o peso do critério  $C_j$  sobre o objetivo  $O$ ;
- $w_{A_{ij}}$  é o peso da alternativa  $A_i$  sobre o critério  $C_j$ ;
- $W_i$  é o peso ponderado da alternativa  $A_i$  sobre o objetivo  $O$ .

Os valores de prioridades encontrados podem ser apresentados em uma única tabela, de modo a serem visualizados lado a lado. No caso da estrutura da Figura 3-1, as prioridades seriam apresentadas conforme a Tabela 3-2.

Tabela 3-2 – Pesos dos elementos nas comparações

	$C_1$	$C_2$	$C_3$	$C_4$	Vetor de Prioridades – $W$
$O$	$wC_1$	$wC_2$	$wC_3$	$wC_4$	$W$
$A_1$	$wA_{11}$	$wA_{12}$	$wA_{13}$	$wA_{14}$	$W_1$
$A_2$	$wA_{21}$	$wA_{22}$	$wA_{23}$	$wA_{24}$	$W_2$
$A_3$	$wA_{31}$	$wA_{32}$	$wA_{33}$	$wA_{34}$	$W_3$

O vetor  $W$  apresenta a solução em valores percentuais, que representam a probabilidade de cada elemento comparado ser a melhor resposta ao problema. Este processo fornece uma estimativa muito próxima aos valores reais do autovetor procurado, quando a matriz é composta por julgamentos consistentes, o que será demonstrado em seguida.

### 3.5 Análise de Consistência

Apesar de os julgamentos realizados no AHP serem subjetivos, o método permite que estes sejam analisados quanto a sua consistência.

Conforme observado anteriormente, a matriz de comparações é recíproca, o que significa que  $a_{ij} = 1/a_{ji}$ , conforme a equação 3-5. Isso significa que, se os julgamentos forem perfeitos em todas as comparações, a equação 3-12 é válida para quaisquer  $i, j$  e  $k$ , e a matriz é dita absolutamente consistente (Saaty, 1980).

$$a_{ik} = a_{ij} \times a_{jk} \quad \text{3-12}$$

Entretanto, os julgamentos são realizados de maneira subjetiva, de modo que a igualdade sugerida pela equação 3-12 geralmente não é verificada. Isso não significa que os julgamentos sejam inconsistentes ou que o vetor de prioridades não represente a resposta adequada ao problema.

O AHP oferece uma maneira para analisar a consistência dos julgamentos realizados, baseada no autovalor principal da matriz de comparações. Esse autovalor é obtido a partir da propriedade matricial demonstrada na seguinte expressão

$$A \times w = \lambda \times w \quad \text{3-13}$$

Assim sendo, dada uma matriz de comparações  $A$  de ordem  $n$ , cujas prioridades relativas dos elementos é dada pelo autovetor à direita  $w$ , tem-se que  $\lambda_1, \lambda_2 \dots \lambda_n$  são os autovalores que satisfazem as propriedades da equação 3-13, expandida em 3-14.

$$\begin{bmatrix} 1 & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ 1/a_{12} & 1 & \dots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 1/a_{1n} & 1/a_{2n} & \dots & 1 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \vdots \\ w_n \end{bmatrix} = [\lambda_1 \quad \lambda_2 \quad \dots \quad \lambda_n] \times \begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \vdots \\ w_n \end{bmatrix} \quad \text{3-14}$$

Os autovalores  $\lambda_i$  são calculados conforme a equação 3-15.

$$\lambda_i = \frac{\sum_{j=1}^n a_{ij} \times w_j}{w_i} \quad \text{3-15}$$

E o valor aproximado de  $\lambda_{max}$  será, finalmente, a média aritmética entre os valores de  $\lambda_i$ , isto é,

$$\lambda_{max} = \frac{\sum_{i=1}^n \lambda_i}{n} \quad \text{3-16}$$

Esta aproximação resulta em valores bastante acurados. Verificou-se que a diferença entre o valor de  $\lambda_{max}$  aproximado e o obtido analiticamente é inferior a 1% para matrizes consistentes, e é nula quando a matriz de comparações é absolutamente consistente, conforme definido na equação 3-12.

Saaty (Saaty, 1980) provou que em matrizes absolutamente consistentes o autovalor principal é igual à dimensão da matriz –  $\lambda_{max} = n$  – e os demais autovalores têm valor nulo. Qualquer perturbação nos julgamentos  $a_{ij}$  da matriz de comparações resulta em um desvio no  $\lambda_{max}$  (Wolf, 2008). Entretanto, se a matriz for consistente, pequenas variações de  $a_{ij}$  mantêm o maior autovalor próximo de  $n$  e os autovalores restantes próximos de zero (Saaty, 1980). É a

partir deste desvio no autovalor principal que se obtém o desvio de consistência nos julgamentos realizados.

Verifica-se, para as matrizes obtidas a partir das comparações – que são matrizes positivas, recíprocas e irredutíveis – que o autovalor principal sempre obedece à relação dada por

$$\lambda_{max} \geq n \quad \mathbf{3-17}$$

Desse modo, quando os julgamentos são consistentes, os valores aproximados para o principal autovalor e o autovetor à direita a este associado satisfazem à condição requerida para o sistema matricial, reescrita como

$$Aw = \lambda_{max}w \quad \mathbf{3-18}$$

A definição de matriz consistente ou inconsistente é relacionada ao desvio do autovalor principal com relação à ordem da matriz. O AHP dispõe de um método para determinar se esse desvio é aceitável ou não, ou seja, se os julgamentos são consistentes ou não.

O primeiro passo é calcular Índice de Consistência – CI ou  $\mu$ , através da expressão

$$\mu = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \quad \mathbf{3-19}$$

A média do índice  $\mu$ , encontrada a partir de amostragens suficientemente grandes realizadas para matrizes recíprocas positivas, preenchidas aleatoriamente com os valores definidos na escala de comparações, fornece outro índice, denominado Índice Randômico de Consistência – *RI*. Simulações realizadas com matrizes de ordens de 1 a 15, no Laboratório Nacional de Oak Ridge<sup>1</sup> e na Universidade de Wharton<sup>2</sup>, com amostras de tamanhos 100 e 500,

---

<sup>1</sup> O *Oak Ridge National Laboratory* é um laboratório de ciência e tecnologia administrado pelo Departamento de Energia dos Estados Unidos, encontrado em <http://www.ornl.gov/>.

<sup>2</sup> A Universidade de Wharton da Pensylvania é encontrada em <http://www.wharton.upenn.edu/>.

respectivamente, resultaram nos valores apresentados na Tabela 3-3 (Saaty, 1980).

**Tabela 3-3 – Índice Randômico de Consistência – RI**

<i>n</i>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
<i>RI</i>	0.00	0.00	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49	1.51	1.48	1.56	1.57	1.59

Finalmente, a consistência ou não dos julgamentos é concluída a partir de um terceiro índice, denominado Taxa de Consistência – *CR*, definido como a razão entre  $\mu$  e *RI*, calculado como

$$CR = \frac{\mu}{RI} \quad \text{3-20}$$

A decisão apontada é considerada suficientemente consistente se o valor de *CR* for inferior a 0,10. Caso contrário, as comparações devem ser revisadas, pois há alguma informação incoerente nos julgamentos.

Pode-se ainda generalizar a medida de consistência, aplicando-a à estrutura hierárquica inteira. O que se tem de fazer é adaptar a equação 3-20, aplicando nessa a soma dos valores ponderados dos índices de ambos numerador e denominador.

Em outras palavras, o Índice de Consistência –  $\mu$  – de cada matriz deve ser multiplicado pelo peso do elemento à luz do qual a matriz fora montada. A soma dos valores encontrados para todas as matrizes forma o numerador da equação, ponderado para a hierarquia completa. O denominador pode ser obtido de maneira análoga, multiplicando-se o Índice Randômico de Consistência – *RI* – de cada matriz pela prioridade do elemento base de comparação, e então se somando este ao valor encontrado para todas as matrizes, o que resulta em

$$CR_{total} = \frac{\sum_1^k \mu_k}{\sum_1^k RI_k} \quad \text{3-21}$$

Onde o índice *k* representa o a quantidade de matrizes de comparações montadas para a hierarquia.

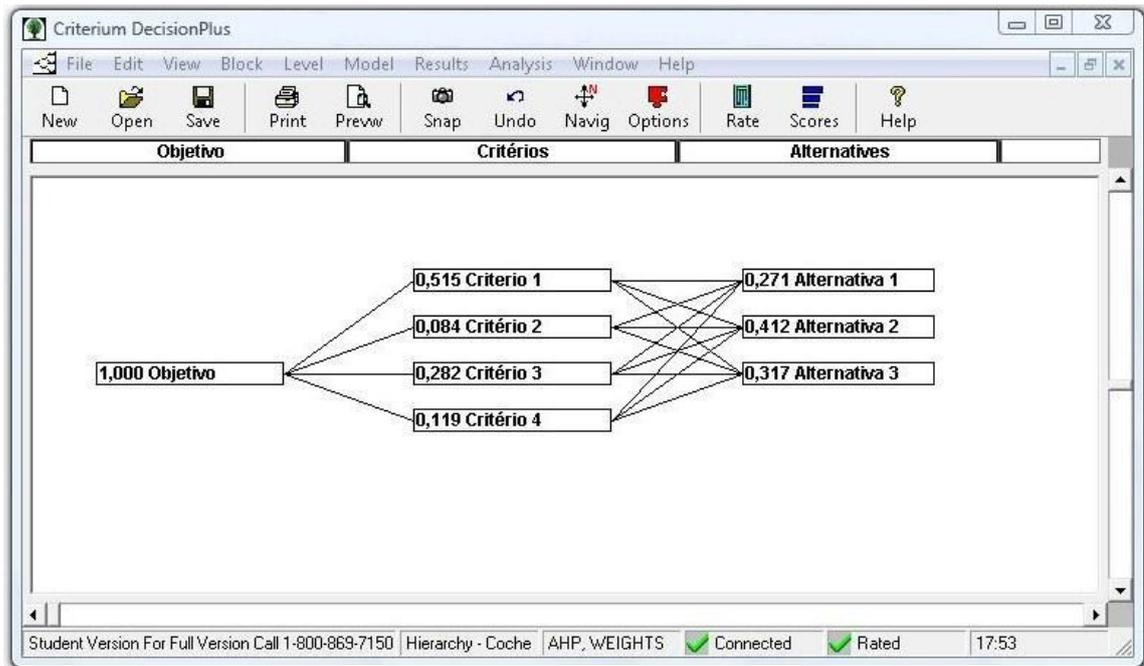
Fica evidente que o numerador será simplesmente a soma dos índices RI considerados em cada um dos níveis, uma vez que o somatório das prioridades dos elementos será sempre unitário. Este índice representa a medida de consistência da hierarquia inteira, considerando o peso das medidas obtidas em cada matriz de julgamentos (Saaty, 1980).

### **3.6 Avaliação do AHP**

Para avaliar o funcionamento e o comportamento do AHP foram realizados testes em exemplos construídos com tal finalidade, representando diversas situações, de modo a comprovar as afirmações feitas sobre o método. Foram analisados os resultados encontrados nos problemas, a sensibilidade dos resultados frente a variações nos julgamentos, a capacidade de identificar julgamentos incoerentes, o comportamento dos autovalores, comparações entre os autovetores aproximados pelo método e os encontrados analiticamente.

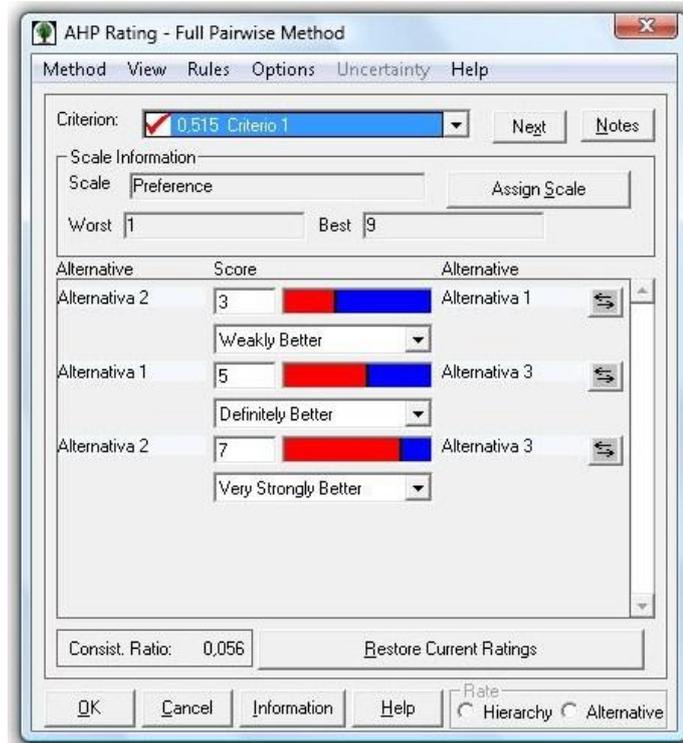
Inicialmente, para se conhecer o comportamento do método, foi utilizado o programa computacional *Criterium DecisionPlus* – CDP (CDP), que oferece uma interface para resolver problemas de múltiplos critérios utilizando o método AHP.

O *software* permite estruturar a hierarquia para um problema, com as conexões entre Objetivo, Critérios e Alternativas; apresenta a prioridade de cada Critério e Alternativa sobre o Objetivo geral do problema; demonstra a consistência dos julgamentos enquanto as comparações são realizadas; apresenta graficamente as prioridades das alternativas; entre outras funções oferecidas. A hierarquia é representada em estruturas conforme a apresentada pela Figura 3-4, que corresponde ao problema exemplificado na Figura 3-1.



**Figura 3-4: Hierarquia no Criterium DecisionPlus**

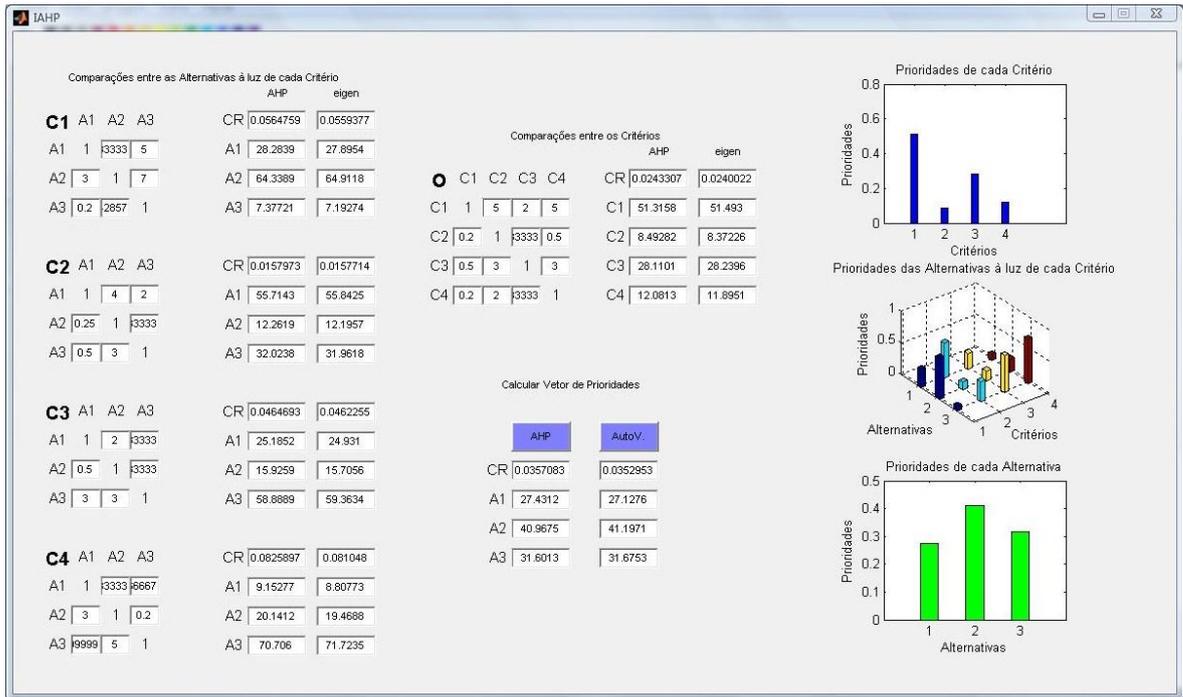
Os julgamentos são realizados através de uma tela como a da Figura 3-5, onde estão exemplificadas as comparações entre as três Alternativas, à luz do Critério 1. Deve-se escolher qual dos elementos é o mais relevante, à luz do Critério em questão, e então apontar quão maior é sua importância sobre o outro elemento. A tela do CDP destinada às comparações oferece ambas as escalas numérica e verbal, conforme a escala AHP apresentada na Tabela 3-1. A tela apresenta ainda, no canto inferior esquerdo, a Taxa de Consistência das comparações, que neste demonstra que os julgamentos são consistentes, pois  $CR = 0,056 < 0,1$ .



**Figura 3-5: Comparações no Criterium DecisionPlus**

Entretanto, o CDP não fornece algumas informações importantes para as análises desejadas acerca do AHP. Não apresenta, por exemplo, os autovalores e autovetores das matrizes de comparações e as prioridades parciais das Alternativas sobre cada Critério. A aplicação dos referidos testes foi, portanto, realizada através de rotinas de programação desenvolvidas no programa computacional MATLAB. As rotinas criadas foram validadas através de comparação dos resultados encontrados com os gerados pelo CDP.

Dentre as diversas rotinas programadas no MATLAB, pode-se destacar, como exemplo ilustrativo, a da Figura 3-6, na qual uma interface gráfica demonstrativa foi desenvolvida para o problema apresentado pela Figura 3-1, já solucionado pelo CDP. Nesta, os quatro Critérios devem ser comparados à luz do Objetivo, e as Alternativas à luz de cada um dos Critérios, diretamente nas matrizes apresentadas na tela.



**Figura 3-6: Interface AHP desenvolvida no MATLAB**

Na interface, são apresentados os resultados dos julgamentos calculados através do AHP e, ao lado, os calculados com os valores de autovalores e autovetores encontrados pelo MATLAB, além da Taxa de Consistência para cada matriz e para o processo completo. São apresentados ainda, nas figuras dispostas à direita, gráficos com as prioridades encontradas: dos Critérios sobre o Objetivo; das Alternativas sobre cada Critério; e das Alternativas sobre o Objetivo.

Através desta interface diversas combinações foram testadas, com objetivo de avaliar o comportamento do AHP à medida que são impostas alterações nos julgamentos.

No Apêndice A é apresentado um exemplo ilustrativo para auxiliar no entendimento do método AHP.

## **4 ORGANIZAÇÃO E IDENTIFICAÇÃO DE CAUSAS**

Neste capítulo é desenvolvida uma aplicação do método AHP para o problema de identificação de causas de falhas em sistemas de distribuição de energia.

No trabalho estão sendo considerados 16 fenômenos como possíveis causas de interrupções não programadas. Para essa quantidade de alternativas, conforme a equação 3-3, seriam necessários questionários com 120 comparações pareadas entre as possíveis causas, à luz de cada critério adotado na hierarquia. Essa quantidade de análises é obviamente impraticável pois, além de muito cansativa, tende a confundir o avaliador, conduzindo-o a inconsistências em seus julgamentos.

Torna-se necessário modelar o problema de maneira a diminuir o número de alternativas em comparação, de modo que seja viável ao avaliador realizar seus julgamentos com coerência e da maneira intuitiva que propõe o AHP, sem ser induzido a confusões no decorrer das comparações.

### **4.1 Organização das Causas de Falhas do Sistema de Distribuição**

Para que se possa empregar a metodologia na identificação das causas responsáveis pelos eventos de interrupção não programada, é necessário

organizá-las de maneira que a aplicação do AHP seja objetiva e intuitiva. Isso significa, no caso do problema de identificação de causas de falhas no sistema de distribuição, diminuir drasticamente o número de elementos em comparação.

A solução encontrada para viabilizar a aplicação do AHP consiste em dividir as 16 possíveis causas em grupos menores, onde se possa apontar inicialmente qual o grupo responsável, de acordo com a natureza do evento e, depois disso, encontrar o fenômeno que desencadeou a falha do sistema de distribuição. O modelo desenvolvido agrupa os fenômenos de acordo com a natureza do problema identificado, dividindo tais fenômenos em quatro grupos, aqui denominados **causas secundárias** – as quais representam o tipo de fenômeno que causou a interrupção. A cada um desses grupos é atribuído um conjunto de **causas primárias** – definição adotada para os fenômenos responsáveis pelos eventos, os quais deram início ao processo que culminou em uma interrupção não programada no fornecimento de energia. Essa organização possibilita a estruturação de uma hierarquia intuitiva para representar o problema, a qual diminui significativamente o número de combinações necessárias durante a solução do problema.

A seguir é apresentada a descrição de cada uma das causas secundárias, de modo a justificar o agrupamento definido e relacionando a esses grupos as causas primárias consideradas da mesma natureza.

#### 4.1.1 Falhas Próprias do Sistema – FPS

É considerado falha própria do sistema qualquer evento originado no próprio sistema elétrico, sem interferência de outros fenômenos.

As causas primárias consideradas como eventos originados no próprio sistema elétrico são as relacionadas abaixo:

- falha em componente –  $fc$ ;
- perda de suprimento –  $ps$ ;
- sobrecarga –  $sc$ ;
- erro de operação –  $er$ ;
- subtensão ou sobretensão –  $dV$ .

### 4.1.2 Tempo Adverso – TAD

O *Tempo* pode ser descrito como as condições em que se encontra a atmosfera em determinados local e período. Essas condições, onde o sistema elétrico está inserido, exercem forte influência sobre seu funcionamento. Intempéries podem causar danos capazes não apenas de interromper o fornecimento de energia, mas também de destruir parte do sistema de distribuição. Sob condições atmosféricas adversas a taxa de falhas de um componente exposto ao tempo pode ser consideravelmente maior que em condições meteorológicas normais (Wang e Billinton, 2002). Interrupções causadas por intempéries e demais condições atmosféricas severas são consideradas como devidas a condições de tempo adverso.

Os clientes tendem a tolerar interrupções relacionadas ao mau tempo mais do que aquelas em condições de tempo bom (Brown, 1997), e é notória a alta proporção de saídas forçadas durante condições de tempo adverso (ELETROBRÁS, 1982). Em muitas instalações esta é a causa mais freqüente de interrupções (Brown, 2002). Na região abastecida pela empresa de energia PECO, na Philadelphia – EUA, mais de dois terços das interrupções não programadas registradas durante o verão de 2009 ocorreram em dias de chuva ou temporal (Electric Energy Online, 2009).

As causas primárias que constituem o grupo de fenômenos considerados tempo adverso neste trabalho, de acordo com as condições climáticas brasileiras, são as seguintes:

- vento – *ve*;
- descarga atmosférica – *da*;
- temperatura extrema – *te*.

### 4.1.3 Meio Ambiente Adverso – MAA

As características do local onde o sistema elétrico está inserido podem originar diversos problemas, de modo que o meio ambiente que cerca o sistema de distribuição é um dos fatores que mais influencia em sua confiabilidade.

Quando uma interrupção ocorre devido à interação da rede com o meio ambiente natural que a cerca, esta deve pertencer ao grupo de causas associadas ao Meio Ambiente Adverso.

As causas primárias que compõem este grupo são:

- vegetal – *vg*;
- animais – *an*;
- poluição ou maresia – *pm*;
- deslizamento ou erosão – *de*.

#### **4.1.4 Interferência de Terceiros – ITE**

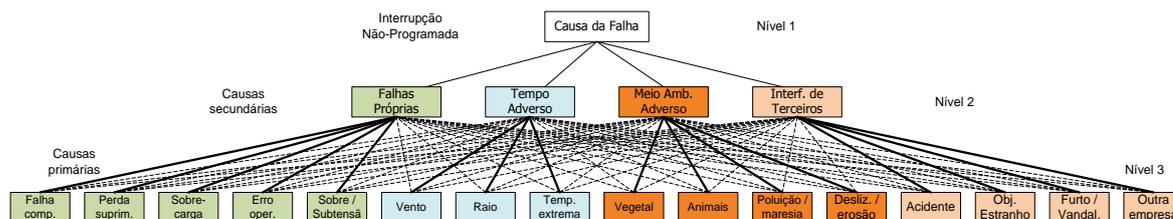
São assim considerados aqueles desligamentos não programados ocasionados por intervenções, intencionais ou não, de pessoas no sistema de distribuição, exceto aquelas que trabalham na operação do sistema, que resultam na interrupção do fornecimento de energia.

São integrantes deste grupo as seguintes causas primárias:

- acidentes – *ac*;
- objetos estranhos – *ob*;
- furto ou vandalismo – *fv*;
- outras empresas – *oe*.

## **4.2 Estrutura Hierárquica do Problema**

Com base na organização das causas proposta na seção anterior, é montada uma estrutura hierárquica que relaciona as 16 causas primárias consideradas e os 4 grupos – causas secundárias – ao objetivo, que é a determinação da causa da falha em cada evento. A estrutura que representa o problema é apresentada pela Figura 4-1.



**Figura 4-1: Estrutura Hierárquica para Identificação de Causas**

Na Figura 4-1, o topo da hierarquia é o objetivo do problema: a causa da falha a ser identificada; o segundo nível da estrutura é representado pelas causas secundárias, que definem o tipo de problema que provocou a falha; e o nível 3 é onde se encontram as 16 causas primárias.

As causas primárias e secundárias associadas, de acordo com a organização proposta, são visualmente relacionadas através de cores iguais e conexões com linhas fortes e contínuas mostrando que, para falhas relacionadas a certo tipo de problema, a causa primária é uma daquelas associadas ao grupo. As causas não associadas ao grupo são representadas por cores diferentes e conectadas através de linhas tracejadas e mais finas, denotando a pouca relação entre este tipo de problema e a causa primária.

Através dessa divisão e adotando a premissa de que as causas primárias associadas a um grupo exercem muito pouca influência sobre os eventos relacionados aos outros grupos, essa organização permite descartar as causas que não estão relacionadas ao tipo de causa apontado na avaliação do segundo nível da hierarquia, reduzindo substancialmente a quantidade de comparações necessárias, uma vez que o grupo de causas possíveis é reduzido de 16 para as poucas causas primárias relacionadas à secundária apontada – de 3 a 5 causas primárias associadas. Assim, a ordem da matriz de comparações é reduzida ao número de causas do conjunto associado à causa secundária encontrada, configurando uma adaptação que torna viável a aplicação do AHP neste problema.

Essa adaptação do AHP é justificada pelo fato de que, neste trabalho, a tomada de decisão realizada pelo método é voltada à identificação do tipo de fenômeno responsável pela falha, que será uma das quatro causas secundárias, e, posterior a isso, à identificação da causa propriamente dita, que será uma das causas primárias associadas à secundária previamente apontada.

Dessa maneira, são descartadas da análise as causas primárias que não são associadas à causa secundária apontada, pois sabe-se que essas não exercem influência sobre a ocorrência e, portanto, sua presença na hierarquia é indiferente na solução do problema.

Mais do que não exercer influência sobre a interrupção, a presença dessas alternativas tenderia a conduzir os avaliadores a inconsistências em seus julgamentos, uma vez que haveria muitas comparações para realizar. A grande quantidade de comparações, mesmo que muitas das alternativas sendo sabidamente irrelevantes sobre o problema, cansaria e confundiria o avaliador ao atribuir valores nas diversas comparações, levando o método a apontar comparações incoerentes.

Isso significa que não é atribuído a cada uma das causas secundárias um percentual com sua influência sobre o objetivo geral, para depois ponderar juntamente às influências das causas primárias sobre cada uma das secundárias – como comumente trabalha o método, ponderando os pesos de cada critério –, posto que há necessidade de apontar uma dessas secundárias como o tipo de evento que gerou a interrupção, para que, depois disso, seja determinada, então, uma das primárias – relacionadas –, como a causa responsável pela interrupção.

### **4.3 Cenários**

Para cada evento de desligamento não programado é apresentado um cenário que descreve as condições verificadas no local onde a falha é encontrada. É a partir desse que se pode inferir sobre os fatos relacionados e as causas da interrupção. Com base nas informações nele apresentadas é que o avaliador realiza os julgamentos que apontam o tipo de problema que ocorreu e, em seguida, a causa responsável pela interrupção.

O cenário construído deve descrever quais os fatos que podem ter afetado o funcionamento do sistema elétrico. Por isso, é esperado que o mesmo seja repleto de informações acerca das condições que podem ser verificadas em cada ocorrência. Aliadas a fatos óbvios observados localmente, como acidentes e objetos na rede, por exemplo, informações como condições locais e

meteorológicas, níveis de tensão e corrente, comportamento dos equipamentos envolvidos, histórico do sistema na região, seriam de grande valia na compreensão do evento. Além da intenção de servir de base para as comparações, tem-se o objetivo de exaurir as combinações das informações relevantes presentes no banco de dados utilizado, isto é, representar todas as configurações possíveis das informações que possam ter influência sobre cada evento.

O modelo desenvolvido tem como base os dados fornecidos pela empresa distribuidora de energia, que relatam as circunstâncias observadas nos locais onde as falhas foram verificadas. Dos dados informados no banco de dados, apresentados na seção 2.4, os seguintes são considerados relevantes sobre as interrupções: o fenômeno apontado pela equipe de campo como responsável pelo desligamento; os elementos de interrupção envolvidos; e a condição atmosférica no momento da falha. A partir dessas são inferidas as informações apresentadas nos cenários construídos para cada evento, que são as seguintes:

- *tempo* – tempo bom, com chuva ou temporal;
- *vento* – sem vento, com vento, vento forte;
- *elementos de interrupção* – elementos que atuaram ou foram envolvidos no evento, a partir de onde o fornecimento foi interrompido;
- *fatos observados* – fatos anormais observados no local, como acidentes, objetos na rede, entre outros;

Do processo de descoberta de conhecimento – KDD –, promovido em (Tronchoni, 2008), tem-se 26.283 ocorrências consideradas válidas. Eliminando-se as ocorrências em que há informações repetidas, essa quantidade é reduzida a um novo banco de dados, com apenas 347 ocorrências, as quais representam todas as combinações que podem ser encontradas no banco de dados original e, por isso, são os cenários considerados neste trabalho. Uma tabela com esses cenários é apresentada no Apêndice C.

## 4.4 Questionários para Julgamentos

Tendo organizadas as informações que descrevem os fatos verificados em um determinado evento, o passo seguinte para o emprego do AHP ao problema é a aplicação de questionários comparativos, onde as causas primárias e secundárias sejam confrontadas em função de suas prováveis influências sobre a interrupção não programada.

Os avaliadores, responsáveis pelas comparações necessárias, devem ter os conhecimentos necessários sobre o problema de causas de falhas no sistema elétrico e noção sobre o funcionamento do Processo Analítico Hierárquico. As pessoas que conhecem os fenômenos cujas ocorrências podem provocar problemas no funcionamento do sistema de distribuição são, em geral, engenheiros eletricitas funcionários de empresas distribuidoras de energia e professores e alunos pesquisadores da engenharia elétrica de alguma forma envolvidos com o assunto.

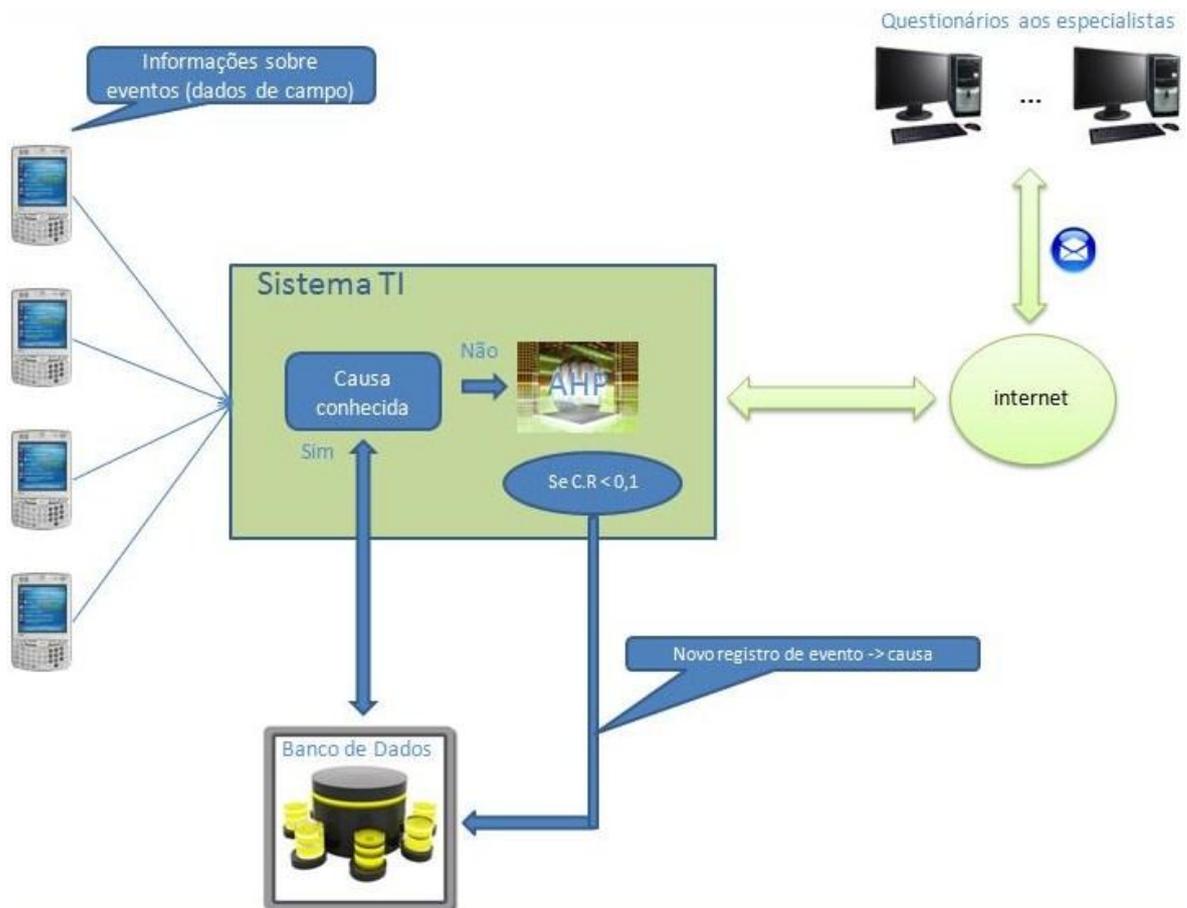
Em virtude do desejo de se aplicar esses questionários a pessoas de diversas empresas e universidades distantes geograficamente, torna-se necessário desenvolver uma ferramenta que permita que esses avaliadores possam acessar os questionários nos momentos que lhes for oportuno. A maneira mais coerente encontrada para o compartilhamento desses questionários é através da internet, devido a sua ampla difusão e facilidade de acesso nos meios em que tais pessoas se encontram.

### 4.4.1 Aplicação de Questionários para Julgamentos

O Google Docs é uma ferramenta, fornecida gratuitamente pela Google Inc. em seu site, <http://www.google.com/>, que permite compartilhar documentos de texto, apresentações, planilhas e formulários através da internet.

Através da guia de formulários, pode-se elaborar questionários que podem ser enviados e respondidos via e-mail ou acessando os sites onde os formulários são encontrados. As respostas obtidas nesses formulários podem ser tratadas através de planilhas, dentro do próprio documento, onde valores podem ser

calculados e gráficos podem ser gerados automaticamente. Essa ferramenta é bastante útil para casos como o deste trabalho, onde se pretende disponibilizar questionários a pessoas em regiões variadas e que essas pessoas possam acessá-los e respondê-los quando lhes for conveniente. O fluxo a ser percorrido pelas informações em cada evento de interrupção não programada pode ser representado pela Figura 4-2.



**Figura 4-2: Fluxo das informações**

O fluxo proposto na Figura 4-2 apresenta as etapas a serem realizadas em cada evento: as informações são obtidas no local da falha, de acordo com o proposto por Pretto (Pretto, 2005); o cenário é comparado com os registrados, para ver se alguma ocorrência com as mesmas características já foi avaliada; questionários são enviados aos avaliadores através da internet; os julgamentos obtidos são avaliados e, se consistentes, a descrição do evento e a causa apontada são armazenados na base de dados.

Utilizando as ferramentas disponibilizadas pelo Google Docs, foram desenvolvidos os questionários através dos quais os avaliadores realizam as comparações entre os problemas que afetam o sistema de distribuição.

Esses questionários foram projetados em forma de formulários onde as respostas são baseadas em comparações pareadas, conforme determina o Processo Analítico Hierárquico, e divididos em duas partes – uma para determinar o tipo de problema ocorrido, seguida das comparações para determinar a causa primária –, conforme a adaptação proposta na seção 4.1.

Cada questionário inicia com a apresentação do cenário construído a partir dos dados obtidos no local onde ocorreu a interrupção. A maneira como os julgamentos são realizados é baseada na idéia utilizada pelo *software* Criterium DecisionPlus, conforme é demonstrado pela Figura 3-5, onde primeiramente é escolhida a opção com maior importância na comparação e, em seguida, é definida quão maior é essa importância, de acordo com a escala adotada pelo método.

Dessa maneira, são apresentadas, par a par, todas as comparações que devem ser realizadas. O avaliador deve marcar, através de uma caixa de seleção, a opção que considera ter maior probabilidade de ter influência sobre o evento, e então definir quão maior é essa influência, de acordo com a escala AHP. O modo como essas comparações são realizadas é demonstrado pela Figura 4-3, onde é apresentado o início de um questionário, montado para o cenário escolhido dentre os 347 considerados, no caso, o 53º cenário.

**Questionário 53 - parte 1/2**

De modo a determinar a provável causa do desligamento não programado, faça um comparativo entre as causas possíveis, utilizando a escala do método AHP para definir a prioridade de cada uma.  
Para avaliar a influência de cada opção sobre o evento, considere as seguintes informações, anotadas no local da ocorrência:

- Tempo: Bom  
- Vento: Não  
- Elemento de Interrupção: Transformador  
- Elemento de Interrupção: Chave Fusível  
- Fatos Observados: -

---

Qual das opções tem maior influência sobre a falha?

- Tempo Adverso
- Meio Ambiente Adverso
- Igual ou Indiferente

Quão maior é essa influência? (De acordo com a escala AHP)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
Igual ou indiferente	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	Absoluta							

**Figura 4-3: Questionário para comparações pareadas**

Na Figura 4-3 é apresentado o cenário que descreve a situação encontrada no local do evento, e a primeira das comparações pareadas. Nessa, o avaliador considerou que as opções *Meio Ambiente Adverso* e *Tempo Adverso* exercem influência *Igual ou Indiferente* sobre o evento apresentado. O questionário exemplificado é apresentado por completo no Apêndice D.

Após responder a todas as comparações, o avaliador submete as respostas através de uma opção de *Enviar*, presente no final de cada questionário. As respostas são então armazenadas em planilhas no site <http://docs.google.com/>, onde ficam disponíveis ao criador do questionário que pode, finalmente, aplicar o método AHP e avaliar os resultados obtidos.

## 4.5 Aplicação do AHP aos Dados Obtidos

Este item tem por objetivo demonstrar a aplicação do Processo Analítico Hierárquico conforme a adaptação proposta na seção 4.1. Para tal, será

apresentado um processo decisório baseado no questionário parcialmente apresentado pela Figura 4-3, conforme segue o texto.

Tendo uma planilha com os valores obtidos nas comparações de cada questionário, o próximo passo é aplicar o AHP e analisar se os julgamentos realizados foram consistentes e coerentes, isto é, inicialmente avaliar a consistência, que é definida pelo método, e então verificar se os resultados encontrados condizem com as causas reais da interrupção não programada, as quais são obtidas, ou inferidas, de acordo com as apontadas pelo banco de dados original utilizado.

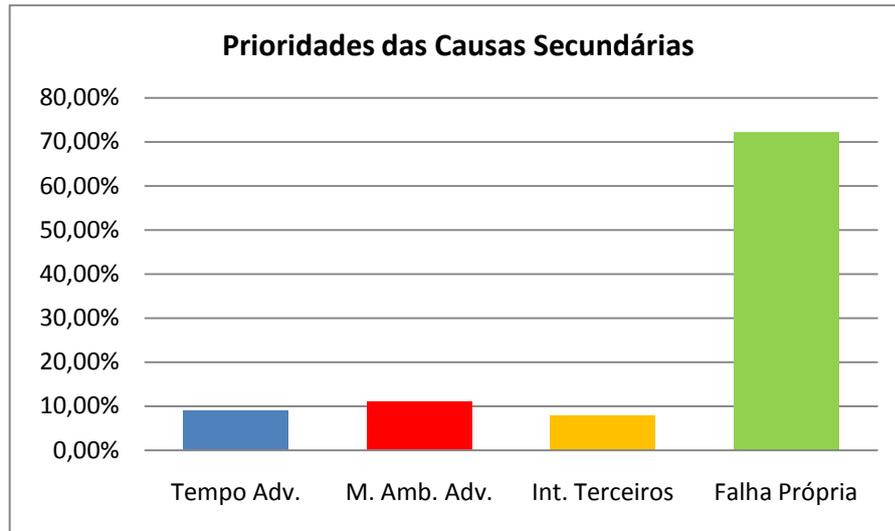
No caso do questionário apresentado na Figura 4-3, as respostas das comparações, disponíveis no apêndice D, resultaram na matriz de comparações apresentadas na equação 4-1

$$\begin{array}{c}
 \begin{array}{c} TAD \\ MAA \\ ITE \\ FPS \end{array} \\
 \mathbf{A} = \begin{array}{c} TAD \\ MAA \\ ITE \\ FPS \end{array} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1/8 \\ 1 & 1 & 2 & 1/8 \\ 1 & 1/2 & 1 & 1/8 \\ 8 & 8 & 8 & 1 \end{bmatrix}
 \end{array} \quad 4-1$$

O vetor que representa a prioridade de cada uma das prioridades secundárias, conforme definido pela equação 3-9, é apresentado a seguir.

$$\mathbf{w} = \begin{array}{c} TAD \\ MAA \\ ITE \\ FPS \end{array} \begin{bmatrix} 0,0901 \\ 0,1109 \\ 0,0782 \\ 0,7208 \end{bmatrix} \quad 4-2$$

Verifica-se que, de acordo com os julgamentos realizados, o avaliador acredita que a interrupção teve sua origem em problemas relacionados a Falhas Próprias do Sistema. A Figura 4-4 apresenta graficamente as prioridades encontradas para cada uma das causas secundárias.



**Figura 4-4: Exemplo de Prioridades – Causas Secundárias**

Pode-se agora verificar a consistência dos julgamentos realizados. Conforme descrito, para atender à equação 3-14, obtêm-se os valores de  $\lambda_i$  da maneira definida na equação 3-15, tal que,

$$\lambda_1 = \frac{1 \times 0,0901 + 1 \times 0,1109 + 1 \times 0,0782 + 1/8 \times 0,7208}{0,0901} = 4,0991 \quad 4-3$$

$$\lambda_2 = \frac{1 \times 0,0901 + 1 \times 0,1109 + 2 \times 0,0782 + 1/8 \times 0,7208}{0,1109} = 4,0341 \quad 4-4$$

$$\lambda_3 = \frac{1 \times 0,0901 + 1/2 \times 0,1109 + 1 \times 0,0782 + 1/8 \times 0,7208}{0,0782} = 4,0138 \quad 4-5$$

$$\lambda_4 = \frac{8 \times 0,0901 + 8 \times 0,1109 + 8 \times 0,0782 + 1 \times 0,7208}{0,7208} = 4,0991 \quad 4-6$$

E o valor do principal autovalor, conforme a equação 3-16, será a média aritmética dos valores encontrados:

$$\lambda_{max} = 4,0615 \geq n = 4 \quad 4-7$$

O Índice de Consistência, conforme definido pela equação 3-19, é:

$$\mu = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} = \frac{4,0615 - 4}{4 - 1} = 0,0205 \quad 4-8$$

Conclui-se então sobre a consistência dos julgamentos, através da equação 3-20. Para matrizes de ordem 4, portanto, o Índice Randômico de Consistência é igual a 0.9 e, de acordo com o que mostra a Tabela 3-3, tem-se que

$$CR = \frac{\mu}{RI} = \frac{0,0205}{0,9} = 0,0228 < 0,1 \quad 4-9$$

A Taxa de Consistência tem valor inferior a 0,1 e, portanto, os julgamentos realizados nas comparações entre as causas secundárias são consistentes. O passo seguinte será realizar as comparações entre as causas primárias consideradas Falhas Próprias do Sistema. De acordo com a organização proposta na seção 4.1, são cinco as causas primárias classificadas nesse grupo: falha em componente – *fc*; perda de suprimento – *ps*; sobrecarga – *sc*; erro de operação – *er*, e sub ou sobretensão – *dV*.

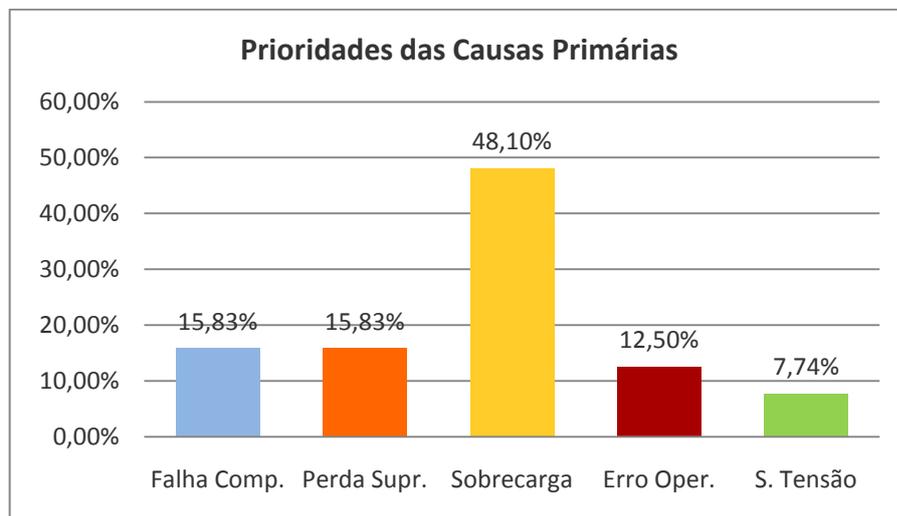
Foi apresentada ao mesmo avaliador a segunda parte do questionário, a qual, relacionada à causa secundária encontrada, compara as causas primárias associadas. Esse questionário, respondido, pode ser visto no Apêndice E. Os julgamentos realizados resultaram na matriz de comparações apresentada em 4-10.

$$A = \begin{matrix} & \begin{matrix} fc & ps & sc & er & dV \end{matrix} \\ \begin{matrix} fc \\ ps \\ sc \\ er \\ dV \end{matrix} & \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1/4 & 2 & 2 \\ 1 & 1 & 1/4 & 2 & 2 \\ 4 & 4 & 1 & 4 & 4 \\ 1/2 & 1/2 & 1/4 & 1 & 3 \\ 1/2 & 1/2 & 1/4 & 1/3 & 1 \end{bmatrix} \end{matrix} \quad 4-10$$

A partir dessas comparações, utilizando o método AHP descrito na seção 3.4, foi obtido o Vetor de Prioridades, apresentado por 4-11.

$$W = \begin{matrix} fc \\ ps \\ sc \\ er \\ dV \end{matrix} \begin{bmatrix} 0,1583 \\ 0,1583 \\ 0,4810 \\ 0,1250 \\ 0,0774 \end{bmatrix} \quad 4-11$$

Nota-se que as comparações realizadas resultam em uma prioridade de mais de 48% para a alternativa sobrecarga, enquanto as outras opções em prioridades bem menores. Disso conclui-se que o avaliador acredita, para o cenário apresentado, que o fenômeno que provocou a interrupção não programada foi uma sobrecarga. As prioridades encontradas para as causas secundárias são apresentadas graficamente na Figura 4-5.



**Figura 4-5: Exemplo de Prioridades – Causas Primárias**

Pode-se agora verificar a consistência dos julgamentos realizados, de maneira análoga à aplicada à matriz de comparações das causas secundárias. O autovalor principal neste caso é dado por

$$\lambda_{max} = 5,2345 \geq n = 5 \quad 4-12$$

O Índice de Consistência da matriz será:

$$\mu = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} = \frac{5,2345 - 5}{5 - 1} = 0,0528 \quad 4-13$$

E, finalmente, pode-se calcular a Taxa de Consistência.

$$CR = \frac{\mu}{RI} = \frac{0,0205}{0,9} = 0,0228 < 0,1 \quad \mathbf{4-14}$$

Assim, de acordo com o que o método propõe, os julgamentos estão consistentes, pois  $CR < 0,1$ .

Após todo o processo realizado, chega-se à conclusão de que, para o cenário observado nesse evento de interrupção não programada e de acordo com o conhecimento do avaliador, a ocorrência teve origem em uma sobrecarga, que é uma das causas primárias consideradas como Falhas Próprias do Sistema.

## 5 RESULTADOS

Com o objetivo de validar o modelo desenvolvido, foram escolhidos 10 cenários, representando situações variadas dentre as 347 ocorrências existentes no banco de dados utilizado, com o intuito de abranger diferentes tipos de problemas, aos quais se espera encontrar diferentes causas responsáveis. Em alguns dos casos escolhidos a simples leitura do cenário acusa uma causa óbvia, em outros a causa não é evidente. É através desta amostra que se poderá argüir e concluir sobre a aplicabilidade ou não do modelo proposto.

Para essa análise, foram montados questionários para os eventos selecionados, seguindo o padrão dos apresentados nos apêndices D e E e resolvido na seção 4.5. Em cada questionário é apresentado o cenário que descreve a situação encontrada no local da ocorrência e, em seguida, o avaliador realiza e quantifica as comparações entre as opções apresentadas.

Esses questionários foram respondidos por 3 avaliadores, todos engenheiros que já realizaram algum trabalho relacionado a causas de falhas no sistema de distribuição e com bom conhecimento sobre o Processo Analítico Hierárquico. Serão apresentados neste capítulo os resultados obtidos a partir das avaliações de cada um desses avaliadores, contendo as matrizes de comparações extraídas dos questionários, valores encontrados nas análises de consistência dos julgamentos, vetores e gráficos de prioridades, seguidos de breve análise sobre os resultados.

## 5.1 Cenário 1

O cenário que descreve os fatos encontrados no local da ocorrência número 1 traz as seguintes informações:

- Tempo: **chuvoso**
- Vento: **sem vento**
- Elemento de Interrupção: **Poste**
- Elemento de Interrupção: **Chave Fusível**
- Fatos Observados: **Acidente (abalroamento de poste)**

### 5.1.1 Causa Secundária

Os questionários com as comparações entre as causas secundárias resultaram nas tabelas 5-1 a 5-3, onde são apresentados a matriz de comparações, o vetor de prioridades e os valores obtidos na análise de consistência, de acordo com os julgamentos realizados pelos três avaliadores.

Na Tabela 5-1, são apresentados os valores obtidos do Avaliador 1.

**Tabela 5-1 – Cenário 1: Causas Secundárias – Avaliador 1**

	Matriz de Comparações				Vetor de Prioridades
	<i>TAD</i>	<i>MAA</i>	<i>ITE</i>	<i>FPS</i>	
<i>TAD</i>	1	1	1/9	2	0,1018
<i>MAA</i>	1	1	1/9	1/2	0,0718
<i>ITE</i>	9	9	1	9	0,7362
<i>FPS</i>	1/2	2	1/9	1	0,0902
$\lambda_{max} =$			4,1885		
$CR =$			0,0698	Consistente	

Os julgamentos realizados pelo avaliador 1 indicam que a interrupção foi devida à Interferência de Terceiros no sistema elétrico. As comparações foram coerentes, pois a Taxa de Consistência tem valor inferior a 0,1.

Na Tabela 5-2, são apresentados os valores obtidos do Avaliador 2.

Tabela 5-2 – Cenário 1: Causas Secundárias – Avaliador 2

	Matriz de Comparações				Vetor de Prioridades
	<i>TAD</i>	<i>MAA</i>	<i>ITE</i>	<i>FPS</i>	
<i>TAD</i>	1	2	1/6	3	0,1554
<i>MAA</i>	1/2	1	1/8	3	0,1101
<i>ITE</i>	6	8	1	8	0,6778
<i>FPS</i>	1/3	1/3	1/8	1	0,0567
$\lambda_{max} =$				4,1645	
$CR =$				0,0609	Consistente

Os julgamentos realizados pelo avaliador 2 também apontam para Interferência de Terceiros, e as comparações também foram consistentes.

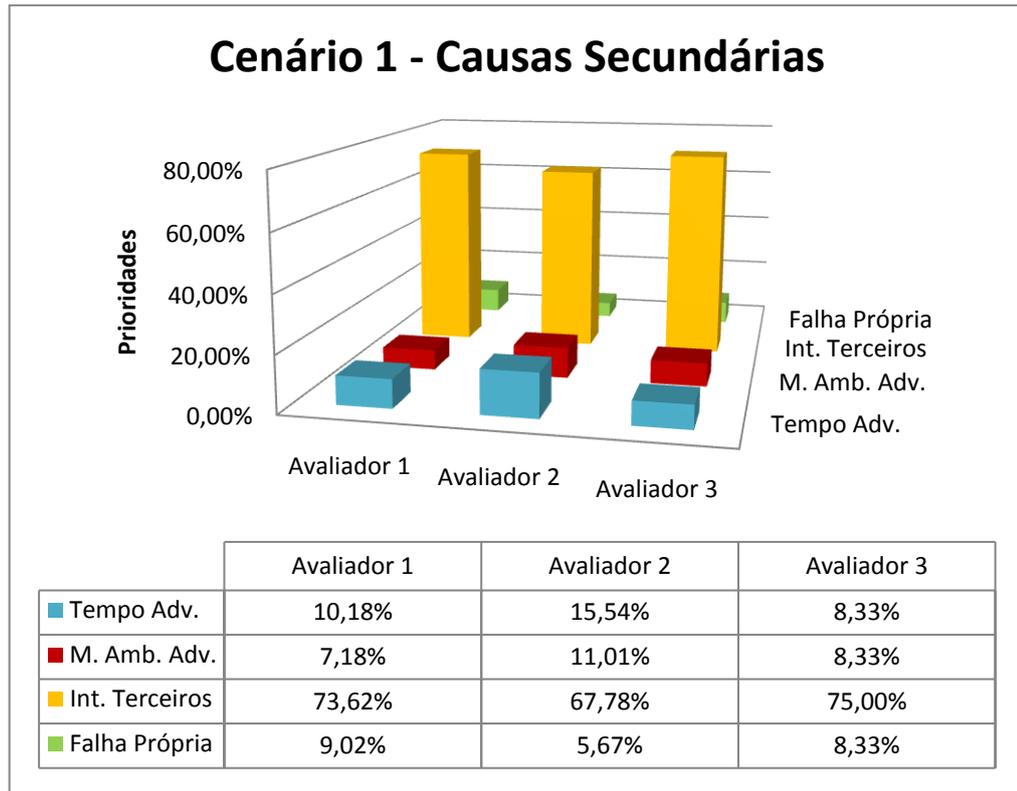
Na Tabela 5-3, são apresentados os valores obtidos do Avaliador 3.

Tabela 5-3 – Cenário 1: Causas Secundárias – Avaliador 3

	Matriz de Comparações				Vetor de Prioridades
	<i>TAD</i>	<i>MAA</i>	<i>ITE</i>	<i>FPS</i>	
<i>TAD</i>	1	1	1/9	1	0,0833
<i>MAA</i>	1	1	1/9	1	0,0833
<i>ITE</i>	9	9	1	9	0,7500
<i>FPS</i>	1	1	1/9	1	0,0833
$\lambda_{max} =$				4,0000	
$CR =$				0,0000	Consistente

Os julgamentos realizados pelo avaliador 3, assim como os anteriores, indicam que a interrupção teve origem em Interferência de Terceiros. Verifica-se que as comparações deste foram perfeitamente consistentes, de acordo com o que define o Método AHP, pois  $CR = 0$ .

As prioridades encontradas pelos 3 avaliadores são mostradas em um único gráfico, na Figura 5-1, para que possam ser visualizadas em conjunto.



**Figura 5-1: Cenário 1 – Prioridades das Causas Secundárias**

A Figura 5-1 traz uma tabela que relaciona as causas secundárias com as prioridades apontadas por cada avaliador, além de apresentar graficamente essas informações. Como se pode observar, todos chegaram à mesma conclusão quanto ao tipo de problema que gerou a interrupção não programada: que esta foi provocada por alguma Interferência de Terceiros – ITE.

### 5.1.2 Causa Primária

Nesta seção são mostrados os resultados obtidos com a aplicação do método às causas primárias consideradas, isto é, aquelas consideradas relacionadas com o tipo de problema previamente identificado. A matriz de comparações montada a partir dos julgamentos do Avaliador 1, acompanhada de seus respectivos resultados, é apresentada na Tabela 5-4.

**Tabela 5-4 – Cenário 1: Causas Primárias – Avaliador 1**

	Matriz de Comparações				Vetor de Prioridades
	<i>ac</i>	<i>ob</i>	<i>fv</i>	<i>oe</i>	
<i>ac</i>	1	8	7	7	0,7090
<i>ob</i>	1/8	1	1	1	0,0949
<i>fv</i>	1/7	1	1	1	0,0980
<i>de</i>	1/7	1	1	1	0,0980
			$\lambda_{max} =$	4,0022	
			$CR =$	0,0008	Consistente

Segundo os julgamentos realizados pelo Avaliador 1, a interrupção teve sua origem em um acidente. As comparações foram consistentes, resultando em um valor muito baixo para o índice *CR*.

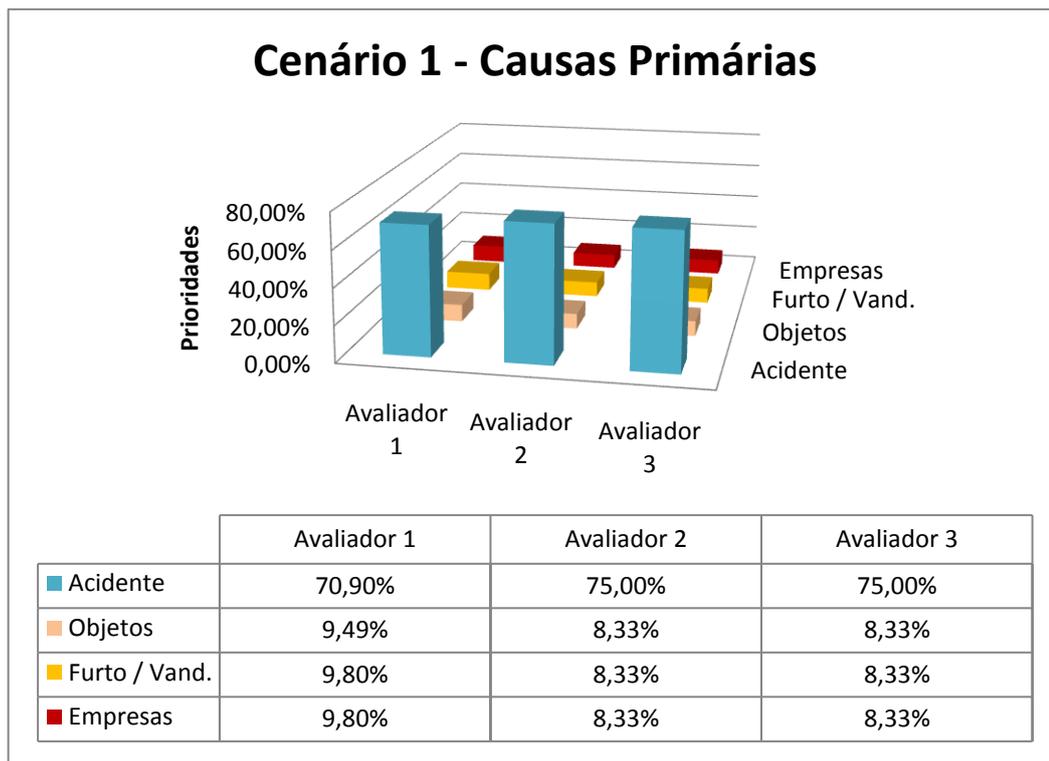
A Tabela 5-5 apresenta os valores obtidos a partir dos julgamentos realizados pelo Avaliador 2 e pelo Avaliador 3.

**Tabela 5-5 – Cenário 1: Causas Primárias – Avaliador 2 e Avaliador 3**

	Matriz de Comparações				Vetor de Prioridades
	<i>ac</i>	<i>ob</i>	<i>fv</i>	<i>de</i>	
<i>ac</i>	1	9	9	9	0,7500
<i>ob</i>	1/9	1	1	1	0,0833
<i>fv</i>	1/9	1	1	1	0,0833
<i>de</i>	1/9	1	1	1	0,0833
			$\lambda_{max} =$	4,0000	
			$CR =$	0,0000	Consistente

Os julgamentos realizados pelo Avaliador 3 foram idênticos aos do Avaliador 2 e, portanto, ambos são equivalentes aos mostrados na Tabela 5-5. Esses julgamentos também apontam para um acidente como sendo a causa da falha na distribuição de energia. De acordo com a análise definida para o método, a matriz está montada a partir de comparações consideradas perfeitamente consistentes.

Os resultados obtidos para os 3 avaliadores são mostrados na Figura 5-2.



**Figura 5-2: Cenário 1 – Prioridades das Causas Primárias**

Este era um cenário em que a causa da interrupção era óbvia, pois foi descrito que houve um abaloamento de poste, um acidente. Como a causa era bastante evidente, todos os avaliadores chegaram à mesma conclusão e com resultados bastante semelhantes e consistentes.

## 5.2 Cenário 22

As seguintes informações descrevem o cenário encontrado no local da ocorrência número 22:

- Tempo: **Temporal**
- Vento: **Forte**
- Elemento de Interrupção: **Chave Fusível**
- Elemento de Interrupção: **Nenhum**
- Fatos Observados: **Animais / Pássaros em contato com a rede (ou mortos)**

### 5.2.1 Causa Secundária

As matrizes de comparação e os resultados delas extraídos dos julgamentos realizados pelos 3 avaliadores, com relação aos tipos de causas que provocaram a interrupção no evento descrito neste cenário, são apresentadas nesta seção.

Na Tabela 5-6, são apresentados os valores obtidos do Avaliador 1.

**Tabela 5-6 – Cenário 22: Causas Secundárias – Avaliador 1**

	Matriz de Comparações				Vetor de Prioridades
	<i>TAD</i>	<i>MAA</i>	<i>ITE</i>	<i>FPS</i>	
<i>TAD</i>	1	1/2	3	2	0,3020
<i>MAA</i>	2	1	2	2	0,3788
<i>ITE</i>	1/3	1/2	1	2	0,1816
<i>FPS</i>	1/2	1/2	1/2	1	0,1376
			$\lambda_{max} =$	4,2172	
			$CR =$	0,0804	Consistente

Os julgamentos realizados pelo avaliador 1 indicam que a interrupção foi devida ao Meio Ambiente Adverso. À opção Tempo Adverso também é atribuído peso alto nas comparações, certamente em função de haver um temporal no momento da falha, condição que notoriamente exerce forte influência sobre a continuidade do fornecimento. As comparações foram coerentes, pois a Taxa de Consistência tem valor inferior a 0,1.

Na Tabela 5-7, são apresentados os valores obtidos do Avaliador 2.

**Tabela 5-7 – Cenário 22: Causas Secundárias – Avaliador 2**

	Matriz de Comparações				Vetor de Prioridades
	<i>TAD</i>	<i>MAA</i>	<i>ITE</i>	<i>FPS</i>	
<i>TAD</i>	1	1/5	5	5	0,2402
<i>MAA</i>	5	1	8	8	0,6344
<i>ITE</i>	1/5	1/8	1	1	0,0627
<i>FPS</i>	1/5	1/8	1	1	0,0627
			$\lambda_{max} =$	4,1687	
			$CR =$	0,0625	Consistente

De acordo com os julgamentos realizados pelo avaliador 2, a causa da interrupção teve origem em alguma adversidade imposta à rede pelo meio ambiente onde esta se encontra. As comparações são consistentes.

Na Tabela 5-8, são apresentados os valores obtidos pelo avaliador 3.

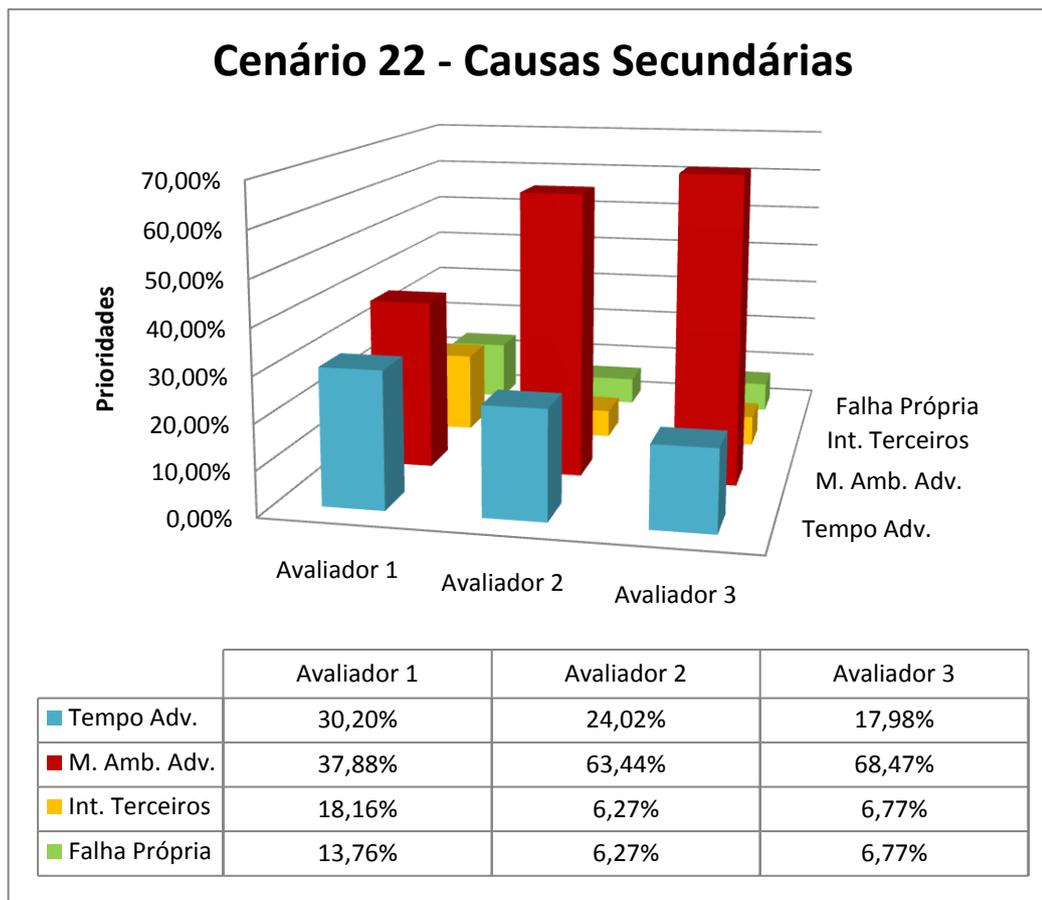
**Tabela 5-8 – Cenário 22: Causas Secundárias – Avaliador 3**

	Matriz de Comparações				Vetor de Prioridades
	<i>TAD</i>	<i>MAA</i>	<i>ITE</i>	<i>FPS</i>	
<i>TAD</i>	1	1/5	3	3	0,1798
<i>MAA</i>	5	1	9	9	0,6847
<i>ITE</i>	1/3	1/9	1	1	0,0677
<i>FPS</i>	1/3	1/9	1	1	0,0677
$\lambda_{max} =$			4,0329		
$CR =$			0,0122	Consistente	

Os julgamentos realizados pelo avaliador 3, assim como os anteriores, indicam que a interrupção teve origem no Meio Ambiente Adverso.

Nota-se, também, que a causa secundária Tempo Adverso, mesmo não sendo considerada a principal neste cenário, tem prioridade superior que Interferência de Terceiros e Falhas Próprias do Sistema. Isso ocorre devido ao fato de o Tempo Adverso ser freqüente causador de problemas ao sistema elétrico em condições de mau tempo, como é o caso descrito, e, por isso, ser considerado mais importante pelos avaliadores nas comparações.

As prioridades encontradas pelos 3 avaliadores são mostradas em um único gráfico, na Figura 5-3, para que possam ser visualizadas em conjunto.



**Figura 5-3: Cenário 22 – Prioridades das Causas Secundárias**

Como se observa na Figura 2-1Figura 5-3, apesar de o Avaliador 1 também alertar para a influência do Tempo Adverso no sistema, todos os avaliadores chegaram à conclusão de problema teve origem no Meio Ambiente Adverso.

### 5.2.2 Causa Primária

Nesta seção são mostrados os resultados obtidos com relação às causas primárias consideradas, isto é, aquelas consideradas relacionadas ao Meio Ambiente Adverso.

A matriz de comparações e os resultados obtidos a partir do questionário respondido pelo Avaliador 1 são mostrados na Tabela 5-9.

**Tabela 5-9 – Cenário 22: Causas Primárias – Avaliador 1**

	Matriz de Comparações				Vetor de Prioridades
	<i>vg</i>	<i>an</i>	<i>pm</i>	<i>de</i>	
<i>vg</i>	1	1/4	2	2	0,2024
<i>an</i>	4	1	4	4	0,5595
<i>pm</i>	1/2	1/4	1	1	0,1190
<i>de</i>	1/2	1/4	1	1	0,1190
			$\lambda_{max} =$	4,0608	
			$CR =$	0,0225	Consistente

Segundo os julgamentos realizados pelo avaliador 1, a interrupção teve sua origem na interação de algum animal com a rede elétrica. As comparações foram bastante consistentes, resultando em um valor baixo para o índice *CR*.

Os valores obtidos a partir dos julgamentos realizados pelo Avaliador 2 são mostrados na Tabela 5-10.

**Tabela 5-10 – Cenário 22: Causas Primárias – Avaliador 2**

	Matriz de Comparações				Vetor de Prioridades
	<i>vg</i>	<i>an</i>	<i>pm</i>	<i>de</i>	
<i>vg</i>	1	1/9	1	1	0,0833
<i>an</i>	9	1	9	9	0,7500
<i>pm</i>	1	1/9	1	1	0,0833
<i>de</i>	1	1/9	1	1	0,0833
			$\lambda_{max} =$	4,0000	
			$CR =$	0,0000	Consistente

Os julgamentos realizados pelo Avaliador 2 demonstram que este tem certeza de que a interrupção foi causada devida à interação de algum animal com a rede de distribuição. As comparações são consideradas perfeitamente consistentes, pois  $CR = 0$ .

Os julgamentos realizados pelo Avaliador 3 resultaram nos valores apresentados na Tabela 5-11.

Tabela 5-11 – Cenário 22: Causas Primárias – Avaliador 3

	Matriz de Comparações				Vetor de Prioridades
	<i>vg</i>	<i>an</i>	<i>pm</i>	<i>de</i>	
<i>vg</i>	1	1/5	5	5	0,2305
<i>an</i>	5	1	9	9	0,6523
<i>pm</i>	1/5	1/9	1	1	0,0586
<i>de</i>	1/5	1/9	1	1	0,0586
			$\lambda_{max} =$	4,1348	
			CR =	0,0499	Consistente

Os julgamentos realizados pelo Avaliador 3 não apresentam a mesma contundência das realizadas pelo Avaliador 2, mas apontam para a mesma conclusão: que a interrupção foi causada por algum animal.

Os resultados obtidos para os 3 avaliadores são mostrados na Figura 5-4.

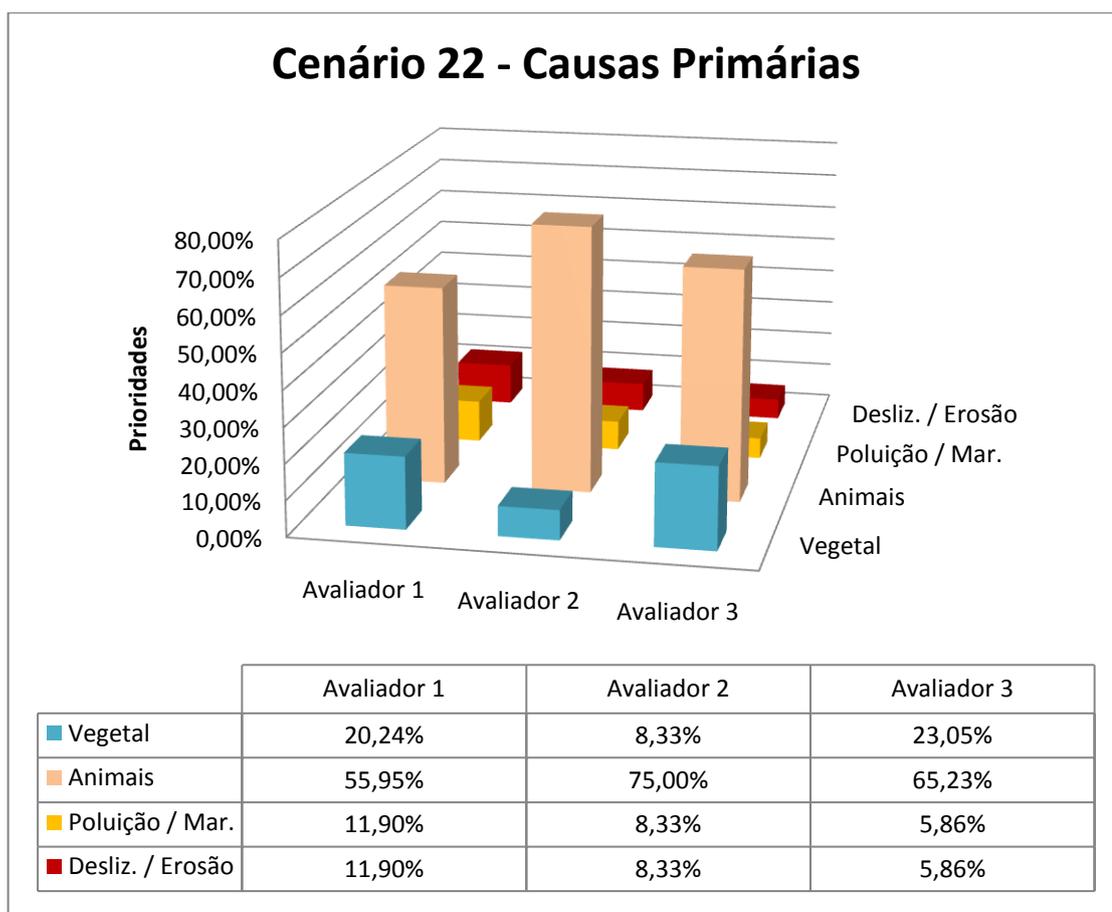


Figura 5-4: Cenário 22 – Prioridades das Causas Primárias

Este era um cenário em que, assim como no Cenário 1, a causa da interrupção estava clara, uma vez que fora descrito que havia evidências de

animais na rede. Dessa maneira, os questionários respondidos por todos os avaliadores apontaram o mesmo fenômeno como sendo a causa primária da interrupção não programada.

### 5.3 Cenário 53

O cenário que descreve os fatos encontrados no local da ocorrência número 53 traz as seguintes informações:

- Tempo: **Bom**
- Vento: **Não**
- Elemento de Interrupção: **Transformador**
- Elemento de Interrupção: **Chave Fusível**
- Fatos Observados: **Nenhum**

#### 5.3.1 Causa Secundária

Os resultados obtidos dos questionários respondidos pelos avaliadores, com relação à causa secundária da falha, de acordo com as informações apresentadas no cenário, são apresentados nesta seção.

A Tabela 5-12 mostra os valores obtidos do questionário respondido pelo Avaliador 1.

**Tabela 5-12 – Cenário 53: Causas Secundárias – Avaliador 1**

	Matriz de Comparações				Vetor de Prioridades
	<i>TAD</i>	<i>MAA</i>	<i>ITE</i>	<i>FPS</i>	
<i>TAD</i>	1	1	1	1/8	0,0901
<i>MAA</i>	1	1	2	1/8	0,1109
<i>ITE</i>	1	1/2	1	1/8	0,0782
<i>FPS</i>	8	8	8	1	0,7208
	$\lambda_{max} =$		4,0615		
	$CR =$		0,0228		Consistente

Os julgamentos realizados pelo Avaliador 1 indicam que a interrupção foi devida a Falhas Próprias do Sistema. As comparações foram coerentes, pois a Taxa de Consistência tem valor inferior a 0,1.

As informações referentes às comparações realizadas pelo Avaliador 2 são as mostradas pela Tabela 5-13.

**Tabela 5-13 – Cenário 53: Causas Secundárias – Avaliador 2**

Matriz de Comparações					Vetor de Prioridades
	TAD	MAA	ITE	FPS	
TAD	1	1	1/7	1/8	0,0553
MAA	1	1	1/7	1/9	0,0527
ITE	7	7	1	1/9	0,2451
FPS	8	9	9	1	0,6470
			$\lambda_{max} =$	4,5826	
			CR =	0,2158	Inconsistente

Os julgamentos realizados pelo Avaliador 2 também apontam para Falhas Próprias do Sistema. Porém, as comparações deste avaliador não foram consistentes, pois  $CR = 0,2158$ , mais de duas vezes o valor máximo permitido.

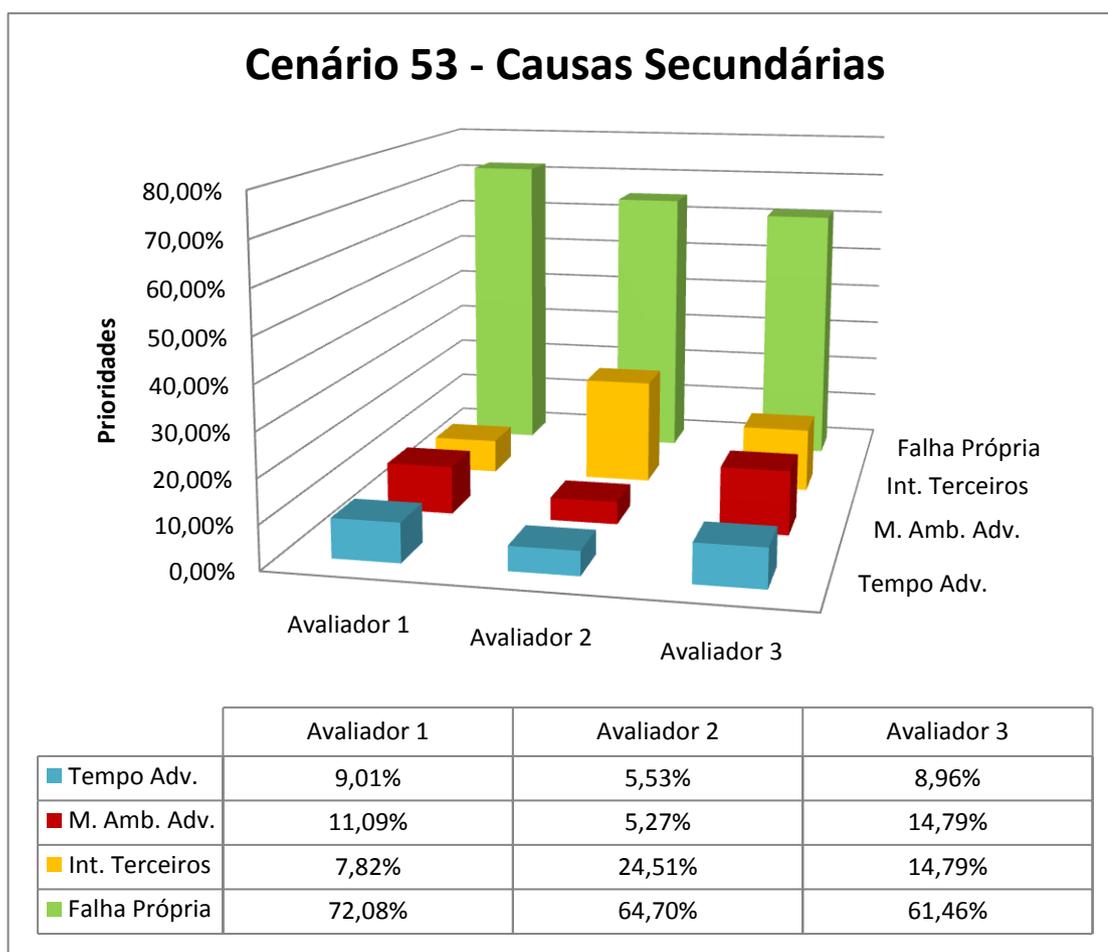
As comparações feitas pelo Avaliador 3 resultaram nos valores mostrados na Tabela 5-14.

**Tabela 5-14 – Cenário 53: Causas Secundárias – Avaliador 3**

Matriz de Comparações					Vetor de Prioridades
	TAD	MAA	ITE	FPS	
TAD	1	1/2	1/2	1/5	0,0896
MAA	2	1	1	1/5	0,1479
ITE	2	1	1	1/5	0,1479
FPS	5	5	5	1	0,6146
			$\lambda_{max} =$	4,0608	
			CR =	0,0225	Consistente

Os julgamentos realizados pelo Avaliador 3, assim como os anteriores, indicam que a interrupção teve origem em Falhas Próprias do Sistema. As comparações foram consistentes, pois  $CR < 0,1$ .

As prioridades encontradas pelos 3 avaliadores são mostradas em um único gráfico, na Figura 5-5, para que possam ser comparadas.



**Figura 5-5: Cenário 53 – Prioridades das Causas Secundárias**

Embora um dos avaliadores tenha cometido algum equívoco em seus julgamentos, fica claro na Figura 5-5 que todos chegaram à mesma conclusão quanto ao tipo de problema ocorrido. Esse fato pode ser interpretado como um indicativo de robustez do modelo aplicado, uma vez que, neste caso, algumas comparações incoerentes não resultaram em incoerências na conclusão.

### 5.3.2 Causa Primária

As tabelas 5-15 a 5-17 demonstram os resultados obtidos na aplicação do método às causas primárias consideradas, isto é, aquelas consideradas relacionadas com o tipo de problema previamente identificado.

A Tabela 5-15 contém os valores obtidos a partir dos julgamentos realizados pelo Avaliador 1.

**Tabela 5-15 – Cenário 53: Causas Primárias – Avaliador 1**

	Matriz de Comparações					Vetor de Prioridades
	<i>fc</i>	<i>ps</i>	<i>sc</i>	<i>er</i>	<i>dV</i>	
<i>fc</i>	1	1	1/4	2	2	0,1583
<i>ps</i>	1	1	1/4	2	2	0,1583
<i>sc</i>	4	4	1	4	4	0,4810
<i>Er</i>	1/2	1/2	1/4	1	3	0,1250
<i>dV</i>	1/2	1/2	1/4	1/3	1	0,0774
				$\lambda_{max} =$	5,2345	
				$CR =$	0,0528	Consistente

Os julgamentos realizados pelo Avaliador 1 apontam uma sobrecarga como sendo a causa da interrupção.

As comparações realizadas pelo Avaliador 2 resultam nos valores contidos na Tabela 5-16.

**Tabela 5-16 – Cenário 53: Causas Primárias – Avaliador 2**

	Matriz de Comparações					Vetor de Prioridades
	<i>fc</i>	<i>ps</i>	<i>sc</i>	<i>er</i>	<i>dV</i>	
<i>fc</i>	1	5	1/7	6	6	0,2424
<i>ps</i>	1/5	1	1/9	1	1	0,0548
<i>sc</i>	7	9	1	8	8	0,5912
<i>Er</i>	1/6	1	1/8	1	1	0,0558
<i>dV</i>	1/6	1	1/8	1	1	0,0558
				$\lambda_{max} =$	5,3274	
				$CR =$	0,0737	Consistente

Os julgamentos realizados pelo Avaliador 2 também apontam uma sobrecarga como responsável pela interrupção.

A partir do questionário respondido pelo Avaliador 3, tem-se os valores apresentados na Tabela 5-17.

Tabela 5-17 – Cenário 53: Causas Primárias – Avaliador 3

	Matriz de Comparações					Vetor de Prioridades
	<i>fc</i>	<i>ps</i>	<i>sc</i>	<i>er</i>	<i>dV</i>	
<i>fc</i>	1	5	1/5	3	3	0,1975
<i>ps</i>	1/5	1	1/9	1/3	1/3	0,0399
<i>sc</i>	5	9	1	7	7	0,5799
<i>Er</i>	1/3	3	1/7	1	2	0,1031
<i>dV</i>	1/3	3	1/7	1/2	1	0,0796
				$\lambda_{max} =$	5,2395	
				CR =	0,0539	Consistente

Os julgamentos realizados pelo Avaliador 3, assim como os anteriores, indicam que a causa da interrupção não programada foi uma sobrecarga. As prioridades encontradas por cada avaliador são mostradas na Figura 5-6.

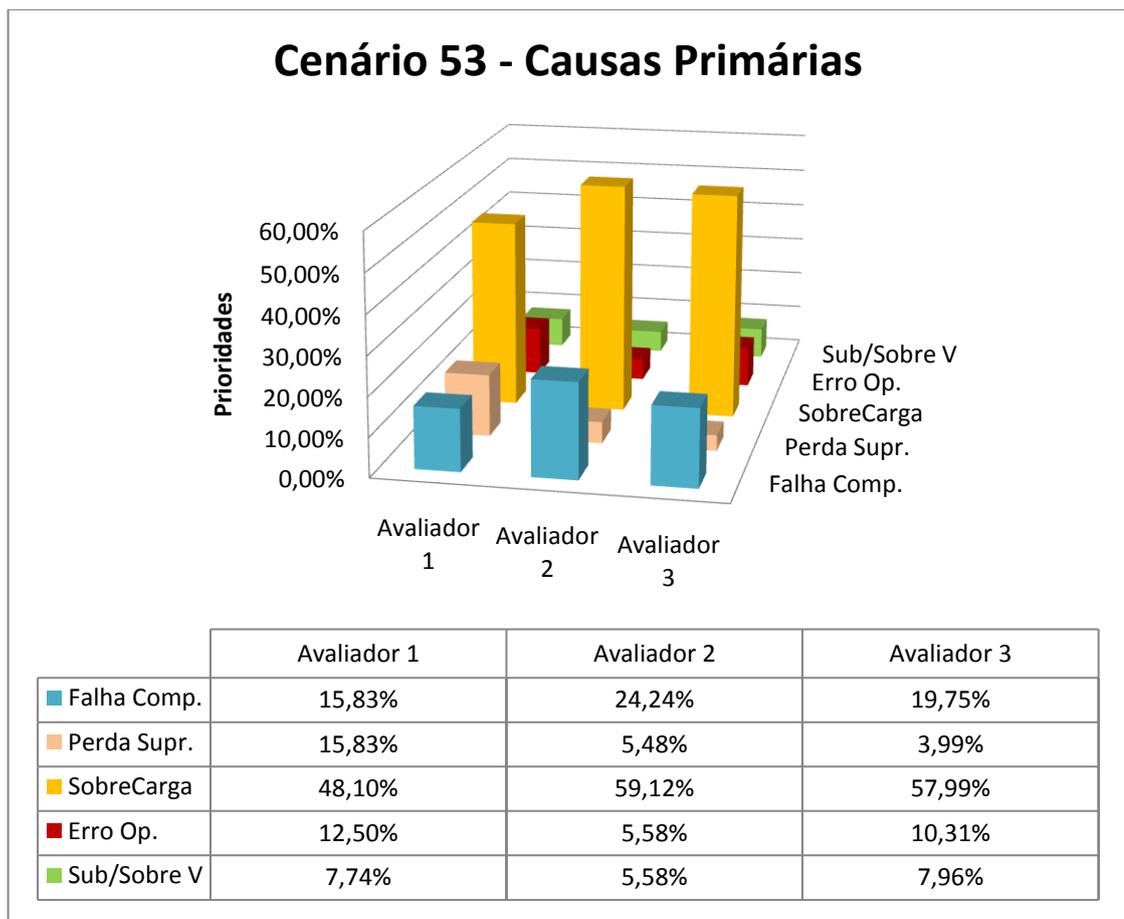


Figura 5-6: Cenário 53 – Prioridades das Causas Primárias

Este não era um cenário cuja causa primária da interrupção era óbvia, pois não havia nenhum fato que evidenciasse uma causa primária. Observando-se o

gráfico onde os resultados obtidos para os julgamentos de todos os avaliadores são expostos lado a lado, verifica-se que ambos chegaram à mesma conclusão, que é a de que foi uma sobrecarga que provocou o desligamento.

A solução encontrada equivale à que era esperada, pois a ocorrência tem aspecto típico de sobrecarga. Além das informações relatadas no cenário, sabe-se, a partir do banco de dados original, que a interrupção ocorreu num dia de verão, durante o turno da tarde, período em que é mais comum a ocorrência de picos de consumo de energia – como se tem observado nos noticiários neste verão em que, devido às temperaturas altas, recordes no consumo de energia têm sido registrados no Brasil. Em situações assim, em que a carga passa da prevista para o circuito, é esperado que dispositivos de proteção atuem, como a chave fusível destacada no cenário da interrupção descrita, resultando em interrupção no fornecimento a partir deste componente.

## 5.4 Cenário 149

O cenário que descreve os fatos encontrados no local da ocorrência número 149 traz as seguintes informações:

- Tempo: **Chuva**
- Vento: **Não**
- Elemento de Interrupção: **Transformador**
- Elemento de Interrupção: **Nenhum**
- Fatos Observados: **Descarga atmosférica**

### 5.4.1 Causa Secundária

Os resultados obtidos dos questionários respondidos pelos avaliadores, com relação à causa secundária da falha, são apresentados nesta seção.

A Tabela 5-18 mostra os valores obtidos das comparações realizadas pelo Avaliador 1.

**Tabela 5-18 – Cenário 149: Causas Secundárias – Avaliador 1**

	Matriz de Comparações				Vetor de Prioridades
	<i>TAD</i>	<i>MAA</i>	<i>ITE</i>	<i>FPS</i>	
<i>TAD</i>	1	6	7	5	0,5537
<i>MAA</i>	1/6	1	6	1/7	0,1224
<i>ITE</i>	1/7	1/6	1	1/7	0,0442
<i>FPS</i>	1/5	7	7	1	0,2798
			$\lambda_{max} =$	4,8444	
			$CR =$	0,3127	Inconsistente

Como se pode observar, o questionário respondido pelo avaliador 1 apresentou comparações inconsistentes, que resultaram em um valor diferente do estabelecido para a Taxa de Consistência –  $CR = 0,3127 > 0,1$ . Os julgamentos apontam para uma falha devida a adversidades meteorológicas.

As comparações realizadas pelo Avaliador 2 são apresentadas pelos valores da Tabela 5-19.

**Tabela 5-19 – Cenário 149: Causas Secundárias – Avaliador 2**

	Matriz de Comparações				Vetor de Prioridades
	<i>TAD</i>	<i>MAA</i>	<i>ITE</i>	<i>FPS</i>	
<i>TAD</i>	1	9	9	9	0,7500
<i>MAA</i>	1/9	1	1	1	0,0833
<i>ITE</i>	1/9	1	1	1	0,0833
<i>FPS</i>	1/9	1	1	1	0,0833
			$\lambda_{max} =$	4,0000	
			$CR =$	0,0000	Consistente

Os julgamentos realizados pelo avaliador 2 também apontam para causadas pelo Tempo Adverso. Entretanto, ao contrário das comparações realizadas pelo Avaliador 1, as deste avaliador foram perfeitamente consistentes, de modo que  $CR = 0,0000$ .

As comparações feitas pelo Avaliador 3 resultaram nos valores mostrados na Tabela 5-20.

Tabela 5-20 – Cenário 149: Causas Secundárias – Avaliador 3

	Matriz de Comparações				Vetor de Prioridades
	TAD	MAA	ITE	FPS	
TAD	1	9	9	7	0,7065
MAA	1/9	1	1	1/3	0,0657
ITE	1/9	1	1	1/3	0,0657
FPS	1/7	3	3	1	0,1622
			$\lambda_{max} =$	4,0922	
			CR =	0,0342	Consistente

Os julgamentos realizados pelo avaliador 3, assim como os anteriores, indicam que a interrupção teve origem em problemas relacionados ao Tempo Adverso. As comparações foram consistentes, pois  $CR < 0,1$ .

As prioridades encontradas pelos 3 avaliadores são mostradas em um único gráfico, na Figura 5-7, para que possam ser comparadas.

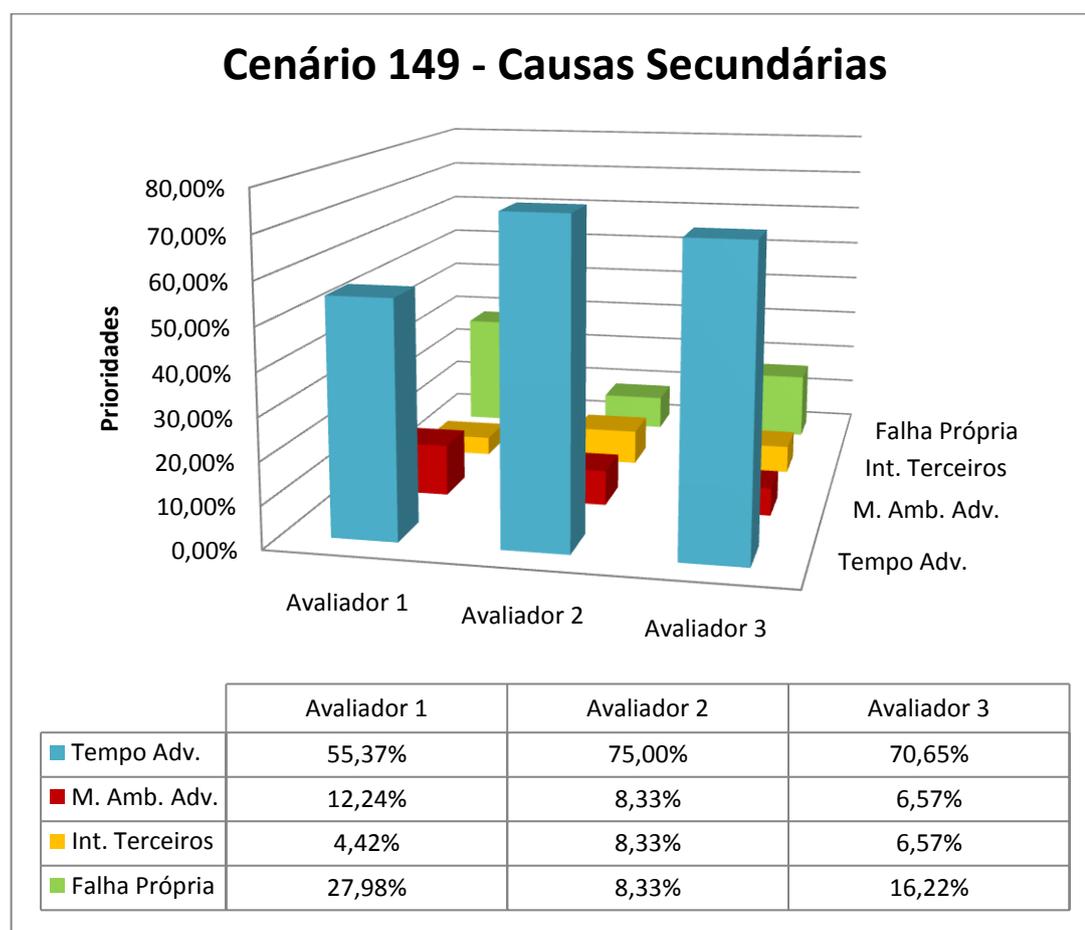


Figura 5-7: Cenário 149 – Prioridades das Causas Secundárias

Embora um dos avaliadores tenha sido inconsistente em alguns julgamentos, fica claro na Figura 5-7 que todos chegaram à mesma conclusão quanto à natureza do problema que causou a interrupção. Todos apontaram a causa secundária como Tempo Adverso.

#### 5.4.2 Causa Primária

Os resultados obtidos nas comparações entre as causas primárias consideradas – aquelas consideradas relacionadas ao Tempo Adverso –, são apresentados nas tabelas 5-21 e 5-22.

Os valores obtidos nos julgamentos realizados pelo Avaliador 1 são os mostrados pela Tabela 5-21.

**Tabela 5-21 – Cenário 149: Causas Primárias – Avaliador 1**

Matriz de Comparações			Vetor de Prioridades	
<i>ve</i>	<i>da</i>	<i>te</i>		
<i>ve</i>	1	1/6	3	0,1718
<i>da</i>	6	1	8	0,7530
<i>te</i>	1/3	1/8	1	0,0752
$\lambda_{max} =$			3,0749	
$CR =$			0,0646	Consistente

Os julgamentos realizados pelo avaliador 1 apontam para uma Descarga Atmosférica como sendo a causa da interrupção.

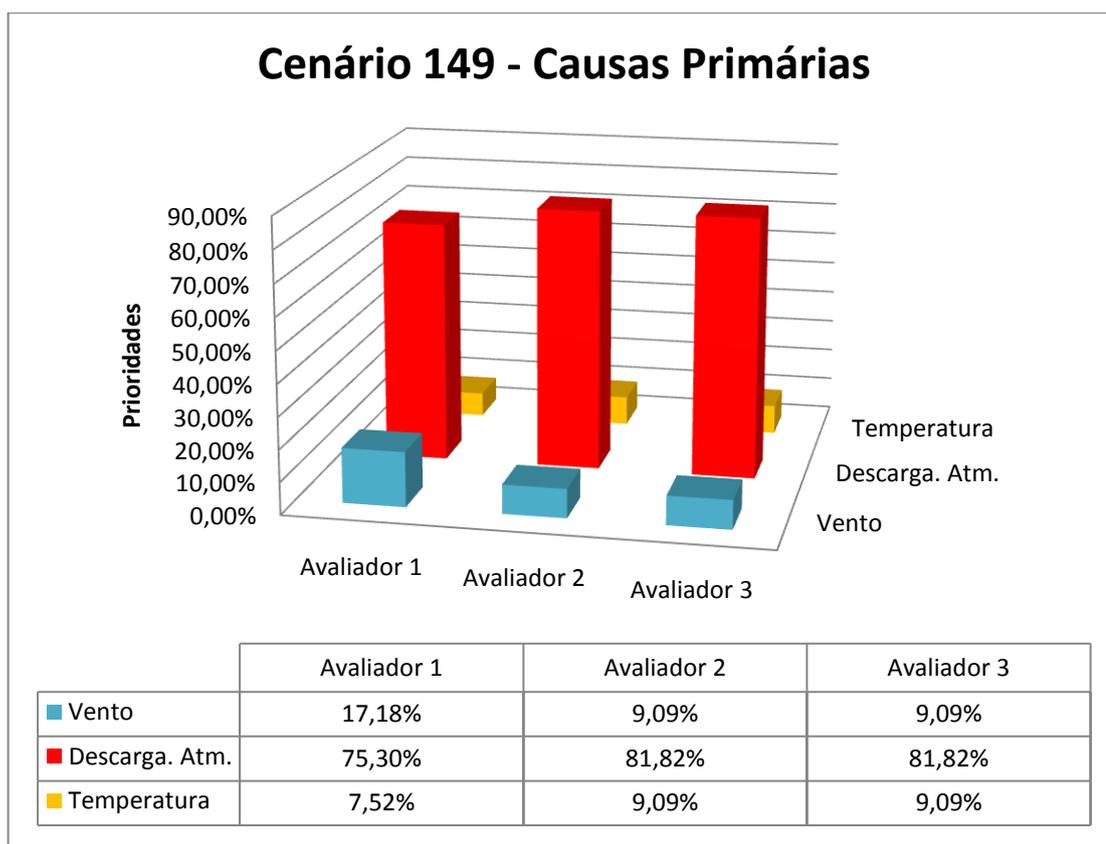
As comparações realizadas pelo Avaliador 2, bem como as pelo Avaliador 3, que foram idênticas, resultam nos valores contidos na Tabela 5-22.

**Tabela 5-22 – Cenário 149: Causas Primárias – Avaliador 2 e Avaliador 3**

Matriz de Comparações			Vetor de Prioridades	
<i>ve</i>	<i>da</i>	<i>te</i>		
<i>ve</i>	1	1/9	1	0,0909
<i>da</i>	9	1	9	0,8182
<i>te</i>	1	1/9	1	0,0909
$\lambda_{max} =$			3,0000	
$CR =$			0,0000	Consistente

Os questionários respondidos pelo Avaliador 2 e pelo Avaliador 3 foram perfeitamente consistentes, e também apontam uma Descarga Atmosférica como responsável pela interrupção.

Os resultados obtidos dos questionários respondidos pelo 3 avaliadores são apresentados na Figura 5-8.



**Figura 5-8: Cenário 149 – Prioridades das Causas Primárias**

O cenário relatando que o tempo era chuvoso no local e momento da falha, aliado à constatação de que aconteceu uma descarga atmosférica na rede – mesmo sendo o cenário incompleto e não relatando a atuação do pára-raios –, aponta para uma Descarga Atmosférica. A partir do que os 3 avaliadores responderam nos questionários, todos chegaram a essa conclusão, conforme pode ser verificado na Figura 5-8, onde o gráfico apresenta lado a lado os resultados obtidos para os julgamentos de cada um. A solução encontrada foi a esperada, uma vez que no cenário original esta também era apontada como a causa da interrupção.

## 5.5 Cenário 157

O evento de número 157 no banco de dados considerado traz as seguintes informações, descrevendo os fatos observados no local da ocorrência:

- Tempo: **Bom**
- Vento: **Não**
- Elemento de Interrupção: **Chave Fusível**
- Elemento de Interrupção: **Elo Fusível**
- Fatos Observados: **Nenhum**

### 5.5.1 Causa Secundária

Os resultados obtidos dos questionários respondidos pelos avaliadores, comparando as possíveis causas secundárias da falha, de acordo com as informações apresentadas no cenário, são apresentados nesta seção.

A Tabela 5-23 mostra os valores obtidos do questionário respondido pelo Avaliador 1.

**Tabela 5-23 – Cenário 157: Causas Secundárias – Avaliador 1**

	Matriz de Comparações				Vetor de Prioridades
	<i>TAD</i>	<i>MAA</i>	<i>ITE</i>	<i>FPS</i>	
<i>TAD</i>	1	1/7	1/6	1/8	0,0406
<i>MAA</i>	7	1	7	1/7	0,2504
<i>ITE</i>	6	1/7	1	1/7	0,1143
<i>FPS</i>	8	7	7	1	0,5947
	$\lambda_{max} =$			4,9691	
	$CR =$			0,3589	Inconsistente

Os julgamentos realizados pelo avaliador 1 indicam que a interrupção foi devida a Falhas Próprias do Sistema. As comparações foram inconsistentes, pois a Taxa de Consistência tem valor superior a 0,1.

As informações referentes às comparações realizadas pelo Avaliador 2 são as mostradas pela Tabela 5-24.

Tabela 5-24 – Cenário 157: Causas Secundárias – Avaliador 2

	Matriz de Comparações				Vetor de Prioridades
	TAD	MAA	ITE	FPS	
TAD	1	1/4	1/5	1/6	0,0571
MAA	4	1	3	1/5	0,2139
ITE	5	1/3	1	1/5	0,1499
FPS	6	5	5	1	0,5791
			$\lambda_{max} =$	4,4373	
			CR =	0,1620	Inconsistente

A exemplo dos resultados obtidos a partir dos julgamentos realizados pelo Avaliador 1, os realizados pelo Avaliador 2 apontam para Falhas Próprias do Sistema e as comparações foram consideradas inconsistentes.

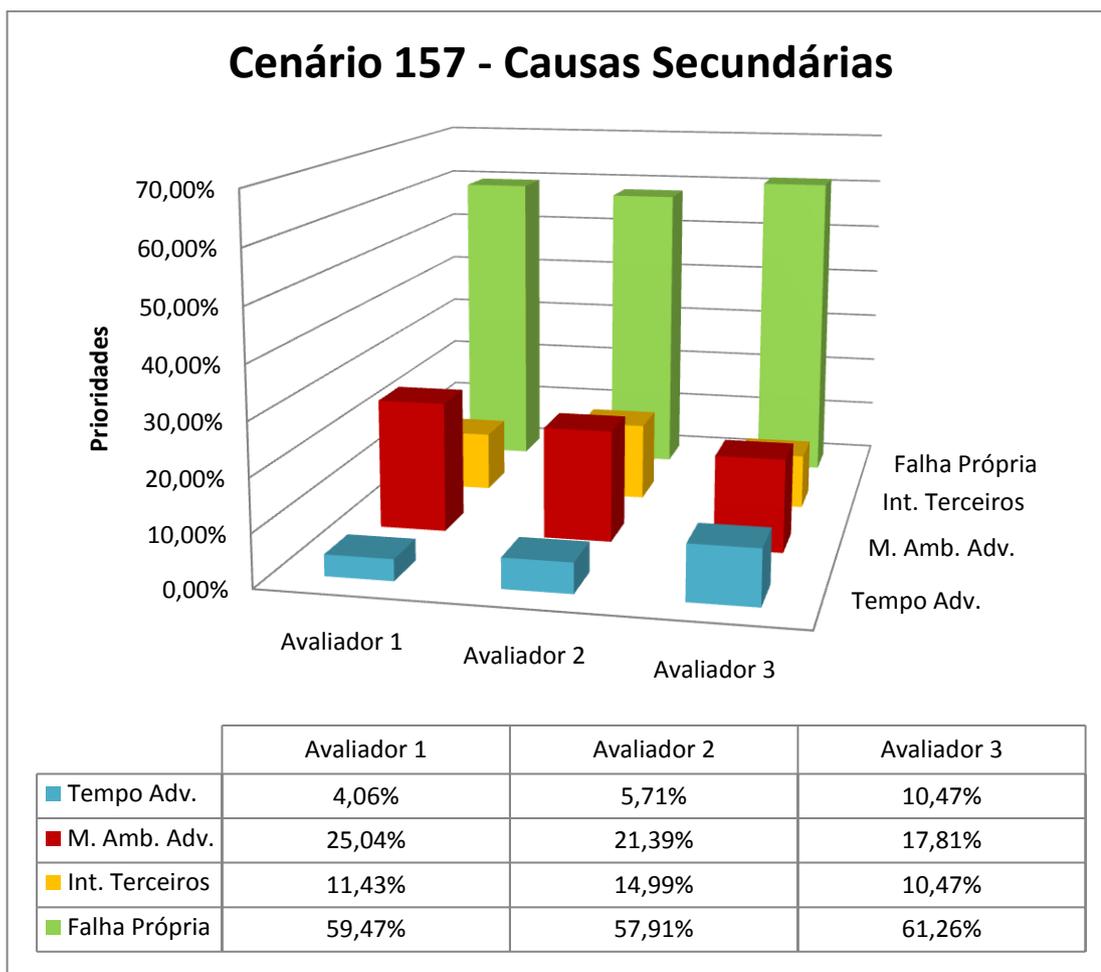
As comparações feitas pelo Avaliador 3 resultaram nos valores mostrados na Tabela 5-25.

Tabela 5-25 – Cenário 157: Causas Secundárias – Avaliador 3

	Matriz de Comparações				Vetor de Prioridades
	TAD	MAA	ITE	FPS	
TAD	1	1/2	1/2	1/5	0,0896
MAA	2	1	1	1/5	0,1479
ITE	2	1	1	1/5	0,1479
FPS	5	5	5	1	0,6146
			$\lambda_{max} =$	4,0608	
			CR =	0,0225	Consistente

Os julgamentos realizados pelo Avaliador 3, assim como os anteriores, indicam que a interrupção teve origem em Falhas Próprias do Sistema. Entretanto, as comparações deste último foram consistentes, ao contrário das anteriores.

As prioridades encontradas pelos 3 avaliadores são apresentadas lado a lado no gráfico da Figura 5-9.



**Figura 5-9: Cenário 157 – Prioridades das Causas Secundárias**

Esta foi a primeira vez em que os julgamentos de 2 dos 3 avaliadores foram considerados inconsistentes, o que demonstra certa dificuldade na realização das comparações. Isso pode ser em função de o cenário apresentar poucas informações, não alimentando os avaliadores da maneira adequada. Apesar das inconsistências, os 3 avaliadores chegaram à mesma conclusão quanto ao tipo de problema que provavelmente provocou a interrupção. Além disso, as prioridades foram bastante significativas apontando para a causa secundária, demonstrando concordância entre os avaliadores.

### 5.5.2 Causa Primária

As tabelas abaixo demonstram os resultados obtidos a partir das comparações entre as causas consideradas associadas à causa secundária encontrada.

A Tabela 5-26 contém os valores obtidos a partir dos julgamentos realizados pelo Avaliador 1.

**Tabela 5-26 – Cenário 157: Causas Primárias – Avaliador 1**

	Matriz de Comparações					Vetor de Prioridades
	<i>fc</i>	<i>ps</i>	<i>sc</i>	<i>er</i>	<i>dV</i>	
<i>fc</i>	1	2	1/5	1/5	1	0,1143
<i>ps</i>	1/2	1	1/5	1/4	1/5	0,0536
<i>sc</i>	5	5	1	1	1	0,2966
<i>Er</i>	5	4	1	1	1/2	0,2579
<i>dV</i>	1	5	1	2	1	0,2776
				$\lambda_{max} =$	5,4849	
				$CR =$	0,1092	Inconsistente

As prioridades obtidas dos julgamentos realizados pelo Avaliador 1 são bastante parecidas entre três das possíveis causas primárias: *sobrecarga*, *erro de operação* e *sub ou sobretensão*, com leve e inconclusiva vantagem para a primeira. A matriz de comparações foi considerada inconsistente, pois  $CR > 0,1$ .

As comparações realizadas pelo Avaliador 2 resultam nos valores contidos na Tabela 5-27.

**Tabela 5-27 – Cenário 157: Causas Primárias – Avaliador 2**

	Matriz de Comparações					Vetor de Prioridades
	<i>fc</i>	<i>ps</i>	<i>sc</i>	<i>er</i>	<i>dV</i>	
<i>fc</i>	1	5	1/5	6	6	0,2718
<i>ps</i>	1/5	1	1/7	1	1	0,0620
<i>sc</i>	5	7	1	7	7	0,5442
<i>Er</i>	1/6	1	1/7	1	1	0,0610
<i>dV</i>	1/6	1	1/7	1	1	0,0610
				$\lambda_{max} =$	5,2527	
				$CR =$	0,0569	Consistente

Os julgamentos realizados pelo avaliador 2 apontam uma sobrecarga como responsável pela interrupção, e são considerados consistentes.

A partir do questionário respondido pelo Avaliador 3, tem-se os valores apresentados na Tabela 5-28.

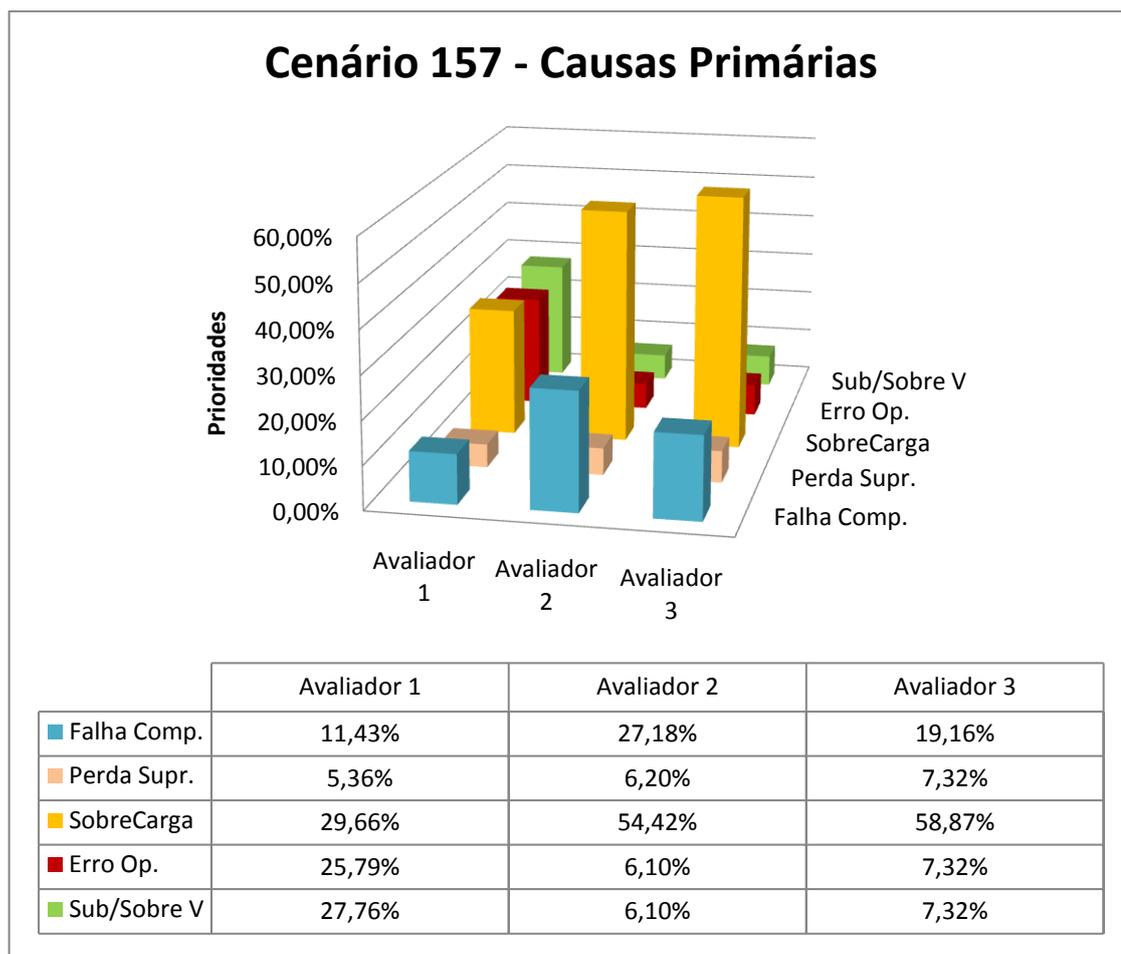
**Tabela 5-28 – Cenário 157: Causas Primárias – Avaliador 3**

	Matriz de Comparações					Vetor de Prioridades
	<i>fc</i>	<i>ps</i>	<i>sc</i>	<i>er</i>	<i>dV</i>	
<i>fc</i>	1	3	1/5	3	3	0,1916
<i>ps</i>	1/3	1	1/7	1	1	0,0732
<i>sc</i>	5	7	1	7	7	0,5887
<i>Er</i>	1/3	1	1/7	1	1	0,0732
<i>dV</i>	1/3	1	1/7	1	1	0,0732
				$\lambda_{max} =$	5,0711	
				$CR =$	0,0160	Consistente

De maneira bastante similar aos do Avaliador 2, os julgamentos realizados pelo Avaliador 3 indicam que a causa da interrupção não programada foi uma sobrecarga.

A causa da interrupção neste cenário não era óbvia, pois não havia nenhuma informação apontando para um fato que evidenciasse a causa do evento ou, pelo menos, o tornasse típico para algum tipo de problema. Isso fez com que houvesse bastantes inconsistências nos julgamentos.

Apesar das inconsistências, analisando-se o gráfico onde os resultados obtidos para todos os avaliadores são expostos lado a lado, na Figura 5-10, verifica-se que 2 dos 3 avaliadores chegaram à mesma conclusão e com prioridades muito semelhantes entre as possíveis causas primárias, que é a de que foi uma sobrecarga que provocou o desligamento, solução essa que era a esperada para este evento, de acordo com o que descrevia o banco de dados da empresa distribuidora de energia.



**Figura 5-10: Cenário 157 – Prioridades das Causas Primárias**

Entretanto, os julgamentos do Avaliador 1 não convergiram para uma conclusão, pois 3 das 5 possibilidades têm prioridades quase iguais. Dos cenários até agora testados, este é o primeiro em que isso acontece, e provavelmente não aconteceria se fosse possível incorporar mais informações ao cenário apresentado aos avaliadores.

## 5.6 Cenário 189

O cenário que descreve os fatos encontrados no local da ocorrência número 149 traz as seguintes informações:

- Tempo: **Temporal**
- Vento: **Forte**
- Elemento de Interrupção: **Transformador**

- Elemento de Interrupção: **Isolador**
- Fatos Observados: **Nenhum**

### 5.6.1 Causa Secundária

Os resultados obtidos dos questionários respondidos pelos avaliadores, com relação à causa secundária da falha, são apresentados nesta seção.

A matriz de comparações montada a partir dos julgamentos realizadas pelo Avaliador 1 são mostrados na Tabela 5-29.

**Tabela 5-29 – Cenário 189: Causas Secundárias – Avaliador 1**

	Matriz de Comparações				Vetor de Prioridades
	<i>TAD</i>	<i>MAA</i>	<i>ITE</i>	<i>FPS</i>	
<i>TAD</i>	1	5	5	2	0,5132
<i>MAA</i>	1/5	1	2	1/3	0,1208
<i>ITE</i>	1/5	1/2	1	1/3	0,0849
<i>FPS</i>	1/2	3	3	1	0,2811
			$\lambda_{max} =$	4,0657	
			$CR =$	0,0243	Consistente

O questionário respondido pelo Avaliador 1 aponta para uma falha causada por problemas devidos ao Tempo Adverso. Os julgamentos são considerados consistentes, pois  $CR > 0,1$ .

As comparações realizadas pelo Avaliador 2 são apresentadas pelos valores da Tabela 5-30.

**Tabela 5-30 – Cenário 189: Causas Secundárias – Avaliador 2**

	Matriz de Comparações				Vetor de Prioridades
	<i>TAD</i>	<i>MAA</i>	<i>ITE</i>	<i>FPS</i>	
<i>TAD</i>	1	9	9	9	0,6223
<i>MAA</i>	1/9	1	9	9	0,2600
<i>ITE</i>	1/9	1/9	1	1/4	0,0377
<i>FPS</i>	1/9	1/9	4	1	0,0800
			$\lambda_{max} =$	5,0109	
			$CR =$	0,3744	Inconsistente

Os julgamentos realizados pelo avaliador 2 também apontam para causadas pelo Tempo Adverso. As comparações realizadas pelo Avaliador 2 foram inconsistentes, pois o valor encontrado para a Taxa de Consistência foi bastante distante do máximo estabelecido –  $CR = 0,3744 > 0,10$ .

As comparações feitas pelo Avaliador 3 resultaram nos valores mostrados na Tabela 5-31.

**Tabela 5-31 – Cenário 189: Causas Secundárias – Avaliador 3**

	Matriz de Comparações				Vetor de Prioridades
	<i>TAD</i>	<i>MAA</i>	<i>ITE</i>	<i>FPS</i>	
<i>TAD</i>	1	5	7	7	0,6650
<i>MAA</i>	1/5	1	2	2	0,1603
<i>ITE</i>	1/7	1/2	1	1	0,0874
<i>FPS</i>	1/7	1/2	1	1	0,0874
$\lambda_{max} =$					4,0160
$CR =$					0,0059
					Consistente

Os julgamentos realizados pelo Avaliador 3, assim como os anteriores, indicam que a interrupção teve origem no Tempo Adverso. As comparações foram consistentes, pois  $CR < 0,1$ .

As prioridades encontradas pelos 3 avaliadores são mostradas graficamente na Figura 5-11.

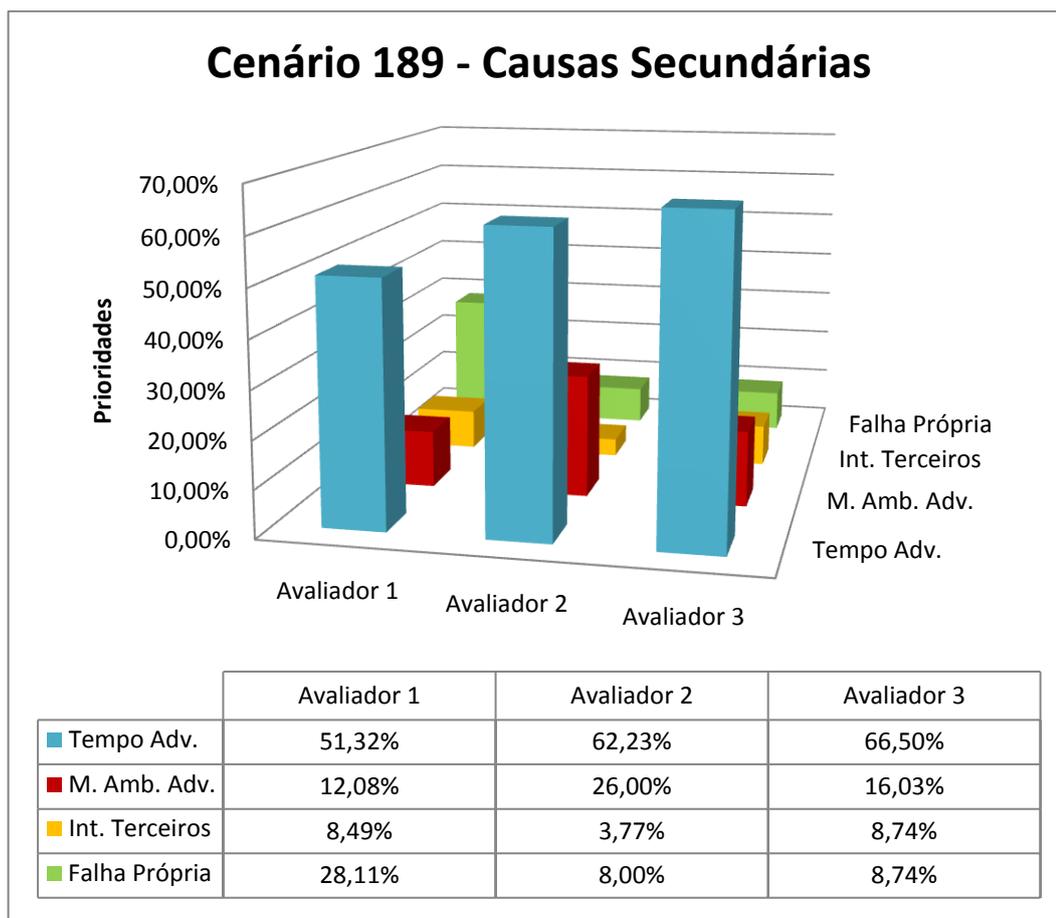


Figura 5-11: Cenário 189 – Prioridades das Causas Secundárias

### 5.6.2 Causa Primária

Os resultados obtidos nas comparações entre as causas primárias relacionadas ao Tempo Adverso são apresentados nesta seção.

A matriz de comparações montada a partir dos julgamentos do Avaliador 1 é mostrada na Tabela 5-32.

Tabela 5-32 – Cenário 189: Causas Primárias – Avaliador 1

	Matriz de Comparações			Vetor de Prioridades
	<i>ve</i>	<i>da</i>	<i>te</i>	
<i>ve</i>	1	1	3	0,4286
<i>da</i>	1	1	3	0,4286
<i>te</i>	1/3	1/3	1	0,1429
	$\lambda_{max} =$		3,0000	
	$CR =$		0,0000	Consistente

Os julgamentos realizados pelo Avaliador 1 apontam prioridades iguais para Vento e Descarga Atmosférica como possíveis causas da interrupção. Apesar de não apontar uma única causa primária como responsável pela falha, os julgamentos foram perfeitamente consistentes.

As comparações realizadas pelo Avaliador 2 resultam nos valores contidos na Tabela 5-33.

**Tabela 5-33 – Cenário 189: Causas Primárias – Avaliador 2**

Matriz de Comparações			Vetor de Prioridades	
<i>ve</i>	<i>da</i>	<i>te</i>		
<i>ve</i>	1	1	7	0,4667
<i>da</i>	1	1	7	0,4667
<i>te</i>	1/7	1/7	1	0,0667
$\lambda_{max} =$			3,0000	
$CR =$			0,0000	Consistente

Os resultados obtidos a partir dos questionários respondidos pelo Avaliador 2, de maneira muito semelhante aos obtidos pelo Avaliador 1, foram perfeitamente consistentes e não definiram a causa primária da interrupção – apontaram prioridades idênticas para as causas primárias Vento e Descarga Atmosférica.

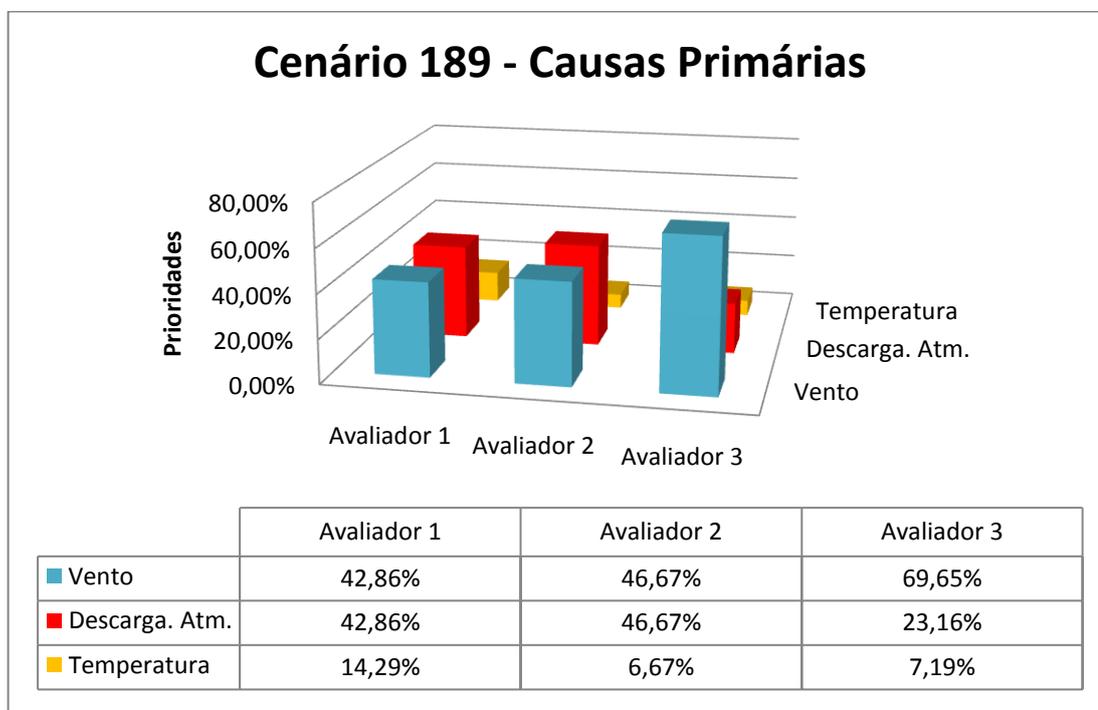
Os julgamentos realizados pelo Avaliador 3 resultaram na matriz de comparações demonstrada pela Tabela 5-34.

**Tabela 5-34 – Cenário 189: Causas Primárias – Avaliador 3**

Matriz de Comparações			Vetor de Prioridades	
<i>ve</i>	<i>da</i>	<i>te</i>		
<i>ve</i>	1	5	7	0,6965
<i>da</i>	1/5	1	5	0,2316
<i>te</i>	1/7	1/5	1	0,0719
$\lambda_{max} =$			3,1890	
$CR =$			0,1629	Inconsistente

Os resultados obtidos a partir dos questionários respondidos pelo Avaliador 3 apontaram o Vento como sendo a causa primária responsável pela interrupção. Os julgamentos são considerados inconsistentes, pois  $CR < 0,1$ .

Os resultados obtidos dos questionários respondidos pelos 3 avaliadores são apresentados na Figura 5-12.



**Figura 5-12: Cenário 189 – Prioridades das Causas Primárias**

O cenário da ocorrência relata um temporal no local da falha, de modo que ficou evidente que a falha era devida ao Tempo Adverso. Entretanto, não traz muitas informações que apontem de maneira mais clara qual a causa primária do evento, de modo que os primeiros dois avaliadores não chegaram a uma conclusão sobre a causa responsável pela interrupção, apontaram prioridades iguais para duas das causas primárias: Vento e Descarga Atmosférica. O terceiro avaliador foi o único cujos julgamentos apontaram para uma causa responsável – o vento –, entretanto, seus julgamentos foram considerados inconsistentes pelo método determinado pelo AHP. Os gráficos da Figura 5-12 demonstram essa incerteza nas respostas dos avaliadores, chegando a valores que não destacam nenhuma das causas primárias como responsável definitiva pelo evento.

## 5.7 Cenário 215

No local da ocorrência foram anotadas as seguintes informações:

- Tempo: **Chuva**
- Vento: **Não**
- Elemento de Interrupção: **Transformador**
- Elemento de Interrupção: **Pára-raios**
- Fatos Observados: **Nenhum**

### 5.7.1 Causa Secundária

Os resultados obtidos dos questionários respondidos pelos avaliadores, com relação à causa secundária da falha, são apresentados nesta seção.

A matriz de comparações montada a partir dos julgamentos realizadas pelo Avaliador 1 é formada pelos valores mostrados na Tabela 5-35.

**Tabela 5-35 – Cenário 215: Causas Secundárias – Avaliador 1**

	Matriz de Comparações				Vetor de Prioridades
	<i>TAD</i>	<i>MAA</i>	<i>ITE</i>	<i>FPS</i>	
<i>TAD</i>	1	8	8	8	0,7152
<i>MAA</i>	1/8	1	2	2	0,1311
<i>ITE</i>	1/8	1/2	1	1	0,0769
<i>FPS</i>	1/8	1/2	1	1	0,0769
$\lambda_{max} =$				4,0612	
$CR =$				0,0227	Consistente

O questionário respondido pelo Avaliador 1 aponta para uma falha causada por problemas devidos ao Tempo Adverso. Os julgamentos são considerados consistentes.

As comparações realizadas pelo Avaliador 2 são apresentadas na Tabela 5-36.

Tabela 5-36 – Cenário 215: Causas Secundárias – Avaliador 2

	Matriz de Comparações				Vetor de Prioridades
	TAD	MAA	ITE	FPS	
TAD	1	9	9	5	0,6523
MAA	1/9	1	1	1/5	0,0586
ITE	1/9	1	1	1/5	0,0586
FPS	1/5	5	5	1	0,2305
			$\lambda_{max} =$	4,1348	
			CR =	0,0499	Consistente

Os julgamentos realizados pelo avaliador 2 também apontam para causadas pelo Tempo Adverso, e as comparações também foram consistentes.

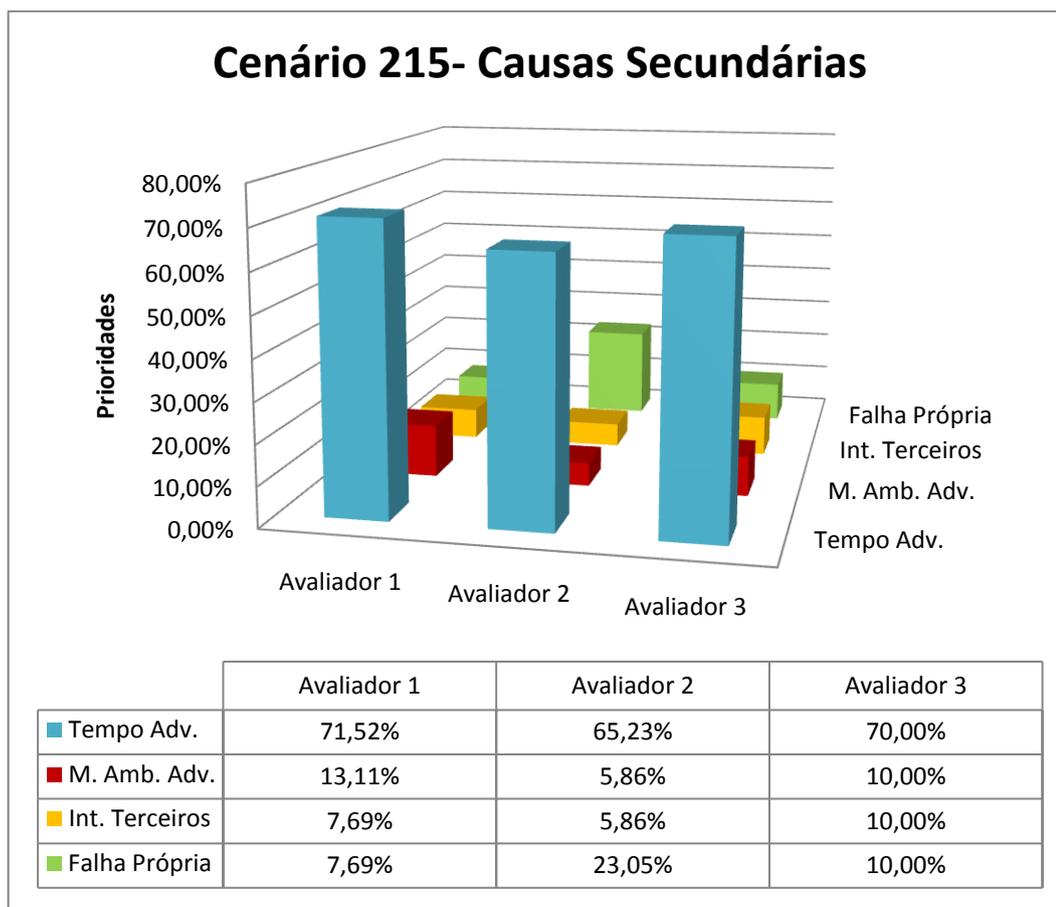
Os julgamentos realizados pelo Avaliador 3 são mostrados na Tabela 5-37.

Tabela 5-37 – Cenário 215: Causas Secundárias – Avaliador 3

	Matriz de Comparações				Vetor de Prioridades
	TAD	MAA	ITE	FPS	
TAD	1	7	7	7	0,7000
MAA	1/7	1	1	1	0,1000
ITE	1/7	1	1	1	0,1000
FPS	1/7	1	1	1	0,1000
			$\lambda_{max} =$	4,0000	
			CR =	0,0000	Consistente

Os julgamentos realizados pelo Avaliador 3, assim como os anteriores, indicam que a interrupção teve origem no Tempo Adverso. As comparações foram perfeitamente consistentes, pois  $CR = 0,0$ .

As prioridades encontradas pelos 3 avaliadores são mostradas graficamente na Figura 5-13.



**Figura 5-13: Cenário 215 – Prioridades das Causas Secundárias**

Verifica-se na Figura 5-13 que os julgamentos de todos os avaliadores apontam claramente para algum problema devido ao Tempo Adverso.

### 5.7.2 Causa Primária

Os resultados obtidos nas comparações entre as causas primárias consideradas possíveis são apresentados nesta seção.

A matriz de comparações montada a partir dos julgamentos do Avaliador 1 é mostrada na Tabela 5-38.

**Tabela 5-38 – Cenário 215: Causas Primárias – Avaliador 1**

Matriz de Comparações			Vetor de Prioridades	
<i>ve</i>	<i>da</i>	<i>te</i>		
<i>ve</i>	1	1/4	1	0,1667
<i>da</i>	4	1	4	
<i>te</i>	1	1/4	1	
$\lambda_{max} =$			3,0000	Consistente
$CR =$			0,0000	

Os julgamentos realizados pelo Avaliador 1 apontam para uma Descarga Atmosférica como causa da interrupção. Os julgamentos foram perfeitamente consistentes.

As comparações realizadas pelo Avaliador 2 resultam nos valores contidos na Tabela 5-39.

**Tabela 5-39 – Cenário 215: Causas Primárias – Avaliador 2**

Matriz de Comparações			Vetor de Prioridades	
<i>ve</i>	<i>da</i>	<i>te</i>		
<i>ve</i>	1	1/9	1	0,0909
<i>da</i>	9	1	9	
<i>te</i>	1	1/9	1	
$\lambda_{max} =$			3,0000	Consistente
$CR =$			0,0000	

Os resultados obtidos a partir dos questionários respondidos pelo Avaliador 2 também apontam uma Descarga Atmosférica como a causa primária da interrupção, e as comparações também foram perfeitamente consistentes.

Os julgamentos realizados pelo Avaliador 3 são apresentados na matriz de comparações mostrada pela Tabela 5-40.

Tabela 5-40 – Cenário 215: Causas Primárias – Avaliador 3

Matriz de Comparações			Vetor de Prioridades	
	ve	da		te
ve	1	1/7	1	0,1111 0,7778 0,1111
da	7	1	7	
te	1	1/7	1	
			$\lambda_{max} =$	3,0000
			CR =	0,0000
			Consistente	

Os julgamentos realizados pelo Avaliador 3 apontam uma Descarga Atmosférica como a causa primária responsável pela interrupção. Os julgamentos são considerados perfeitamente consistentes.

Os resultados obtidos dos julgamentos realizados pelos 3 avaliadores são apresentados na Figura 5-14.

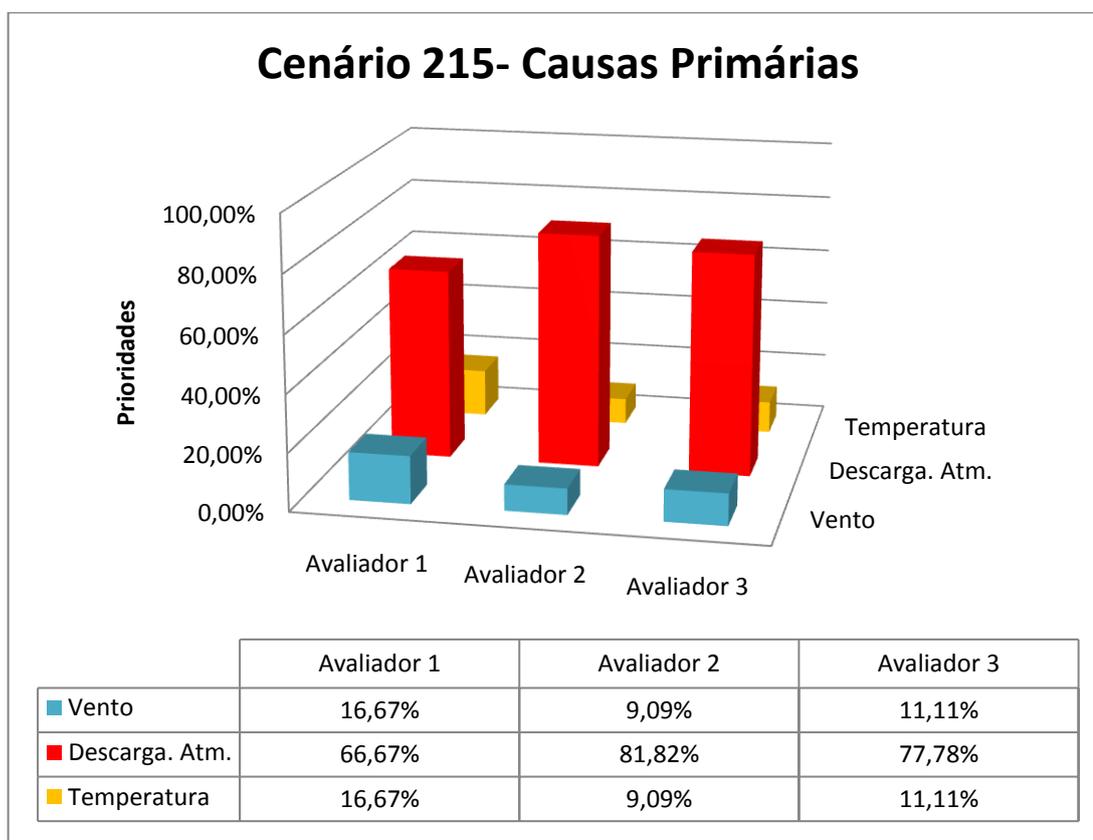


Figura 5-14: Cenário 215 – Prioridades das Causas Primárias

As prioridades obtidas pelos 3 avaliadores, mostradas graficamente na Figura 5-14, apontam claramente, que para ambos foi uma Descarga Atmosférica a causadora da interrupção. As informações sobre o evento descrevem que o tempo era chuvoso e que houve a atuação de um pára-raios. Dessa forma, o cenário desta ocorrência apresentava fatos suficientes para apoiar as decisões dos avaliadores que, por isso, responderam de maneira semelhante seus questionários e chegaram a uma conclusão comum.

## 5.8 Cenário 238

No local do evento foram anotadas as seguintes informações, descrevendo os fatos observados no local da interrupção:

- Tempo: **Bom**
- Vento: **Forte**
- Elemento de Interrupção: **Chave Fusível**
- Elemento de Interrupção: **Poste podre**
- Fatos Observados: **Nenhum**

### 5.8.1 Causa Secundária

As matrizes de comparações montadas a partir dos questionários respondidos pelos avaliadores, comparando as possíveis causas secundárias da falha, são apresentados nesta seção.

A Tabela 5-41 mostra os valores obtidos do questionário respondido pelo Avaliador 1.

**Tabela 5-41 – Cenário 238: Causas Secundárias – Avaliador 1**

	Matriz de Comparações				Vetor de Prioridades
	<i>TAD</i>	<i>MAA</i>	<i>ITE</i>	<i>FPS</i>	
<i>TAD</i>	1	6	6	1/8	0,2345
<i>MAA</i>	1/6	1	2	1/8	0,0727
<i>ITE</i>	1/6	1/2	1	1/8	0,0500
<i>FPS</i>	8	8	8	1	0,6428
$\lambda_{max} =$				4,5155	
$CR =$				0,1909	Inconsistente

Os julgamentos realizados pelo avaliador 1 indicam que a interrupção foi devida a Falhas Próprias do Sistema. As comparações foram inconsistentes, pois a  $CR > 0,1$ .

As comparações realizadas pelo Avaliador 2 são as apresentadas na Tabela 5-42.

**Tabela 5-42 – Cenário 238: Causas Secundárias – Avaliador 2**

	Matriz de Comparações				Vetor de Prioridades
	<i>TAD</i>	<i>MAA</i>	<i>ITE</i>	<i>FPS</i>	
<i>TAD</i>	1	9	9	1/9	0,2703
<i>MAA</i>	1/9	1	1	1/9	0,0486
<i>ITE</i>	1/9	1	1	1/9	0,0486
<i>FPS</i>	9	9	9	1	0,6326
$\lambda_{max} =$				4,7132	
$CR =$				0,2641	Inconsistente

Assim como no caso do Avaliador 1, os resultados obtidos a partir dos julgamentos realizados pelo Avaliador 2 apontam para Falhas Próprias do Sistema e as comparações foram consideradas inconsistentes.

As comparações feitas pelo Avaliador 3 resultaram nos valores mostrados na Tabela 5-43.

Tabela 5-43 – Cenário 238: Causas Secundárias – Avaliador 3

	Matriz de Comparações				Vetor de Prioridades
	TAD	MAA	ITE	FPS	
TAD	1	5	5	1/5	0,2305
MAA	1/5	1	1	1/9	0,0586
ITE	1/5	1	1	1/9	0,0586
FPS	5	9	9	1	0,6523
			$\lambda_{max} =$	4,1348	
			CR =	0,0499	Consistente

Os julgamentos realizados pelo Avaliador 3 também indicam que a interrupção teve origem em Falhas Próprias do Sistema, porém, as comparações deste último foram consistentes, diferente dos anteriores.

As prioridades encontradas pelos 3 avaliadores são apresentadas lado a lado no gráfico da Figura 5-15.

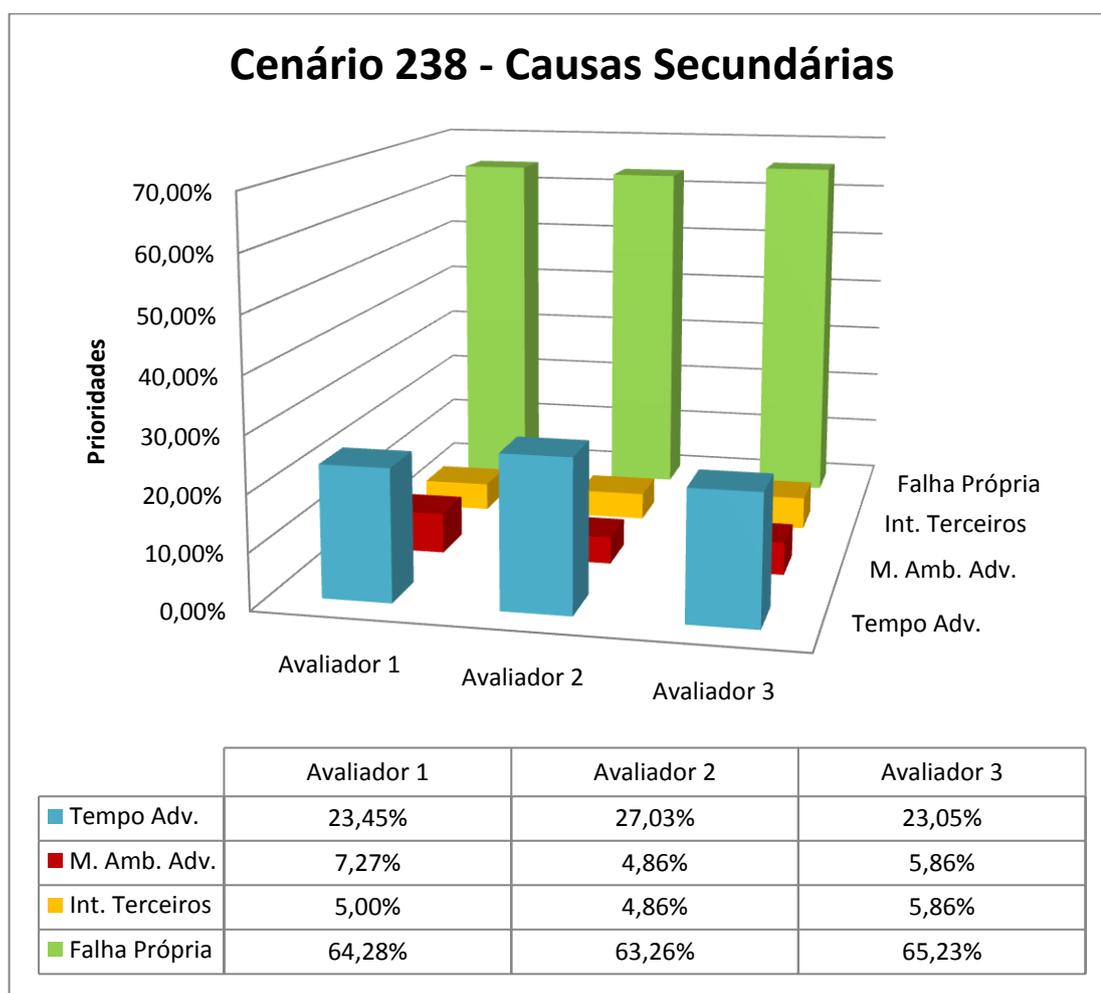


Figura 5-15: Cenário 238 – Prioridades das Causas Secundárias

Os julgamentos realizados pelos 3 avaliadores resultaram em prioridades muito semelhantes, identificando a interrupção como causada por alguma Falha Própria do Sistema, como se pode observar na Figura 5-15. Apesar disso, apenas um obteve comparações consideradas consistentes. Esse fato demonstra que, quando as informações apresentadas no cenário amparam seu entendimento sobre o evento, todos os avaliadores podem chegar à mesma conclusão, mesmo com algumas incoerências em suas respostas aos questionários.

### 5.8.2 Causa Primária

Sabendo-se que a interrupção teve origem em Falhas Próprias do Sistema, um novo questionário foi aplicado aos avaliadores, comparando as possíveis causas primárias. As tabelas abaixo demonstram os resultados obtidos.

A Tabela 5-44 contém os valores obtidos a partir dos julgamentos realizados pelo Avaliador 1.

**Tabela 5-44 – Cenário 238: Causas Primárias – Avaliador 1**

	Matriz de Comparações					Vetor de Prioridades
	<i>fc</i>	<i>ps</i>	<i>sc</i>	<i>er</i>	<i>dV</i>	
<i>fc</i>	1	4	2	4	4	0,4444
<i>ps</i>	1/4	1	1/2	1	1	0,1111
<i>sc</i>	1/2	2	1	2	2	0,2222
<i>Er</i>	1/4	1	1/2	1	1	0,1111
<i>dV</i>	1/4	1	1/2	1	1	0,1111
				$\lambda_{max} =$	5,0000	
				$CR =$	0,0000	Consistente

As comparações realizadas pelo Avaliador 1 apontam para uma Falha de Componente como causa da interrupção. Os julgamentos são considerados perfeitamente consistentes, pois  $CR = 0,0$ .

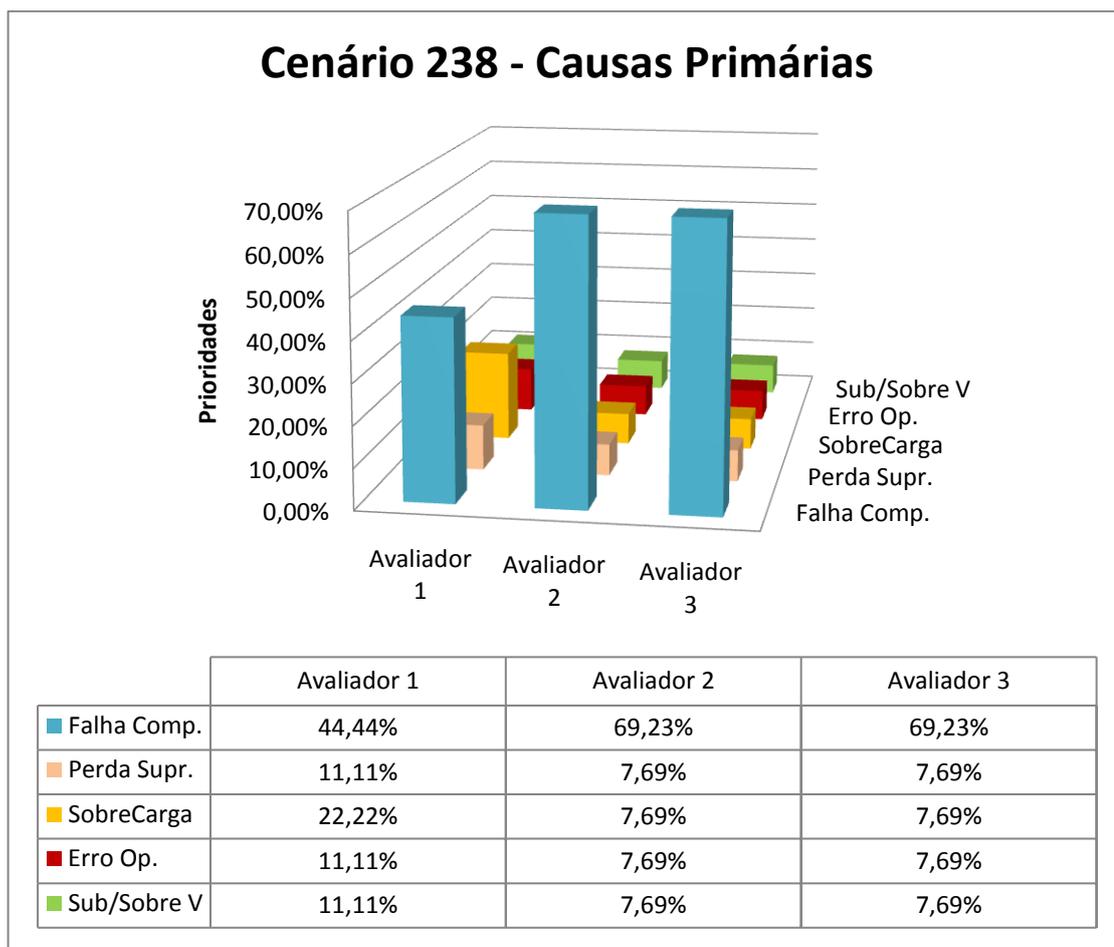
As comparações realizadas pelo Avaliador 2 e pelo Avaliador 3 foram idênticas e resultam nos valores contidos na Tabela 5-45.

Tabela 5-45 – Cenário 238: Causas Primárias – Avaliador 2 e Avaliador 3

	Matriz de Comparações					Vetor de Prioridades
	<i>fc</i>	<i>ps</i>	<i>sc</i>	<i>er</i>	<i>dV</i>	
<i>fc</i>	1	9	9	9	9	0,6923
<i>ps</i>	1/9	1	1	1	1	0,0769
<i>sc</i>	1/9	1	1	1	7	0,0769
<i>Er</i>	1/9	1	1	1	1	0,0769
<i>dV</i>	1/9	1	1	1	1	0,0769
				$\lambda_{max} =$	5,0000	
				$CR =$	0,0000	Consistente

Os julgamentos realizados pelos avaliadores 2 e 3 são bastante contundentes, pois os avaliadores demonstram ter certeza de que a interrupção foi causada por uma Falha de Componente e, por isso, utilizam o valor máximo de escala – dominância absoluta, 9 – ao comparar esta com as outras opções de causas primárias, enquanto, ao comparar as outras entre si, as julgam com prioridades Iguais ou Indiferentes – 1 na escala AHP. Essas comparações são consideradas perfeitamente consistentes.

As prioridades obtidas pelos avaliadores podem ser verificadas na Figura 5-16.



**Figura 5-16: Cenário 238 – Prioridades das Causas Primárias**

O cenário apresentado aos avaliadores os levou a apontar uma Falha de Componente como sendo a causa da interrupção. Esse era o resultado que se esperava encontrar, de modo que se pode concluir que a aplicação do método funcionou de maneira adequada neste evento. O fato de as informações descreverem um poste podre no local da falha foi o que fez com que os julgamentos fossem tão contundentes. Os questionários respondidos foram todos perfeitamente consistentes, devido à clareza do cenário exposto.

## 5.9 Cenário 295

As seguintes informações são apresentadas no cenário que descreve os fatos encontrados no local da ocorrência número 295:

- Tempo: **Neblina**
- Vento: **Não**
- Elemento de Interrupção: **Transformador**
- Elemento de Interrupção: -
- Fatos Observados: **Vandalismo**

### 5.9.1 Causa Secundária

Nesta seção são apresentadas tabelas com as matrizes de comparação e respectivos resultados, obtidos a partir dos questionários respondidos pelos três avaliadores na busca pela causa secundária da interrupção.

Na Tabela 5-46, são apresentados os valores obtidos do questionário respondido pelo Avaliador 1.

**Tabela 5-46 – Cenário 295: Causas Secundárias – Avaliador 1**

	Matriz de Comparações				Vetor de Prioridades
	<i>TAD</i>	<i>MAA</i>	<i>ITE</i>	<i>FPS</i>	
<i>TAD</i>	1	1	1/8	1/3	0,0740
<i>MAA</i>	1	1	1/8	1	0,0940
<i>ITE</i>	8	8	1	6	0,6921
<i>FPS</i>	3	1	1/6	1	0,1398
			$\lambda_{max} =$	4,1258	
			$CR =$	0,0466	Consistente

Os julgamentos realizados pelo avaliador 1 apontam para uma interrupção devida à Interferência de Terceiros. As comparações são consideradas consistentes, pois a Taxa de Consistência tem valor inferior a 0,1.

Na Tabela 5-47 são apresentados os valores obtidos pelo Avaliador 2 e pelo Avaliador 3, que foram idênticos.

Tabela 5-47 – Cenário 295: Causas Secundárias – Avaliador 2 e Avaliador 3

	Matriz de Comparações				Vetor de Prioridades
	TAD	MAA	ITE	FPS	
TAD	1	1	1/9	1	0,0833
MAA	1	1	1/9	1	0,0833
ITE	9	9	1	9	0,7500
FPS	1	1	1/9	1	0,0833
			$\lambda_{max} =$	4,0000	
			CR =	0,0000	Consistente

Os julgamentos realizados pelos avaliadores 2 e 3 também apontam para Interferência de Terceiros. As comparações por esses realizadas foram perfeitamente consistentes, com  $CR = 0$ .

As prioridades obtidas através dos questionários respondidos pelos 3 avaliadores são mostradas juntamente na Figura 5-17.

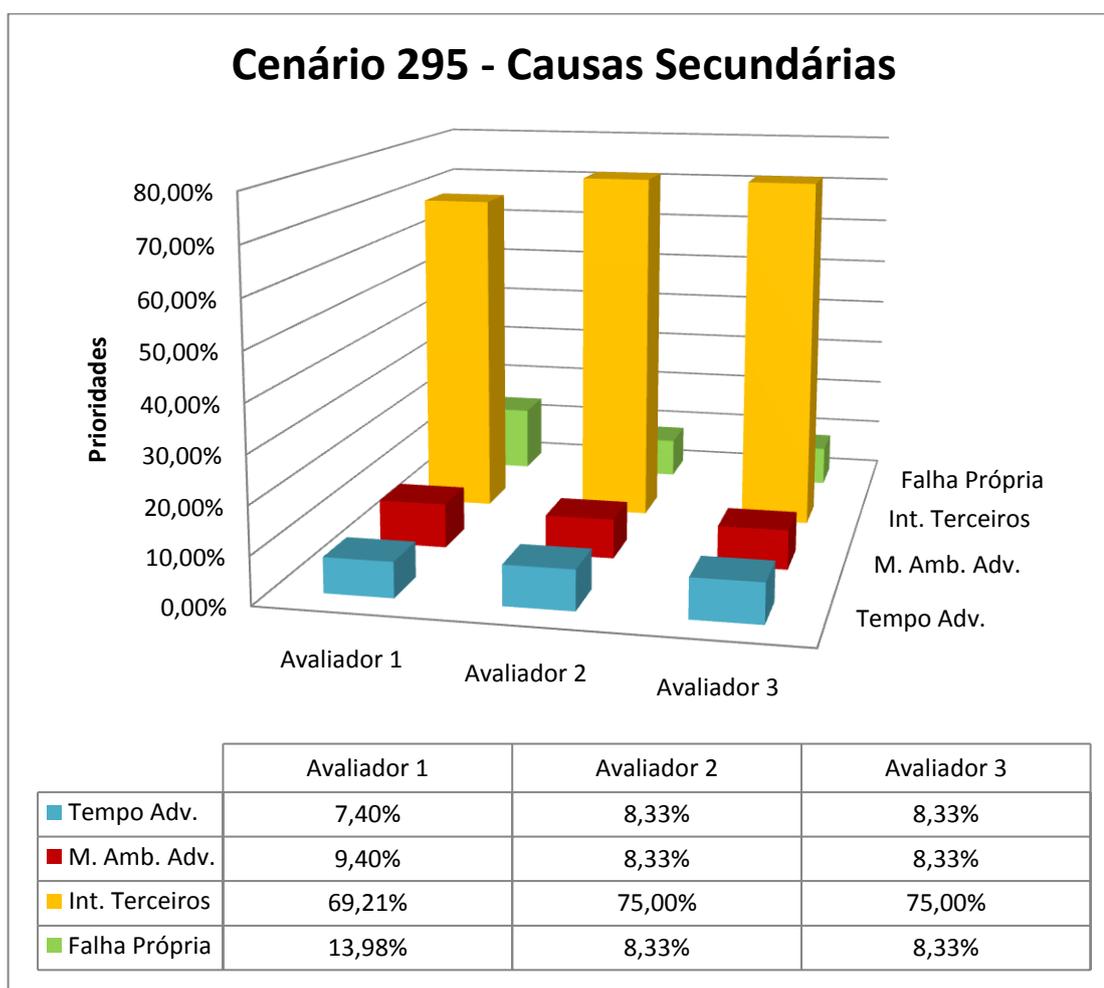


Figura 5-17: Cenário 295 – Prioridades das Causas Secundárias

A Figura 5-17 mostra claramente que os três avaliadores acreditam, conforme as respostas de dos questionários respondidos, que a interrupção teve origem na Interferência de Terceiros na rede de distribuição.

### 5.9.2 Causa Primária

Sabendo que a interrupção foi causada por alguma Interferência de Terceiros, busca-se agora encontrar qual das causas primárias associadas foi a responsável pelo evento. Nesta seção são apresentados os resultados obtidos na aplicação do método às causas primárias consideradas.

A matriz de comparações montada a partir dos julgamentos do Avaliador 1, acompanhada de seus respectivos resultados, é apresentada pela Tabela 5-48.

**Tabela 5-48 – Cenário 295: Causas Primárias – Avaliador 1**

	Matriz de Comparações				Vetor de Prioridades
	<i>ac</i>	<i>ob</i>	<i>fv</i>	<i>oe</i>	
<i>ac</i>	1	1	1/4	1	0,1429
<i>ob</i>	1	1	1/4	1	0,1429
<i>fv</i>	4	4	1	4	0,5714
<i>de</i>	1	1	1/4	1	0,1429
			$\lambda_{max} =$	4,0000	
			$CR =$	0,0000	Consistente

De acordo com os julgamentos realizados pelo Avaliador 1, a interrupção teve sua origem em um ato de Furto ou Vandalismo. As comparações foram perfeitamente consistentes, de modo que  $CR = 0$ .

Os valores obtidos a partir dos julgamentos realizados pelo Avaliador 2 são apresentados na Tabela 5-49.

**Tabela 5-49 – Cenário 295: Causas Primárias – Avaliador 2**

	Matriz de Comparações				Vetor de Prioridades
	<i>ac</i>	<i>ob</i>	<i>fv</i>	<i>de</i>	
<i>ac</i>	1	1	1/9	1	0,0833
<i>ob</i>	1	1	1/9	1	0,0833
<i>fv</i>	9	9	1	9	0,7500
<i>de</i>	1	1	1/9	1	0,0833
			$\lambda_{max} =$	4,0000	
			$CR =$	0,0000	Consistente

Os julgamentos realizados pelo Avaliador 2 também apontam para Furto ou Vandalismo como sendo a causa da interrupção, e as comparações também foram consideradas perfeitamente consistentes.

Os valores obtidos a partir dos julgamentos realizados pelo Avaliador 2 são apresentados na Tabela 5-50.

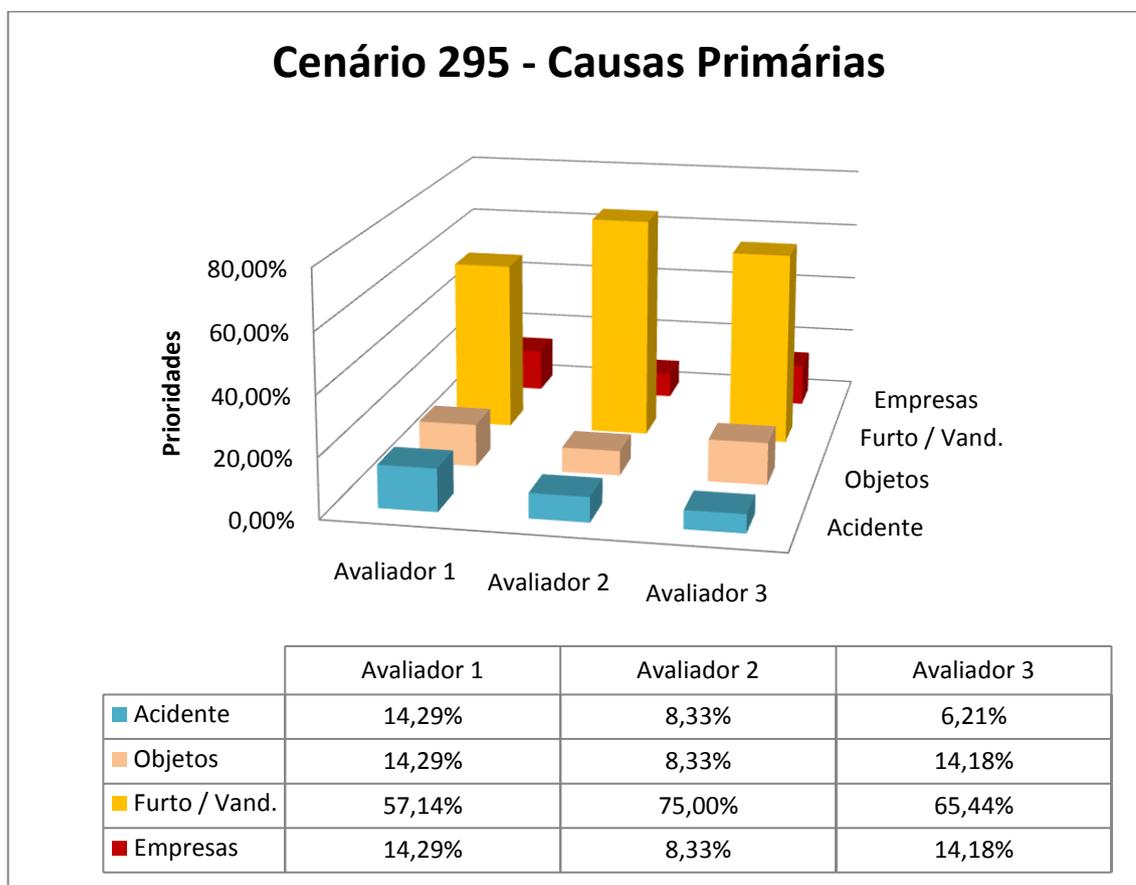
**Tabela 5-50 – Cenário 295: Causas Primárias – Avaliador 3**

	Matriz de Comparações				Vetor de Prioridades
	<i>ac</i>	<i>ob</i>	<i>fv</i>	<i>de</i>	
<i>ac</i>	1	1/3	1/7	1/3	0,0621
<i>ob</i>	3	1	1/6	1	0,1418
<i>fv</i>	7	6	1	6	0,6544
<i>de</i>	3	1	1/6	1	0,1418
			$\lambda_{max} =$	4,1145	
			$CR =$	0,0424	Consistente

Os julgamentos realizados pelo Avaliador 3 também apontam para um ato de Furto ou Vandalismo como causa da interrupção. As comparações são consideradas consistentes.

Os resultados obtidos a partir dos questionários respondidos pelos 3 avaliadores apontam para a mesma causa primária como responsável pelo evento: Furto ou Vandalismo. Tais resultados podem ser vistos na Figura 5-18, onde são mostrados lado a lado. Este era um cenário em que a causa da interrupção era evidente, pois fora descrito que havia sinais de vandalismo no local da ocorrência, o que facilitou a compreensão do evento e a realização dos

juízos no questionário, de modo que todos os avaliadores chegaram à mesma conclusão e com resultados bastante semelhantes e consistentes.



**Figura 5-18: Cenário 295 – Prioridades das Causas Primárias**

## 5.10 Cenário 320

No local da ocorrência de número 320 foram relatadas as seguintes informações:

- Tempo: **Temporal**
- Vento: **Forte**
- Elemento de Interrupção: **Transformador**
- Elemento de Interrupção: -
- Fatos Observados: **Árvores em contato com a rede**

### 5.10.1 Causa Secundária

Os resultados extraídos dos julgamentos realizados pelos 3 avaliadores, buscando identificar o tipo de problema que provocou a interrupção neste evento, são apresentadas nesta seção.

Os valores obtidos pelo Avaliador 1 são apresentados na Tabela 5-51.

**Tabela 5-51 – Cenário 320: Causas Secundárias – Avaliador 1**

	Matriz de Comparações				Vetor de Prioridades
	<i>TAD</i>	<i>MAA</i>	<i>ITE</i>	<i>FPS</i>	
<i>TAD</i>	1	3	6	4	0,5109
<i>MAA</i>	1/3	1	6	3	0,2740
<i>ITE</i>	1/6	1/6	1	1/6	0,0513
<i>FPS</i>	1/4	1/3	6	1	0,1638
			$\lambda_{max} =$	4,3328	
			$CR =$	0,1233	Inconsistente

Os julgamentos realizados pelo Avaliador 1 indicam que este, a partir da descrição do evento que lhe foi apresentada, acredita que a interrupção foi devida a algum problema ocasionado pelo Tempo Adverso. As comparações foram inconsistentes, pois  $CR = 0,1233 > 0,1$ .

Os valores obtidos pelo Avaliador 2 são apresentados na Tabela 5-52.

**Tabela 5-52 – Cenário 320: Causas Secundárias – Avaliador 2**

	Matriz de Comparações				Vetor de Prioridades
	<i>TAD</i>	<i>MAA</i>	<i>ITE</i>	<i>FPS</i>	
<i>TAD</i>	1	6	9	7	0,5881
<i>MAA</i>	1/6	1	9	7	0,2692
<i>ITE</i>	1/9	1/9	1	1/6	0,0361
<i>FPS</i>	1/7	1/7	6	1	0,1065
			$\lambda_{max} =$	4,8055	
			$CR =$	0,2983	Inconsistente

A exemplo do Avaliador 1, o Avaliador 2 apontou o Tempo Adverso como responsável pela interrupção, também com julgamentos inconsistentes.

Tabela 5-53 – Cenário 320: Causas Secundárias – Avaliador 3

	Matriz de Comparações				Vetor de Prioridades
	TAD	MAA	ITE	FPS	
TAD	1	1/5	5	5	0,2305
MAA	5	1	9	9	0,6523
ITE	1/5	1/9	1	1	0,0586
FPS	1/5	1/9	1	1	0,0586
			$\lambda_{max} =$	4,0661	
			CR =	0,0247	Consistente

Diferente dos avaliadores anteriores, o Avaliador 3 apontou o Meio Ambiente Adverso como sendo o tipo de problema que provocou a interrupção, e seus julgamentos foram considerados consistentes.

As causas secundárias apontadas pelos três avaliadores são apresentadas graficamente na Figura 5-19.

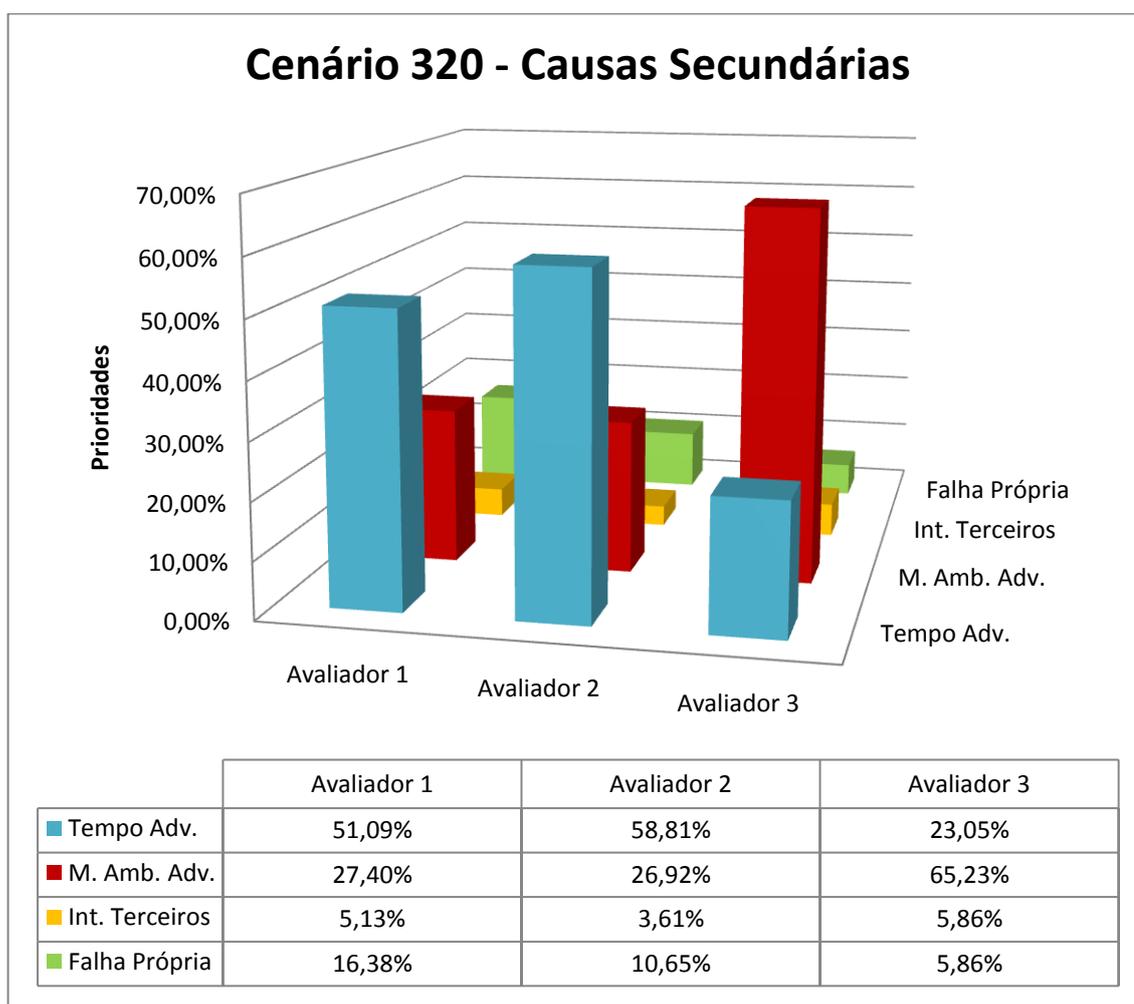


Figura 5-19: Cenário 320 – Prioridades das Causas Secundárias

Neste cenário, os julgamentos de dois dos três avaliadores apontaram o Tempo Adverso como sendo o tipo de problema que provocou a interrupção. Entretanto, os fatos observados no local da ocorrência relatam que havia árvores ou galhos em contato com a rede, de modo que o evento tem origem nesta interferência do meio ambiente – Meio Ambiente Adverso.

Este é um problema conceitual sobre qual é a causa e quais as conseqüências de um evento de interrupção não programada. Conforme descrito na seção 2.3.2, quando um vento balança um vegetal, fazendo com que este toque a rede elétrica, a causa é o Vegetal, e não o Vento. Se a árvore estivesse devidamente podada, não ocorreria essa interação entre ela e a rede. De acordo com os conceitos adotados, a causa é o Vento somente nas situações em que este é forte o bastante para quebrar ou arrancar árvores e arremessá-las contra o sistema de distribuição.

No entanto, aparentemente este conceito não estava claro para os avaliadores, pois interpretaram, erroneamente, esse tipo de fenômeno como causado pelo Tempo Adverso. Isso reforça a idéia de que os questionários devem, além de ser sustentados em cenários com informações suficientes para embasar qualquer análise, ser respondidos por pessoas que sejam especialistas no assunto e tenham clareza na distinção entre as causas de problemas e suas respectivas conseqüências no sistema elétrico.

## 5.11 Avaliação dos Resultados

A Figura 5-20 apresenta os resultados obtidos por cada um dos três avaliadores, sem levar em conta as análises de consistência realizadas em cada julgamento. Na figura estão representados os erros e acertos dos avaliadores, em cada um dos dez cenários testados, definidos por três tipos de sinais: o sinal de acerto – “V”, em verde –, que significa que os julgamentos do avaliador apontaram para a resposta certa, mesmo que por uma pequena margem percentual; o sinal de erro – “X”, em vermelho – que significa que os julgamentos do avaliador apontaram a resposta errada; e o sinal de advertência – “!”, em amarelo – que indica que os julgamentos do avaliador foram inconclusivos.

Resultados Obtidos Para cada Avaliador						
Cenário	Causa Secundária			Causa Primária		
	Av. 1	Av. 2	Av. 3	Av. 1	Av. 2	Av. 3
1	✓	✓	✓	✓	✓	✓
22	✓	✓	✓	✓	✓	✓
53	✓	✓	✓	✓	✓	✓
149	✓	✓	✓	✓	✓	✓
157	✓	✓	✓	✓	✓	✓
189	✓	✓	✓	!	!	✓
215	✓	✓	✓	✓	✓	✓
238	✓	✓	✓	✓	✓	✓
295	✓	✓	✓	✓	✓	✓
320	✗	✗	✓	-	-	-

Figura 5-20: Resultados dos avaliadores em cada cenário

Verifica-se na Figura 5-20 que em oito dos dez cenários avaliados os três avaliadores realizaram julgamentos coerentes, tais que chegaram à resposta correta para a causa do evento; em um cenário, o de número 189, dois avaliadores foram inconclusivos em seus julgamentos, chegando à probabilidades iguais entre duas das prioridades primárias; e, em apenas um dos dez cenários, dois dos avaliadores apontaram para a resposta errada, fato que ocorreu logo na identificação da causa secundária, de modo que nem foi realizado o processo de identificação da causa primária, pois obviamente os avaliadores seriam conduzidos a errar, uma vez que a causa primária do evento não estaria entre as associadas à secundária apontada pelos julgamentos.

Esses resultados mostram que o modelo desenvolvido apresenta uma boa organização dos dados obtidos do banco de dados da empresa distribuidora de energia, pois em oito dos dez cenários testados todos os avaliadores realizaram julgamentos tais que apontaram para os fenômenos corretos, responsáveis pelas falhas. Provavelmente as respostas dos avaliadores 1 e 2 fossem corretas, ao invés de inconclusivas, no cenário 189, se o mesmo apresentasse mais informações, que descrevessem o evento de maneira mais clara. No caso do cenário 320, o erro pode ser atribuído a uma questão de critério, conforme descrito na subseção 5.10.1.

## 6 CONCLUSÃO

O tratamento de informações sobre interrupções não programadas é imprescindível para qualquer empresa distribuidora de energia. Contudo, essa tarefa envolve alguns pontos críticos, que impactam na qualidade das informações coletadas, especialmente no que se refere à maneira como os dados sobre os eventos são obtidos e à forma como são organizados e armazenados. Apontar as causas de falhas no sistema de distribuição é uma tarefa que envolve a observação de muitos fatores no local da ocorrência, o que a torna complicada para os eletricitistas se os dados tiverem de ser coletados de forma manual, e até mesmo secundária perante a necessidade do rápido restabelecimento do fornecimento.

Uma alternativa eficiente, ao construir um cenário para descrever uma ocorrência, seria unir as informações observadas pela equipe da manutenção no local do evento a dados provenientes do SCADA. Entretanto, essa não é uma prática normalmente adotada pelas empresas de energia elétrica, de modo que cada cenário fica limitado às observações realizadas no local, as quais nem sempre são acuradas, visto que as equipes de campo normalmente têm como objetivo principal restaurar o sistema com a maior brevidade possível, e não descrever com riqueza de detalhes a situação encontrada

Dados incorretos sobre os eventos de interrupções não programadas resultam na interpretação incorreta sobre as causas desses eventos, não permitindo assim que a empresa possa aproveitar tais informações para direcionar seus recursos de maneira adequada, como forma de mitigar a ocorrência de eventos semelhantes.

O banco de dados, alimentado com as informações sobre interrupções não programadas enfrentadas pelo sistema de distribuição da empresa, é essencial na

análise das causas de tais eventos, pois é através das descrições nele relatadas que se obtém subsídios para compreender e avaliar cada ocorrência. Entretanto, observa-se que, muitas vezes, as empresas de energia mantêm bancos de dados repletos de dados inconsistentes e com alto grau de incerteza, de modo que, apesar da enorme quantidade eventos armazenados pela empresas em seus bancos de dados, poucas informações úteis são obtidas.

Apesar das inconsistências e incertezas presentes nos dados armazenados, verifica-se que processos de descoberta de conhecimento são capazes e eficientes em extrair informações úteis, que podem ser utilizadas no processo de busca pelas causas de interrupções não programadas no sistema de distribuição de energia. Neste trabalho, a partir de uma base de dados com registros de 26.283 eventos previamente tratados, foi construído um banco de dados que apresenta todos os cenários possíveis, baseado na variação das informações presentes consideradas relevantes – condições atmosféricas, elementos de interrupção e fatos observados –, resultando em 347 cenários, através dos quais foram avaliados os eventos de interrupção não programada.

Conforme apresentado ao longo do texto, diversas metodologias, baseadas em diversos métodos matemáticos e sistemas inteligentes, já foram utilizadas na solução do problema de identificação de causas de falhas no sistema de distribuição de energia elétrica. Neste trabalho foi proposta a aplicação do Processo Analítico Hierárquico, que é um método baseado na comparação pareada entre as possíveis soluções de problemas de tomada de decisão, para buscar as causas de interrupções não programadas. Nesse intuito, foi desenvolvido um modelo para adaptar a abordagem ao problema de modo que permita a aplicação do AHP.

Foi observado na literatura encontrada que essa carece de modelos completos para identificação das causas de interrupções não programadas, pois as referências encontradas, em sua generalidade, abordam o problema de maneira incompleta, buscando a identificação de poucas dentre as diversas possíveis causas de falhas. Em muitos casos, os estudos são direcionados a apontar, entre dois tipos de problemas, qual é o enfrentado em cada evento. Neste trabalho o problema foi abordado de maneira mais abrangente, com o intuito de considerar uma quantidade de fenômenos capaz de descrever qualquer problema enfrentado pelo sistema de distribuição de energia elétrica.

Nesta dissertação, dezesseis fenômenos foram considerados como capazes de provocar interrupções forçadas no fornecimento de energia elétrica. Esses fenômenos foram agrupados em quatro grupos, distinguindo-os de acordo com a natureza de cada um, como artifício para viabilizar a resolução do problema através da metodologia proposta. Sem esse agrupamento dos fenômenos, haveria uma explosão combinatorial na resolução do problema, que resultaria em uma enorme quantidade de comparações entre tais fenômenos, ocasionando inconsistências nos julgamentos dos avaliadores, uma vez que se torna confusa a comparação entre um número exagerado de elementos. Uma das maiores dificuldades enfrentadas no trabalho foi justamente a construção de um modelo que permitisse a aplicação do método proposto ao problema de identificação de causas, uma vez que não foram encontradas aplicações semelhantes na literatura.

Tendo estabelecido o modelo considerado adequado para resolver o problema utilizando o Processo Analítico Hierárquico, foram elaborados questionários através dos quais o AHP é aplicado. Cada evento avaliado tem descrito o cenário que remonta as considerações obtidas no momento e local onde a interrupção foi encontrada. Os questionários foram desenvolvidos na plataforma oferecida pelo serviço “*Google Docs*”, no intuito de poderem ser respondidos através da internet. A maneira como esses questionários foram elaborados mostrou-se muito eficiente, pois os questionários puderam ser enviados aos avaliadores definidos de maneira rápida, bem como puderam ser respondidos e trabalhados de maneira eficiente e igualmente rápida, mostrando assim também que a ferramenta “*Google Docs*” é uma boa alternativa para problemas que necessitam a interação de pessoas geograficamente distantes.

Neste trabalho, a partir dos cenários montados, os avaliadores responderam aos questionários realizando os julgamentos da maneira descrita na subseção 4.4.1. Com o objetivo de validar o modelo desenvolvido, foram escolhidos 10 cenários, dentre os 347 considerados, representando situações diferentes encontradas no banco de dados utilizado. Para cada cenário escolhido, foram enviados questionários para três avaliadores, cujos julgamentos resultam nos valores apresentados no capítulo de resultados.

Como se pôde observar no capítulo 5, os julgamentos dos avaliadores apontaram as causas correta em oito dos dez eventos avaliados, sendo que os

erros nos outros dois cenários foram devidos: um à falta de informações no cenário, para embasar os julgamentos dos avaliadores; e o outro ao fato de os avaliadores considerarem o evento de maneira diferente à considerada neste trabalho. Além dos bons resultados encontrados e da possibilidade de aplicação em casos em que não se tem tantas informações quanto seria ideal para a análise de eventos de interrupção não programada através de outros métodos, pode-se destacar ainda, como grande benefício proporcionado pela aplicação do AHP, que o método permite qualificar gradativa e constantemente um banco de dados histórico através da opinião de especialistas no assunto. Desse modo, comprova-se a viabilidade do modelo elaborado e, conseqüentemente, do AHP na identificação de causas de falhas no sistema de distribuição de energia elétrica.

## 6.1 Trabalhos Futuros

Nesta dissertação foi abordado um tema sumamente importante para as empresas distribuidoras de energia elétrica, que é a identificação de causas de falhas no sistema de distribuição. Devido à importância do assunto e à falta de trabalhos realizados na área, pode-se elencar alguns trabalhos que podem vir a contribuir bastante com a melhoria no sistema das empresas de energia elétrica e, conseqüentemente, nas metas de continuidade a que essas são impostas.

- **Criação de um novo banco de dados** – a principal dificuldade enfrentada no problema de identificação de causas é a falta de informações úteis nos bancos de dados utilizados pelas concessionárias de energia. Nem sempre é possível dar o tratamento adequado aos eventos de interrupções não programadas, devido à pobreza das informações coletadas em cada interrupção, de modo que o processo de identificação é comprometido por informações inaccuradas ou ausentes. A reestruturação do banco de dados pode contribuir para um conhecimento muito mais aprofundado sobre os problemas que impõem falhas ao sistema de distribuição.

- **Agregar informações obtidas de outras fontes** – quando uma interrupção no fornecimento acontece, a empresa de energia normalmente é alertada por contatos telefônicos de seus clientes. Além disso, o sistema supervisor do sistema elétrico estima os estados desse em diversos pontos da rede. Seria de grande valia enriquecer o banco de dados com informações oriundas de sistemas *Trouble Call* e SCADA.
- **Aplicativo de coleta** – junto a um novo banco de dados, é importante o desenvolvimento de um aplicativo de coleta de informações para alimentar esse banco. Uma boa idéia é um trabalho conforme o desenvolvido por Pretto (Pretto, 2005). O aplicativo deve ser amigável para que as equipes de campo possam inserir as informações necessárias sobre cada evento, sem que isso tome tempo e atrapalhe sua rotina de restabelecimento do fornecimento.
- **Outras metodologias de identificação** – as metodologias de identificação encontradas na literatura são baseadas em diferentes classificações das possíveis causas de falhas, muitas vezes insuficientes para avaliar o problema como um todo. Este trabalho foi baseado em uma relação mais completa de causas, seria interessante aplicar outros métodos de identificação à relação de causas proposta nesta dissertação, especialmente métodos inteligentes que não precisem da interação de especialistas para avaliar cada evento.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL. Resolução ANEEL nº 24, de 27 de janeiro de 2000. Estabelece as disposições relativas à Continuidade da Distribuição de energia às Unidades Consumidoras.
- Aguado, E., Burt, J.E, (1999). Understanding Climate and Weather. Upper Saddle River, New Jersey. Prentice-Hall, Inc.
- Akash, B. A, Mamlook, R., Mohsen, M. S. (1999). Multi-Criteria Selection of Power Plants Using Analytical Hierarchy Process. *Electric Power System Research*, Vol 52, pp. 29-35.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT. NBR 5462 – Confiabilidade e manutenibilidade. 1994.
- Baraças, F. J. L., Machado, J. P. A. (2006). A Análise Multicritério na Tomada de Decisão – o Método Analítico Hierárquico de T. L. Saaty. Princípios Fundamentais e seu Desenvolvimento. Instituto Superior de Engenharia de Coimbra. Departamento de Engenharia Civil.
- Barin, A., Canha, L. N., Magnago, K. F., Abaide, A. R. (2009). Gerenciamento de Fontes Alternativas de Geração Distribuída utilizando uma Análise Multicriterial Baseada no Método AHP e na Lógica Fuzzy. Anais do XX SNPTTE – Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica. Trabalho GPT 19.
- Billinton, R., (1989). Distribution Systems Reliability Indices. *IEEE Transactions on Power Delivery*. Vol. 4, Nº 1, pp. 561-568.
- Billinton, R., (1995). “System and Equipment Performance Assessment – Reliability, Security and Power Quality of Distribution Systems”.
- Billinton, R., Allan, R. N., (1984). “Reliability Evaluation of Power Systems”. New York. Plenum Press.
- Brown, R.E., (2002). Electric power Distribution reliability. New York, NY. Marcel Dekker, Inc.
- Brown, R.E., Gupta, S., Christie, R. D., Venkata, S. S., Fletcher, R. (1997). Distribution System Reliability Assessment: Momentary Interruptions

- and Storms. IEEE Transaction on Power Delivery, Vol. 12, Nº. 4. pp. 1569-1575.
- Camargo, C. Celso de B., (1981). “Confiabilidade Aplicada a Sistemas de Potência Elétrica”. Rio de Janeiro, RJ. Livros Técnicos e Científicos Editora S.A.
- Chien, Chen-Fu; Chen, Shi-Lin; Lin, Yih-Shin. Using Bayesian Network for Fault Location on Distribution Feeder. IEEE Transactions on Power Delivery. v. 17, n. 3, p. 785 – 793, 2002.
- Chisholm, W. A., Cress, S. L., Polak, J., (2001). Lightning-Caused Distribution Outages. Transmission and Distribution Conference and Exposition. IEEE/PES. Vol. 2 pp. 1041-1046.
- Chow, M.-Y., Yee S. O., Taylor L. S., (1993). Recognizing Animal-Caused Faults in Power Distribution Systems Using Artificial Neural Networks. IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 8, Nº. 3.
- Chowdhury, A. A., Koval, D. O., (2009). Power Distribution System Reliability. IEEE Press. John Wiley & Sons, Inc.
- Coelho, J., (2005). “Metodologia para Acompanhamento de Metas dos Indicadores de Continuidade DEC e FEC”. VI SBQEE – Seminário Brasileiro sobre Qualidade de Energia Elétrica. pp. 397-402.
- Costa, H. G. (2002). Introdução ao Método de Análise Hierárquica: “Análise Multicritério no Auxílio à Decisão. Apostila - Engenharia e Instituto de Computação da UFF. Niterói.
- Eletrobrás. (1982). Coleção Distribuição de Energia Elétrica, volume 3 – Desempenho de Sistemas de Distribuição. Rio de Janeiro, RJ. Editora Campus.
- Grupo de Eletricidade Atmosférica, do INPE – ELAT. <http://www.inpe.br/webelat/homepage/>. Site Acessado em 27/04/2009.
- IEEE Std – 1366. (1998). Trial-Use Guide for Electric Power Distribution Reliability Indices.
- IEEE Std – 493. (1997). Recommended Practice for the Design of Reliable Industrial and Commercial Power Systems.
- Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE. <http://www.inpe.br/>. Site acessado em 26/04/2009.

Jornal Zero Hora.

<http://zerohora.clicrbs.com.br/zerohora/jsp/default.jsp?uf=1&local=1&section=Geral&newsID=a2817291.xml>. Notícia publicada em 22/02/2010.

LaCommare, K. H., Eto, J. H. (2004). Understanding the Cost of Power Interruptions to U.S. Electricity Consumers. Ernest Orlando Lawrence Berkeley National Laboratory – University of California Berkeley – Berkeley, California. LBNL-55718.

Lin, Z., Gao, L., Zhang, D., Ren, P., Li, Y. (2006). Application of Analytic Hierarchy Process in Power Lines Maintenance. Proceedings of the 6th World Congress on Intelligent Control and Automation, pp. 7596-7598.

Momoh, J. A., Zhu, J. (2003). Optimal Generation Scheduling Based on AHP/ANP. IEEE Transaction on Systems, Man, and Cybernetics, Vol. 33, No 3, pp. 531-535.

Momoh, J. A.; Zhu, J. (1998). Application of AHP/ANP to unit Commitment in the Deregulated Power Industry. Proceedings of IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics. pp. 817-821.

Nassar, S.M.; Coelho, J.; Wronscki, V.R.; Queiroz, H.; Gauche, E. Identificação de condições climáticas adversas através de redes bayesianas. In: IX SEPOPE - Symposium of Specialists in Electrical Operational and Expansion Planning, 2004, Rio de Janeiro. Proceedings... v. 1, p. 1-5.

Nunes Jr., L. F. (2006). Tomada de Decisão com Múltiplos Critérios: Pesquisa-Ação sobre o Método AHP em Pequenas Empresas. Dissertação de Mestrado, Taubaté.

Oprisan, M., Filippeli, F., Clark, I. M., Billinton, R., (1991). A Reliability Data System for the Reporting of Forced Outages of Distribution Equipment. WESCANEX 91 – IEEE Western Canada Conference on Computer, Power and Communications Systems in a Rural Environment. pp. 267-270.

Pinto Jr., O., Pinto, (2000). Tempestades e Relâmpagos no Brasil. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. São José dos Campos, SP.

- Pretto, C. O., (2005). Sistema de Coleta e Tratamento de Informações sobre Desligamentos Não Programados Baseado em computadores Móveis. Dissertação de Mestrado, PPGEE, PUCRS.
- Revista Electric Energy Online.  
[http://www.electricenergyonline.com/?page=show\\_news&?ID=119359](http://www.electricenergyonline.com/?page=show_news&?ID=119359).  
 9. Notícia publicada em 29/09/2009.
- Saaty, T. L. (1980). The Analytic Hierarchy Process, New York: McGraw Hill.
- Saaty, T. L. (2004). Decision Making – The Analytic Hierarchy and Network Processes (AHP/ANP). Journal of Systems Science and Systems Engineering. Vol. 13, Nº 1, pp. 1-35.
- Saaty, T. L. (2008). Decision Making with the Analytic Hierarchy Process. Int. J. Services Sciences, Vol. 1, Nº. 1, pp. 85-91.
- Software Criterium DecisionPlus – CDP. Disponível no site <http://www.infoharvest.com/>.
- Sumic, Z., Vidyanand, R., (1996). Fuzzy Set Theory Based Outage Determination. IEEE.
- T. L. Saaty, M. S. Ozdemir. (2003). Why the Magic Number Seven Plus or Minus Two. Mathematical and Computer Modelling 38, pp. 233-244.
- Tronchoni, A. B., (2008). Identificação de Causas de Desligamentos Não Programados em Redes de Distribuição. Dissertação de Mestrado, PPGEE, PUCRS.
- Tronchoni, A. B., Pretto, C. O., Rosa, M. A., Lemos, F. A. B. (2010). Descoberta de Conhecimento em Base de Dados de Eventos de Desligamentos de Empresas de Distribuição. Revista Brasileira de Automática. Vol. 21, pp. xx – xx. (In press).
- Tronchoni, A.B.; Pretto, C.O.; Licks, V.; Rosa, M.A.; Lemos, F.A.B. Forced Outage Cause Identification Based on Bayesian Networks. In: 2007 IEEE Lausanne Powertech, 2007, Lausanne - Swiss. Proceedings... v. 1, p. 1-6.
- Wang, P., Billinton, R. (2002). Reliability Cost/Worth of Distribution Systems Incorporating Time-Varying Weather Conditions and Restoration Resources. IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 17, Nº. 1, pp. 260-265.

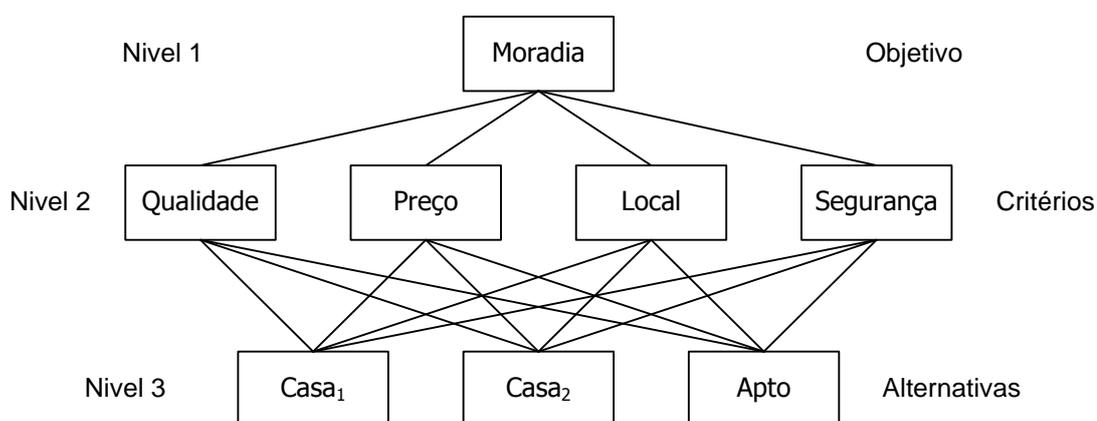
- Wolf, C. S. (2008). O Método AHP – Revisão Conceitual e Proposta de Simplificação. Dissertação de Mestrado. PUCRJ.
- Xu, L., Chow, M.-Y., (2005). Power Distribution Systems Fault Cause Identification Using Logistic Regression and Artificial Neural Network. 13<sup>th</sup> ISAP – International Conference on Intelligent System Application to Power Systems, pp. 163-168.
- Yang, C.L.; Chuang, S.P.; Huang, R.H.; Tai, C.C. (2008). Location Selection Based on AHP/ANP Approach. International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management, pp. 1148-1153.
- Zhu, J. Z., Chang, C. S., Yan, W., Xu, G. Y. (1998). Reactive Power Optimisation using an Analytic Hierarchy Process and a Nonlinear Optimisation Neural Network Approach. IEE Proc. Generation, Transmission and distribution – Part C. Vol 145, Nº 1, pp. 89-97.

# APÊNDICE A: EXEMPLO DE APLICAÇÃO DO AHP

Neste apêndice é apresentado um exemplo para ilustrar a aplicação do AHP, onde são demonstradas as etapas de seu funcionamento, seguindo a estrutura hierárquica apresentada pela Figura 3-1.

O *Objetivo* no exemplo é escolher uma nova moradia dentre três *Alternativas*: casa 1 – C1, casa 2 – C2, e apartamento – Apto. A pessoa que está buscando seu novo lar considera os seguintes *Critérios* na escolha: qualidade de vida – QV: se o lugar é arborizado, tranqüilo, confortável; preço do imóvel – Pr; localização – Loc: proximidade de serviços necessários como mercado, escola; e segurança – Seg.

O primeiro passo para a resolução do problema é montar a hierarquia que o representa, conforme a Figura A-1.



**Figura A-1: Hierarquia para o exemplo da escolha de uma moradia**

O passo seguinte é realizar as comparações entre os critérios.

	Abso- luta	Muito Forte	Forte	Fraca	Igual ou Indiferente	Fraca	Forte	Muito Forte	Abso- luta	
QV	___	___	X	___	___	___	___	___	___	Pr
QV	___	___	___	___	X	___	___	___	___	Loc
QV	___	___	X	___	___	___	___	___	___	Seg
Pr	___	___	___	___	___	X	___	___	___	Loc
Pr	___	___	___	___	X	___	___	___	___	Seg
Loc	___	___	___	X	___	___	___	___	___	Seg

**Figura A-2: Comparações entre os Critérios no exemplo**

Como se pode observar nas marcações no questionário da **Figura A-2**, o comprador tem preferência **forte** pelo critério qualidade de vida com relação aos critérios preço do imóvel e segurança; preferência entre **fraca** e **igual** da qualidade de vida sobre a localização do imóvel; preferência **fraca** da localização com relação a ambos preço e segurança; e preferência entre **fraca** e **igual** da segurança sobre o preço do imóvel.

Pode-se então montar a matriz que relaciona os critérios, iniciando pelos os elementos com os valores obtidos no questionário, de acordo com a escala AHP – apresentada na Tabela 3-1, e depois preenchendo seus recíprocos. A matriz de comparações será a mostrada abaixo.

$$A = \begin{matrix} & QV & Pr & Loc & Seg \\ \begin{matrix} QV \\ Pr \\ Loc \\ Seg \end{matrix} & \begin{bmatrix} 1 & 5 & 2 & 5 \\ 1/5 & 1 & 1/3 & 1/2 \\ 1/2 & 3 & 1 & 3 \\ 1/5 & 2 & 1/3 & 1 \end{bmatrix} & & & \end{matrix} \quad \text{A-1}$$

Tendo montada a matriz de comparações, o próximo passo é encontrar o vetor de prioridades dos critérios, que representará a preferência do comprador com relação aos mesmos.

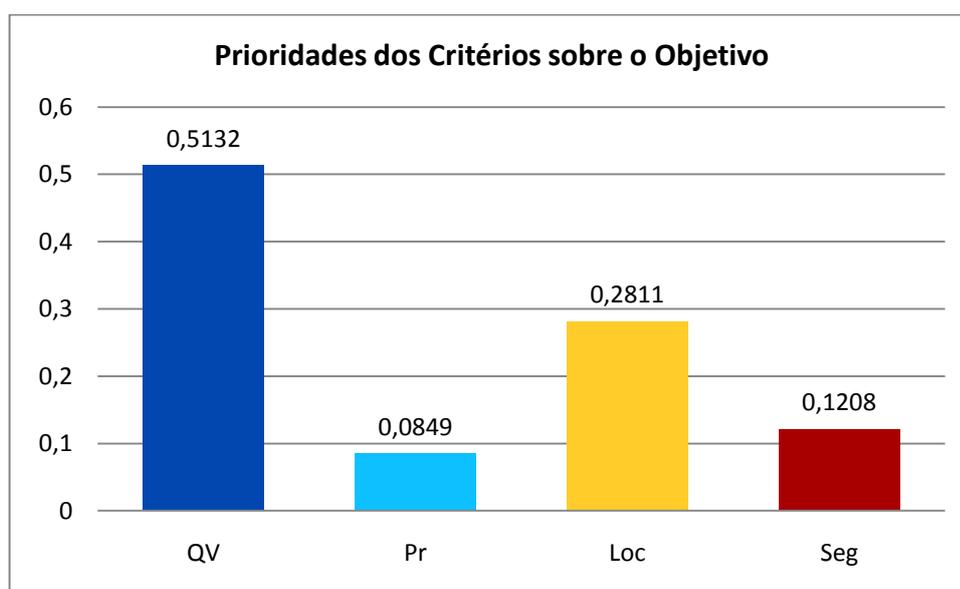
Conforme explicado na seção 3.4, as colunas da matriz de comparações são normalizadas. A matriz resultante neste exemplo será:

$$A = \begin{matrix} & QV & Pr & Loc & Seg \\ \begin{matrix} QV \\ Pr \\ Loc \\ Seg \end{matrix} & \begin{bmatrix} 0,5263 & 0,4545 & 0,5455 & 0,5263 \\ 0,1053 & 0,0909 & 0,0909 & 0,0526 \\ 0,2632 & 0,2727 & 0,2727 & 0,3158 \\ 0,1053 & 0,1818 & 0,0909 & 0,1053 \end{bmatrix} & & & \end{matrix} \quad \text{A-2}$$

E o vetor que representa a prioridade de cada critério com relação ao objetivo é dado pela média aritmética das linhas da matriz:

$$wC = \begin{matrix} QV \\ Pr \\ Loc \\ Seg \end{matrix} \begin{bmatrix} 0,5132 \\ 0,0849 \\ 0,2811 \\ 0,1208 \end{bmatrix} \quad \mathbf{0-3}$$

Verifica-se que, para o comprador, na escolha de sua nova moradia, o critério mais importante é a qualidade de vida que esta lhe proporcionará, seguido pela localização, segurança e, por último, o preço do imóvel. A Figura A-3 mostra as prioridades graficamente.



**Figura A-3: Prioridades dos Critérios sobre o Objetivo**

Pode-se agora verificar a consistência dos julgamentos realizados. Conforme já fora descrito, para atender à equação 3-14, obtêm-se os valores de  $\lambda_i$  da maneira definida na equação 3-15. **Erro! Fonte de referência não encontrada..** Tem-se que:

$$\lambda_1 = \frac{1 \times 0,5132 + 5 \times 0,0849 + 2 \times 0,2811 + 5 \times 0,1208}{0,5132} = 4,1002 \quad \mathbf{A-4}$$

$$\lambda_2 = \frac{1/5 \times 0,5132 + 1 \times 0,0849 + 1/3 \times 0,2811 + 1/2 \times 0,1208}{0,0849} = 4,0230 \quad \mathbf{A-5}$$

$$\lambda_3 = \frac{1/2 \times 0,5132 + 3 \times 0,0849 + 1 \times 0,2811 + 3 \times 0,1208}{0,2811} = 4,1085 \quad \mathbf{A-6}$$



**Figura A-4: Comparações entre Alternativas à luz do Critério QV**

Donde se constrói, da maneira demonstrada anteriormente, a matriz de comparações, neste caso representando as comparações realizadas entre as três alternativas, com respeito ao critério QV.

$$QV = \begin{matrix} & C1 & C2 & Apto \\ \begin{matrix} C1 \\ C2 \\ Apto \end{matrix} & \begin{bmatrix} 1 & 1/3 & 5 \\ 3 & 1 & 7 \\ 1/5 & 1/7 & 1 \end{bmatrix} \end{matrix} \quad \text{A-11}$$

Aplicando-se o AHP, chega-se às prioridades das alternativas sobre o Critério em questão, QV:

$$w_{QV} = \begin{matrix} C1 \\ C2 \\ Apto \end{matrix} \begin{bmatrix} 0,2828 \\ 0,6434 \\ 0,0738 \end{bmatrix} \quad \text{A-12}$$

Quanto à análise de consistência dos julgamentos, chega-se aos seguintes valores:

$$\lambda_{max} = 3,0655 \geq n = 3 \quad \text{A-13}$$

$$\mu = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} = \frac{3,0655 - 3}{3 - 1} = 0,0328 \quad \text{A-14}$$

$$CR = \frac{\mu}{RI} = \frac{0,0328}{0,58} = 0,0565 < 0,1 \quad \text{A-15}$$

E conclui-se que os julgamentos realizados, comparando a influência de cada alternativa sobre o Critério QV, são consistentes.

Repetindo-se o processo de comparação das alternativas, considerando os Critérios restantes no exemplo, têm-se os questionários abaixo respondidos, seguidos dos valores encontrados em cada análise.

	Abso- luta	Muito Forte	Forte	Fraca	Igual	Fraca	Forte	Muito Forte	Abso- luta
Casa1	___	___	___	X	___	___	___	___	Casa2
Casa1	___	___	___	___	X	___	___	___	Apto
Casa2	___	___	___	___	___	X	___	___	Apto

**Figura A-5: Comparações entre Alternativas à luz do Critério Pr**

$$wPr = \begin{matrix} C1 \\ C2 \\ Apto \end{matrix} \begin{bmatrix} 0,5571 \\ 0,1226 \\ 0,3202 \end{bmatrix} \quad \text{A-16}$$

$$\lambda_{max} = 3.0183 \geq n = 3 \quad \text{A-17}$$

$$\mu = \frac{3.0183 - 3}{3 - 1} = 0,0328 \quad \text{A-18}$$

$$CR = \frac{0,0328}{0,58} = 0.0158 < 0,1 \quad \text{A-19}$$

	Abso- luta	Muito Forte	Forte	Fraca	Igual	Fraca	Forte	Muito Forte	Abso- luta
Casa1	___	___	___	___	X	___	___	___	Casa2
Casa1	___	___	___	___	___	X	___	___	Apto
Casa2	___	___	___	___	___	X	___	___	Apto

**Figura A-6: Comparações entre Alternativas à luz do Critério Loc**

$$wLoc = \begin{matrix} C1 \\ C2 \\ Apto \end{matrix} \begin{bmatrix} 0,2519 \\ 0,1593 \\ 0,5889 \end{bmatrix} \quad \text{A-20}$$

$$\lambda_{max} = 3.0539 \quad \text{A-21}$$

$$\mu = 0.0270 \quad \text{A-22}$$

$$CR = 0.0465 \quad \text{A-23}$$

	Abso-luta	Muito Forte	Forte	Fraca	Igual	Fraca	Forte	Muito Forte	Abso-luta
Casa1	—	—	—	—	—	X	—	—	Casa2
Casa1	—	—	—	—	—	—	X	—	Apto
Casa2	—	—	—	—	—	—	X	—	Apto

**Figura A-7: Comparações entre Alternativas à luz do Critério Seg**

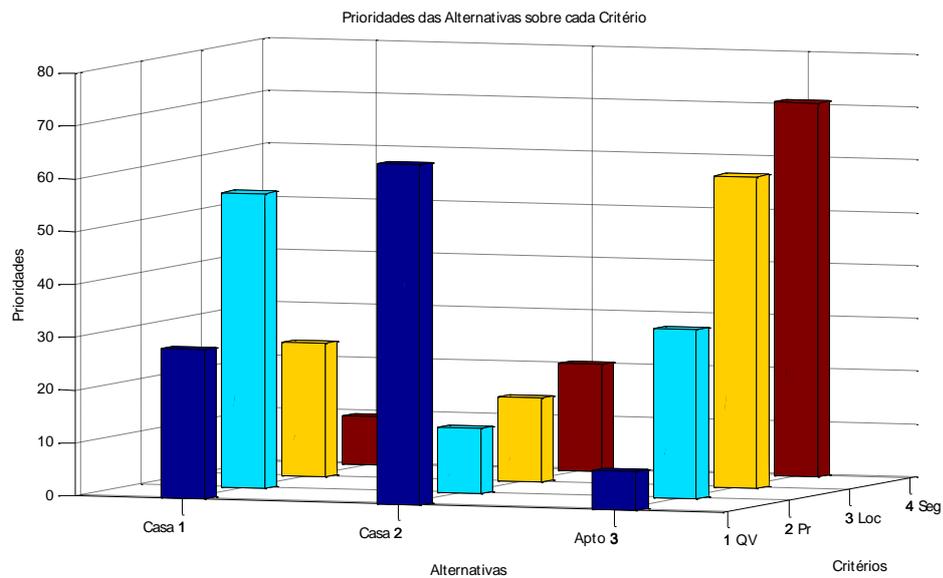
$$wSeg = \begin{matrix} C1 \\ C2 \\ Apto \end{matrix} \begin{bmatrix} 0,0915 \\ 0,2014 \\ 0,7071 \end{bmatrix} \quad \text{A-24}$$

$$\lambda_{max} = 3.0958 \quad \text{A-25}$$

$$\mu = 0.0479 \quad \text{A-26}$$

$$CR = 0.0826 \quad \text{A-27}$$

A Figura A-8, com intuito apresentar as relações entre Alternativas e Critérios de maneira conjunta, agrupa os resultados em gráfico que as mostra as prioridades relativas das Alternativas sobre cada um dos Critérios considerados.



**Figura A-8: Prioridades Relativas das Alternativas sobre cada Critério**

Conhecendo a influência dos Critérios sobre o Objetivo e de das Alternativas sobre cada Critério, chega-se finalmente à solução ao problema: o Vetor de Prioridades.

A prioridade de cada alternativa sobre o Objetivo é, conforme descrito na equação 3-9, o somatório dos produtos entre seu peso sobre cada Critério e o peso do Critério sobre o Objetivo, conforme calculado abaixo para cada uma das três Alternativas.

$$w_{casa1} = 0,2828 \times 0,5132 + 0,5571 \times 0,0849 + 0,2519 \times 0,2811 + 0,0915 \times 0,1208$$

$$= \mathbf{0,2743} \quad \mathbf{0-28}$$

$$w_{casa2} = 0,6434 \times 0,5132 + 0,1226 \times 0,0849 + 0,1593 \times 0,2811 + 0,2014 \times 0,1208$$

$$= \mathbf{0,4097} \quad \mathbf{0-29}$$

$$w_{Apto} = 0,0738 \times 0,5132 + 0,3202 \times 0,0849 + 0,5889 \times 0,2811 + 0,7071 \times 0,1208$$

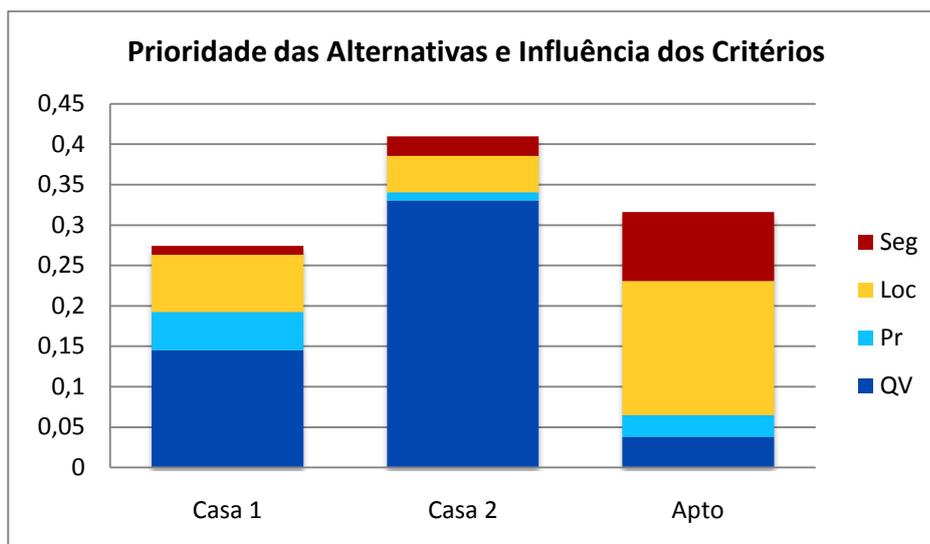
$$= \mathbf{0,3160} \quad \mathbf{0-30}$$

A Tabela A-1 expõe todas as relações representadas na hierarquia: o peso dos Critérios sobre o Objetivo, na segunda linha; o peso de cada Alternativa sobre cada Critério, em colunas abaixo desses; e, por fim, o peso de cada Alternativa sobre o Objetivo – o Vetor de Prioridades.

**Tabela A-1 – Pesos dos elementos nas comparações**

	<b>QV</b>	<b>Pr</b>	<b>Loc</b>	<b>Seg</b>	<b>Vetor de Prioridades – W (%)</b>
<b>O</b>	0,5132	0,0849	0,2811	0,1208	
<b>Casa<sub>1</sub></b>	0,2828	0,5571	0,2519	0,0915	<b>0,2743</b>
<b>Casa<sub>2</sub></b>	0,6434	0,1226	0,1593	0,2014	<b>0,4097</b>
<b>Apto</b>	0,0738	0,3202	0,5889	0,7071	<b>0,3160</b>

Uma boa ilustração dos valores encontrados é a apresentada pela Figura A-9. Nessa estão representadas a prioridade de cada Alternativa e a contribuição de cada Critério no peso de cada Alternativa.



**Figura A-9: Prioridade das Alternativas e influência dos Critérios**

Por fim, pode-se calcular a consistência do processo hierárquico completo. Conforme a equação 3-21,  $CR_{total}$  será:

$$CR = \frac{0,0219 \times 1 + 0,0328 \times 0,5132 + 0,0092 \times 0,0849 + 0,027 \times 0,2811 + 0,0479 \times 0,1208}{0,9 \times 1 + 0,58 \times 0,5132 + 0,58 \times 0,0849 + 0,58 \times 0,2811 + 0,58 \times 0,1208} \quad \mathbf{0-31}$$

$$CR = \frac{0,0528}{0,9 + 0,58} = 0,0357 < 0,1 \quad \mathbf{0-32}$$

A rotina de programação que resulta nos resultados apresentados, executada no MATLAB, é apresentada no Apêndice B.

## APÊNDICE B: ROTEIRO DE EXEMPLO DE AHP NO MATLAB

Neste apêndice é apresentada rotina de programação, executada no MATLAB, que resulta nos valores apresentados no exemplo do Apêndice A.

```
% Método AHP - Desenvolvido para a hierarquia exemplo da dissertação:
% estrutura com 3 níveis, sendo o primeiro o nível do Objetivo, o segundo o
% nível dos Critérios, e o terceiro o nível das alternativas.
clear;clc

% O nível 2 consiste de 4 Critérios: QV - Qualidade de Vida; Pr - Preço;
% Loc - Localização; e Seg - Segurança.
% As comparações entre os Critérios, realizadas através de questionário,
% resultam em uma matriz com dimensão 4x4, da qual se extrai o vetor que
% dita a influência exercida por cada critério sobre o objetivo - O.

QVxPr = 5;
QVxLoc = 2;
QVxSeg = 5;

PrxQV = 1 / QVxPr;
PrxLoc = 1/3;
PrxSeg = 1/2;

LocxQV = 1 / QVxLoc;
LocxPr = 1 / PrxLoc;
LocxSeg = 3;

SegxQV = 1 / QVxSeg;
SegxPr = 1 / PrxSeg;
SegxLoc = 1 / LocxSeg;

disp 'Matriz de Comparações dos Critérios'
C = [1 QVxPr QVxLoc QVxSeg; PrxQV 1 PrxLoc PrxSeg;
     LocxQV LocxPr 1 LocxSeg; SegxQV SegxPr SegxLoc 1]

% autovalor principal da Matriz de Reciprocidade dos Critérios'
eigC = eig(C);
eigC = max(eigC);

CL = C;

% Normalizar as colunas da matriz.
nC = length(C);
cC=zeros(1,nC);
for j=1:nC
    for i=1:nC
        cC(j)=cC(j)+C(i,j);
    end
end
```



## % ANÁLISES DAS ALTERNATIVAS

% O nível 3 consiste de 3 Alternativas: C1 - Casa1; C2 - Casa2; e Apto - Apartamento.  
 % Para medir a influência das 3 Alternativas sobre os 4 Critérios presentes neste exemplo , serão  
 % construídas 4 matrizes, com dimensão 3x3, cada uma relacionada a um dos Critérios.

% Para o primeiro Critério - QV, as comparações são as seguintes:

C1xC2 = 1/3;  
 C1xApto = 5;

C2xC1 = 3;  
 C2xApto = 7;

AptoxC1 = 1 / C1xApto;  
 AptoxC2 = 1 / C2xApto;

% disp 'Matriz de Reciprocidade das Alternativas à luz de QV'

QV = [1 C1xC2 C1xApto; C2xC1 1 C2xApto; AptoxC1 AptoxC2 1]  
 CL = QV;

eigQV = eig(QV);  
 % autovalor principal  
 eigQV = max(eigQV);

% Normalização da Matriz

nQV = length(QV);  
 cQV=zeros(1,nQV);  
 for j=1:nQV  
   for i=1:nQV  
   cQV(j)=cQV(j)+QV(i,j);  
   end  
 end

for i=1:nQV  
   for j=1:nQV  
   QV(i,j) = QV(i,j)/cQV(j);  
   end  
 end

% disp 'Matriz Normalizada das Alternativas à luz de QV'  
 % QV'

% Vetor de prioridade:

wQV = zeros(nQV,1);  
 for i=1:nQV  
   for j=1:nQV  
   wQV(i)=wQV(i)+QV(i,j);  
   end  
 end

disp 'Vetor de Prioridade das Alternativas sobre QV'  
 wQV = wQV / nQV

% Checar a consistência do resultado encontrado a partir do  
 % autovalor principal, que deve ser o mais próximo de 'n':

%%%%%%%%%%%%  
 lambdaQV = zeros(nQV,1);  
 for i=1:nQV

```

    for j=1:nQV
        lambdaQV(i) = lambdaQV(i) + CL(i,j)*wQV(j);
    end
    lambdaQV(i) = lambdaQV(i) / wQV(i);
end

lamb = 0;
for i=1:nQV
    lamb = lamb + lambdaQV(i);
end
lambdaQV = lamb / nQV

disp 'erro percentual no autovalor principal'
erroQV = abs((eigQV-lambdaQV)/eigQV)*100
% erroQV = 0.0204%

% Consistência das alternativas com relação ao Critério 1
CI_QV = (lambdaQV-nQV)/(nQV-1)      % 0.0328
CR_QV = CI_QV/RI(nQV)              % CR_QV = 0.0565

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

% Para o segundo Critério - Pr, as comparações são as seguintes:
C1xC2 = 4;
C1xApto = 2;

C2xC1 = 1 / C1xC2;
C2xApto = 1/3;

AptoxC1 = 1 / C1xApto;
AptoxC2 = 1 / C2xApto;

% disp 'Matriz de Reciprocidade das Alternativas à luz de Pr'
Pr = [1 C1xC2 C1xApto; C2xC1 1 C2xApto; AptoxC1 AptoxC2 1]
CL = Pr;

eigPr = eig(Pr);
% autovalor principal
eigPr = max(eigPr);

% Normalização da matriz
nPr = length(Pr);
cPr=zeros(1,nPr);
for j=1:nPr
    for i=1:nPr
        cPr(j)=cPr(j)+Pr(i,j);
    end
end

for i=1:nPr
    for j=1:nPr
        Pr(i,j) = Pr(i,j)/cPr(j);
    end
end
% disp 'Matriz Normalizada dos Fatores'
% Pr

```

```

% Vetor de prioridade:
wPr = zeros(nPr,1);
for i=1:nPr
    for j=1:nPr
        wPr(i)=wPr(i)+Pr(i,j);
    end
end
disp 'Vetor de Prioridade das Alternativas sobre Pr'
wPr = wPr / nPr

% Teste de Consistência:
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
lambdaPr = zeros(nPr,1);
for i=1:nPr
    for j=1:nPr
        lambdaPr(i) = lambdaPr(i) + CL(i,j)*wPr(j);
    end
    lambdaPr(i) = lambdaPr(i) / wPr(i);
end

lamb = 0;
for i=1:nPr
    lamb = lamb + lambdaPr(i);
end
lambdaPr = lamb / nPr

disp 'erro percentual no autovalor principal'
erroPr = abs((eigPr-lambdaPr)/eigPr)*100
% erroPr = 9.9682e-004

% Consistência das alternativas com relação ao Critério 2
CI_Pr = (lambdaPr-nPr)/(nPr-1)    % CI_Pr = 0.0092
CR_Pr = CI_Pr/RI(nPr)
% CR_Pr = 0.0158

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

% Para o terceiro Critério - Loc, as comparações são as seguintes:
C1xC2 = 2;
C1xApto = 1 / 3;

C2xC1 = 1 / C1xC2;
C2xApto = 1/3;

AptoxC1 = 1 / C1xApto;
AptoxC2 = 1 / C2xApto;

% disp 'Matriz de Reciprocidade das Alternativas '
Loc = [1 C1xC2 C1xApto; C2xC1 1 C2xApto; AptoxC1 AptoxC2 1]
CL = Loc;

eigLoc = eig(Loc);
% autovalor principal
eigLoc = max(eigLoc);

% Normalização da Matriz
nLoc = length(Loc);

```

```

cLoc=zeros(1,nLoc);
for j=1:nLoc
    for i=1:nLoc
        cLoc(j)=cLoc(j)+Loc(i,j);
    end
end

for i=1:nLoc
    for j=1:nLoc
        Loc(i,j) = Loc(i,j)/cLoc(j);
    end
end

% disp 'Matriz Normalizada das Alternativas à luz de Loc'
% Loc

% Vetor de prioridade:
wLoc = zeros(nLoc,1);
for i=1:nLoc
    for j=1:nLoc
        wLoc(i)=wLoc(i)+Loc(i,j);
    end
end
disp 'Vetor de Prioridade das Alternativas sobre Loc'
wLoc = wLoc / nLoc

% Teste de Consistência:
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
lambdaLoc = zeros(nLoc,1);
for i=1:nLoc
    for j=1:nLoc
        lambdaLoc(i) = lambdaLoc(i) + CL(i,j)*wLoc(j);
    end
    lambdaLoc(i) = lambdaLoc(i) / wLoc(i);
end

lamb = 0;
for i=1:nLoc
    lamb = lamb + lambdaLoc(i);
end
lambdaLoc = lamb / nLoc           % = 3.0539

disp 'erro percentual no autovalor principal'
erroLoc = abs((eigLoc-lambdaLoc)/eigLoc)*100
% erroLoc = 0.0093%

% Consistência das alternativas com relação ao Critério 3
CI_Loc = (lambdaLoc-nLoc)/(nLoc-1)      % CI_Loc = 0.0270
CR_Loc = CI_Loc/RI(nLoc)                 % CR_Loc = 0.0465

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

% Para o quarto e último Critério - Seg, as comparações são as seguintes:
C1xC2 = 1/3;
C1xApto = 1/6;

C2xC1 = 1 / C1xC2;
C2xApto = 1/5;

```

```

AptoxC1 = 1 / C1xApto;
AptoxC2 = 1 / C2xApto;

% disp 'Matriz de Reciprocidade das Alternativas à luz de Seg'
Seg = [1 C1xC2 C1xApto; C2xC1 1 C2xApto; AptoxC1 AptoxC2 1]
CL = Seg;

eigSeg = eig(Seg);
% autovalor principal da Matriz
eigSeg = max(eigSeg);

% Normalização da Matriz.
nSeg = length(Seg);
cSeg=zeros(1,nSeg);
for j=1:nSeg
    for i=1:nSeg
        cSeg(j)=cSeg(j)+Seg(i,j);
    end
end

for i=1:nSeg
    for j=1:nSeg
        Seg(i,j) = Seg(i,j)/cSeg(j);
    end
end
% disp 'Matriz Normalizada das Alternativas à luz de Seg'
% Seg

% Vetor de prioridade:
wSeg = zeros(nSeg,1);
for i=1:nSeg
    for j=1:nSeg
        wSeg(i)=wSeg(i)+Seg(i,j);
    end
end
disp 'Vetor de Prioridade das Alternativas sobre Seg'
wSeg = wSeg / nSeg

% Teste de consistência
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
lambdaSeg = zeros(nSeg,1);
for i=1:nSeg
    for j=1:nSeg
        lambdaSeg(i) = lambdaSeg(i) + CL(i,j)*wSeg(j);
    end
    lambdaSeg(i) = lambdaSeg(i) / wSeg(i);
end

lamb = 0;
for i=1:nSeg
    lamb = lamb + lambdaSeg(i);
end
lambdaSeg = lamb / nSeg

disp 'erro percentual no autovalor principal'
erroSeg = abs((eigSeg-lambdaSeg)/eigSeg)*100    % erroSeg = 0.0578

```

% Consistência das alternativas com relação ao Critério 4

CI\_Seg = (lambdaSeg-nSeg)/(nSeg-1)           % CI\_Seg = 0.0479  
 CR\_Seg = CI\_Seg/RI(nSeg)                   % CR\_Seg = 0.0826

%%%

% Gráfico: Prioridades Relativas de cada Alternativa sobre cada Critério

Prioridades\_Relativas =[wQV wPr wLoc wSeg];  
 bar3(Prioridades\_Relativas\*100,.2)  
 title('Prioridades das Alternativas à luz de cada Critério')  
 ylabel('Alternativas')  
 xlabel('Critérios')  
 zlabel('Prioridades')

%%%

disp 'Vetor de Prioridades'

% O Vetor de Prioridades - W, encontrado para as Alternativas,  
 % considerando todo o processo, é dado pela seguinte fórmula:

$W = [wQV \ wPr \ wLoc \ wSeg] * wC$

% W =

% 0.2743

% 0.4097

% 0.3160

%

% Agora posso checar a consistência do processo hierárquico completo através da divisão entre o  
 % somatório dos índices de consistência CI (multiplicados pelos respectivos pesos nas  
 % comparações), de todos os níveis, pelo somatório dos índices randômicos de consistência  
 % (RI) (multiplicados pelos respectivos pesos nas comparações).

%

% Somatório CI ponderado:

$CI_t = (CI_C * 1 + CI_{QV} * wC(1) + CI_{Pr} * wC(2) + CI_{Loc} * wC(3) + CI_{Seg} * wC(4));$

% Somatório RI ponderado:

$RI_t = (RI(nC) * 1 + RI(nQV) * wC(1) + RI(nPr) * wC(2) + RI(nLoc) * wC(3) + RI(nSeg) * wC(4));$

%  $CR = (CI_C * 1 + CI_{QV} * wC(1) + CI_{Pr} * wC(2) + CI_{Loc} * wC(3) + CI_{Seg} * wC(4))$

$CR_t = CI_t / RI_t$

%  $CR_t = 0.0357$

## APÊNDICE C: BANCO DE DADOS – EVENTOS DE INTERRUPTÕES NÃO PROGRAMADAS

Este apêndice apresenta as 347 ocorrências de interrupções não programadas consideradas no trabalho, representando as variações possíveis entre as informações apresentadas em cada cenário.

	<b>Tempo</b>	<b>Vento</b>	<b>Elemento</b>	<b>Elemento 2</b>	<b>Fatos Observados</b>
1	Chuva	Não	Chave		Abalroamento de Postes
2	Temporal	Forte	Chave		Abalroamento de Postes
3	Bom	Não	Chave		Abalroamento de Postes
4	Chuva	Não	Chave Fusível		Abalroamento de Postes
5	Bom	Não	Chave Fusível		Abalroamento de Postes
6	Chuva	Não	Medidor Primário		Abalroamento de Postes
7	Temporal	Forte	Medidor Primário		Abalroamento de Postes
8	Bom	Não	Medidor Primário		Abalroamento de Postes
9	Bom	Não	Religador		Abalroamento de Postes
10	Chuva	Não	Transformador		Abalroamento de Postes
11	Temporal	Forte	Transformador		Abalroamento de Postes
12	Bom	Não	Transformador		Abalroamento de Postes
13	Bom	Forte	Transformador		Abalroamento de Postes
14	Chuva	Não	Trecho Primário		Abalroamento de Postes
15	Chuva	Não	Chave	Amarelo	
16	Temporal	Forte	Chave Fusível	Amarelo	
17	Chuva	Não	Chave Fusível	Amarelo	
18	Bom	Não	Chave Fusível	Amarelo	
19	Temporal	Forte	Religador	Amarelo	
20	Chuva	Não	Chave Fusível		Animais/Pássaros
21	Bom	Forte	Chave Fusível		Animais/Pássaros
22	Temporal	Forte	Chave Fusível		Animais/Pássaros
23	Bom	Não	Chave Fusível		Animais/Pássaros
24	Neblina	Não	Chave Fusível		Animais/Pássaros
25	Chuva	Não	Medidor Primário		Animais/Pássaros
26	Bom	Forte	Medidor Primário		Animais/Pássaros
27	Neblina	Não	Medidor Primário		Animais/Pássaros
28	Bom	Não	Medidor Primário		Animais/Pássaros

29	Chuva	Não	Modulo	Animais/Pássaros
30	Bom	Não	Religador	Animais/Pássaros
31	Bom	Não	Transformador	Animais/Pássaros
32	Chuva	Não	Transformador	Animais/Pássaros
33	Bom	Forte	Transformador	Animais/Pássaros
34	Temporal	Forte	Transformador	Animais/Pássaros
35	Neblina	Não	Transformador	Animais/Pássaros
36	Chuva	Não	Transformador	Bola na Rede Elétrica
37	Bom	Não	Transformador	Bola na Rede Elétrica
38	Bom	Forte	Transformador	Bola na Rede Elétrica
39	Bom	Forte	Chave	Chave Fusível
40	Temporal	Forte	Chave	Chave Fusível
41	Chuva	Não	Chave	Chave Fusível
42	Temporal	Forte	Chave Fusível	Chave Fusível
43	Bom	Não	Chave Fusível	Chave Fusível
44	Bom	Forte	Chave Fusível	Chave Fusível
45	Chuva	Não	Chave Fusível	Chave Fusível
46	Neblina	Não	Chave Fusível	Chave Fusível
47	Temporal	Forte	Medidor Primário	Chave Fusível
48	Bom	Forte	Medidor Primário	Chave Fusível
49	Chuva	Não	Medidor Primário	Chave Fusível
50	Chuva	Não	Transformador	Chave Fusível
51	Temporal	Forte	Transformador	Chave Fusível
52	Bom	Forte	Transformador	Chave Fusível
53	Bom	Não	Transformador	Chave Fusível
54	Chuva	Não	Chave	Condutor
55	Temporal	Forte	Chave	Condutor
56	Bom	Não	Chave	Condutor
57	Temporal	Forte	Chave Fusível	Condutor
58	Chuva	Não	Chave Fusível	Condutor
59	Bom	Forte	Chave Fusível	Condutor
60	Bom	Não	Chave Fusível	Condutor
61	Neblina	Não	Chave Fusível	Condutor
62	Temporal	Forte	Medidor Primário	Condutor
63	Bom	Forte	Modulo	Condutor
64	Bom	Não	Religador	Condutor
65	Chuva	Não	Transformador	Condutor
66	Temporal	Forte	Transformador	Condutor
67	Bom	Não	Transformador	Condutor
68	Neblina	Não	Transformador	Condutor
69	Bom	Forte	Transformador	Condutor
70	Temporal	Forte	Chave Fusível	Condutor Desregulado
71	Chuva	Não	Chave Fusível	Condutor Desregulado
72	Bom	Forte	Chave Fusível	Condutor Desregulado

73	Bom	Não	Chave Fusível	Condutor Desregulado
74	Chuva	Não	Transformador	Condutor Desregulado
75	Temporal	Forte	Transformador	Condutor Desregulado
76	Bom	Forte	Transformador	Condutor Desregulado
77	Bom	Não	Transformador	Condutor Desregulado
78	Temporal	Forte	Trecho Primário	Condutor Desregulado
79	Temporal	Forte	Chave	Conexões
80	Chuva	Não	Chave	Conexões
81	Bom	Não	Chave	Conexões
82	Chuva	Não	Chave Fusível	Conexões
83	Temporal	Forte	Chave Fusível	Conexões
84	Bom	Forte	Chave Fusível	Conexões
85	Neblina	Não	Chave Fusível	Conexões
86	Bom	Não	Chave Fusível	Conexões
87	Temporal	Forte	Medidor Primário	Conexões
88	Chuva	Não	Medidor Primário	Conexões
89	Bom	Não	Medidor Primário	Conexões
90	Bom	Forte	Medidor Primário	Conexões
91	Bom	Forte	Religador	Conexões
92	Chuva	Não	Religador	Conexões
93	Bom	Não	Religador	Conexões
94	Temporal	Forte	Serviço	Conexões
95	Chuva	Não	Serviço	Conexões
96	Temporal	Forte	Transformador	Conexões
97	Chuva	Não	Transformador	Conexões
98	Neblina	Não	Transformador	Conexões
99	Bom	Forte	Transformador	Conexões
100	Bom	Não	Transformador	Conexões
101	Neve/Granizo	Não	Transformador	Conexões
102	Chuva	Não	Trecho Primário	Conexões
103	Chuva	Não	Chave	Cruzeta
104	Bom	Não	Chave	Cruzeta
105	Temporal	Forte	Chave	Cruzeta
106	Temporal	Forte	Chave Fusível	Cruzeta
107	Chuva	Não	Chave Fusível	Cruzeta
108	Bom	Não	Chave Fusível	Cruzeta
109	Chuva	Não	Religador	Cruzeta
110	Bom	Não	Trecho Primário	Cruzeta
111	Temporal	Forte	Chave	Danos Causados por Terceiros
112	Bom	Não	Chave	Danos Causados por Terceiros
113	Chuva	Não	Chave Fusível	Danos Causados por Terceiros
114	Temporal	Forte	Chave Fusível	Danos Causados por Terceiros

115	Bom	Forte	Chave Fusível	Danos Causados por Terceiros
116	Bom	Não	Chave Fusível	Danos Causados por Terceiros
117	Temporal	Forte	Medidor Primário	Danos Causados por Terceiros
118	Bom	Não	Medidor Primário	Danos Causados por Terceiros
119	Temporal	Forte	Transformador	Danos Causados por Terceiros
120	Bom	Forte	Transformador	Danos Causados por Terceiros
121	Bom	Não	Transformador	Danos Causados por Terceiros
122	Chuva	Não	Transformador	Danos Causados por Terceiros
123	Neblina	Não	Transformador	Danos Causados por Terceiros
124	Chuva	Não	Chave Fusível	Defeito Interno Clientes
125	Bom	Forte	Chave Fusível	Defeito Interno Clientes
126	Chuva	Não	Medidor Primário	Defeito Interno Clientes
127	Temporal	Forte	Medidor Primário	Defeito Interno Clientes
128	Bom	Forte	Medidor Primário	Defeito Interno Clientes
129	Bom	Não	Medidor Primário	Defeito Interno Clientes
130	Chuva	Não	Transformador	Defeito Interno Clientes
131	Temporal	Forte	Transformador	Defeito Interno Clientes
132	Bom	Forte	Transformador	Defeito Interno Clientes
133	Bom	Não	Transformador	Defeito Interno Clientes
134	Bom	Forte	Chave	
135	Temporal	Forte	Chave	
136	Chuva	Não	Chave	
137	Temporal	Forte	Chave Fusível	
138	Neblina	Não	Chave Fusível	
139	Chuva	Não	Chave Fusível	
140	Bom	Forte	Chave Fusível	
141	Chuva	Não	Medidor Primário	
142	Temporal	Forte	Medidor Primário	
143	Chuva	Não	Modulo	
144	Temporal	Forte	Religador	
145	Bom	Forte	Religador	
146	Chuva	Não	Religador	
147	Chuva	Não	Serviço	
148	Bom	Forte	Transformador	
149	Chuva	Não	Transformador	
150	Neblina	Não	Transformador	
151	Temporal	Forte	Transformador	
152	Temporal	Forte	Trecho Primário	
153	Bom	Não	Medidor Primário	Disjuntor
154	Chuva	Não	Transformador	Disjuntor
155	Bom	Não	Transformador	Disjuntor
156	Temporal	Forte	Chave Fusível	Elo Fusível Queimado
157	Bom	Não	Chave Fusível	Elo Fusível Queimado
158	Chuva	Não	Chave Fusível	Elo Fusível Queimado

159	Neblina	Não	Chave Fusível	Elo Fusível Queimado
160	Bom	Forte	Chave Fusível	Elo Fusível Queimado
161	Temporal	Forte	Medidor Primário	Elo Fusível Queimado
162	Chuva	Não	Medidor Primário	Elo Fusível Queimado
163	Neblina	Não	Medidor Primário	Elo Fusível Queimado
164	Bom	Forte	Medidor Primário	Elo Fusível Queimado
165	Bom	Não	Medidor Primário	Elo Fusível Queimado
166	Temporal	Forte	Transformador	Elo Fusível Queimado
167	Bom	Forte	Transformador	Elo Fusível Queimado
168	Bom	Não	Transformador	Elo Fusível Queimado
169	Neblina	Não	Transformador	Elo Fusível Queimado
170	Chuva	Não	Transformador	Elo Fusível Queimado
171	Neve/Granizo	Não	Transformador	Elo Fusível Queimado
172	Temporal	Forte	Chave	Emenda
173	Chuva	Não	Chave Fusível	Emenda
174	Bom	Não	Chave Fusível	Emenda
175	Bom	Forte	Transformador	Emenda
176	Chuva	Não	Transformador	Emenda
177	Bom	Não	Transformador	Emenda
178	Chuva	Não	Transformador	Erosão
179	Chuva	Não	Chave Fusível	
180	Temporal	Forte	Transformador	Inundações
181	Temporal	Forte	Chave	Isolador
182	Chuva	Não	Chave	Isolador
183	Temporal	Forte	Chave Fusível	Isolador
184	Chuva	Não	Chave Fusível	Isolador
185	Bom	Não	Chave Fusível	Isolador
186	Bom	Forte	Chave Fusível	Isolador
187	Temporal	Forte	Religador	Isolador
188	Bom	Não	Religador	Isolador
189	Temporal	Forte	Transformador	Isolador
190	Bom	Forte	Transformador	Isolador
191	Bom	Não	Transformador	Isolador
192	Chuva	Não	Transformador	Isolador
193	Temporal	Forte	Transformador	Medidor
194	Bom	Não	Transformador	Medidor
195	Chuva	Não	Transformador	Medidor
196	Neblina	Não	Transformador	Medidor
197	Bom	Forte	Transformador	Medidor
198	Bom	Não	Chave Fusível	Objetos Estranhos na Rede

199	Bom	Forte	Modulo	Objetos Estranhos na Rede
200	Bom	Forte	Transformador	Objetos Estranhos na Rede
201	Chuva	Não	Transformador	Objetos Estranhos na Rede
202	Temporal	Forte	Transformador	Objetos Estranhos na Rede
203	Bom	Não	Transformador	Objetos Estranhos na Rede
204	Chuva	Não	Chave Fusível	Pandorga
205	Temporal	Forte	Transformador	Pandorga
206	Bom	Não	Transformador	Pandorga
207	Temporal	Forte	Chave Fusível	Pára-Raios
208	Chuva	Não	Chave Fusível	Pára-Raios
209	Bom	Forte	Chave Fusível	Pára-Raios
210	Bom	Não	Chave Fusível	Pára-Raios
211	Chuva	Não	Medidor Primário	Pára-Raios
212	Temporal	Forte	Medidor Primário	Pára-Raios
213	Chuva	Não	Religador	Pára-Raios
214	Bom	Não	Religador	Pára-Raios
215	Chuva	Não	Transformador	Pára-Raios
216	Temporal	Forte	Transformador	Pára-Raios
217	Bom	Não	Transformador	Pára-Raios
218	Bom	Forte	Transformador	Pára-Raios
219	Temporal	Forte	Trecho Primário	Pára-Raios
220	Temporal	Forte	Chave Fusível	Poluição
221	Bom	Não	Chave Fusível	Poluição
222	Chuva	Não	Transformador	Poluição
223	Bom	Não	Transformador	Poluição
224	Bom	Não	Chave	Poste
225	Bom	Forte	Chave Fusível	Poste
226	Temporal	Forte	Chave Fusível	Poste
227	Chuva	Não	Chave Fusível	Poste
228	Bom	Não	Chave Fusível	Poste
229	Bom	Forte	Religador	Poste
230	Temporal	Forte	Seccionalizador	Poste
231	Temporal	Forte	Transformador	Poste
232	Chuva	Não	Transformador	Poste
233	Bom	Forte	Transformador	Poste
234	Bom	Não	Transformador	Poste
235	Temporal	Forte	Chave	Poste Podre
236	Chuva	Não	Chave	Poste Podre
237	Bom	Não	Chave	Poste Podre
238	Bom	Forte	Chave Fusível	Poste Podre
239	Temporal	Forte	Chave Fusível	Poste Podre
240	Chuva	Não	Chave Fusível	Poste Podre
241	Bom	Não	Chave Fusível	Poste Podre
242	Chuva	Não	Religador	Poste Podre
243	Bom	Não	Religador	Poste Podre

244	Temporal	Forte	Religador	Poste Podre
245	Temporal	Forte	Transformador	Poste Podre
246	Chuva	Não	Transformador	Poste Podre
247	Bom	Forte	Transformador	Poste Podre
248	Bom	Não	Transformador	Poste Podre
249	Chuva	Não	Trecho Primário	Poste Podre
250	Temporal	Forte	Trecho Primário	Poste Podre
251	Bom	Não	Trecho Primário	Poste Podre
252	Bom	Forte	Chave	Queimadas / Incêndio
253	Chuva	Não	Transformador	Queimadas / Incêndio
254	Bom	Não	Transformador	Queimadas / Incêndio
255	Chuva	Não	Serviço	Ramal de Ligação
256	Temporal	Forte	Transformador	Ramal de Ligação
257	Chuva	Não	Transformador	Ramal de Ligação
258	Neblina	Não	Transformador	Ramal de Ligação
259	Bom	Forte	Transformador	Ramal de Ligação
260	Bom	Não	Transformador	Ramal de Ligação
261	Temporal	Forte	Transformador	Redes de Comunicação
262	Chuva	Não	Transformador	Redes de Comunicação
263	Bom	Não	Transformador	Redes de Comunicação
264	Chuva	Não	Chave	Regulador
265	Temporal	Forte	Chave Fusível	Religador
266	Temporal	Forte	Religador	Religador
267	Chuva	Não	Religador	Religador
268	Neblina	Não	Religador	Religador
269	Temporal	Forte	Chave	
270	Bom	Forte	Chave Fusível	
271	Chuva	Não	Chave Fusível	
272	Bom	Não	Chave Fusível	
273	Bom	Não	Medidor Primário	
274	Bom	Forte	Medidor Primário	
275	Chuva	Não	Medidor Primário	
276	Temporal	Forte	Transformador	
277	Bom	Forte	Transformador	
278	Neblina	Não	Transformador	
279	Chuva	Não	Transformador	
280	Bom	Não	Transformador	
281	Temporal	Forte	Medidor Primário	TP
282	Temporal	Forte	Chave Fusível	Transformador
283	Bom	Forte	Chave Fusível	Transformador
284	Chuva	Não	Chave Fusível	Transformador
285	Bom	Não	Chave Fusível	Transformador

286	Temporal	Forte	Transformador	Transformador
287	Chuva	Não	Transformador	Transformador
288	Neblina	Não	Transformador	Transformador
289	Bom	Não	Transformador	Transformador
290	Bom	Forte	Transformador	Transformador
291	Bom	Não	Chave Fusível	Vandalismo
292	Temporal	Forte	Transformador	Vandalismo
293	Chuva	Não	Transformador	Vandalismo
294	Bom	Não	Transformador	Vandalismo
295	Neblina	Não	Transformador	Vandalismo
296	Bom	Forte	Transformador	Vandalismo
297	Chuva	Não	Chave	Vegetal
298	Temporal	Forte	Chave	Vegetal
299	Bom	Forte	Chave	Vegetal
300	Temporal	Forte	Chave Fusível	Vegetal
301	Bom	Forte	Chave Fusível	Vegetal
302	Bom	Não	Chave Fusível	Vegetal
303	Chuva	Não	Chave Fusível	Vegetal
304	Chuva	Não	Medidor Primário	Vegetal
305	Bom	Não	Medidor Primário	Vegetal
306	Temporal	Forte	Medidor Primário	Vegetal
307	Bom	Forte	Medidor Primário	Vegetal
308	Chuva	Não	Modulo	Vegetal
309	Temporal	Forte	Modulo	Vegetal
310	Bom	Forte	Modulo	Vegetal
311	Bom	Forte	Religador	Vegetal
312	Temporal	Forte	Religador	Vegetal
313	Chuva	Não	Religador	Vegetal
314	Bom	Não	Religador	Vegetal
315	Chuva	Não	Serviço	Vegetal
316	Temporal	Forte	Serviço	Vegetal
317	Bom	Forte	Transformador	Vegetal
318	Chuva	Não	Transformador	Vegetal
319	Neblina	Não	Transformador	Vegetal
320	Temporal	Forte	Transformador	Vegetal
321	Neve/Granizo	Não	Transformador	Vegetal
322	Bom	Não	Transformador	Vegetal
323	Temporal	Forte	Trecho Primário	Vegetal
324	Bom	Não	Trecho Primário	Vegetal
325	Temporal	Forte	Chave	
326	Bom	Forte	Chave	
327	Temporal	Forte	Chave Fusível	
328	Chuva	Não	Chave Fusível	
329	Neblina	Não	Chave Fusível	
330	Bom	Forte	Chave Fusível	

331	Bom	Não	Chave Fusível
332	Temporal	Forte	Medidor Primário
333	Bom	Forte	Medidor Primário
334	Bom	Não	Medidor Primário
335	Bom	Forte	Modulo
336	Bom	Não	Regulador
337	Temporal	Forte	Religador
338	Bom	Forte	Religador
339	Chuva	Não	Religador
340	Bom	Não	Religador
341	Temporal	Forte	Seccionalizador
342	Temporal	Forte	Transformador
343	Chuva	Não	Transformador
344	Neblina	Não	Transformador
345	Bom	Forte	Transformador
346	Bom	Não	Transformador
347	Temporal	Forte	Trecho Primário

# APÊNDICE D: QUESTIONÁRIOS ONLINE

## – PRIMEIRA PARTE

O formulário apresentado neste apêndice representa os questionários, enviados aos e respondidos pelos avaliadores, de modo a definir as causas secundárias de uma interrupção não programada. Este pode ser acessado em <https://spreadsheets.google.com/viewform?formkey=dGhpR29EM2pqQ21hdmxpWUdPVG5oUXc6MA>.

### Cenário 53 – parte 1/2

De modo a determinar o tipo provável de causa do desligamento não programado, faça um comparativo entre as causas secundárias possíveis, utilizando a escala do método AHP para definir a prioridade de cada uma. Para avaliar a influência de cada opção sobre o evento, considere as seguintes informações, anotadas no local da ocorrência:

- Tempo: Bom
- Vento: Não
- Elemento de Interrupção: Transformador
- Elemento de Interrupção: Chave Fusível
- Fatos Observados: -

Qual das opções tem maior influência sobre a falha?

- Tempo Adverso
- Meio Ambiente Adverso
- Igual ou Indiferente

Quão maior é essa influência? (De acordo com a escala AHP)

1    2    3    4    5    6    7    8    9

Igual ou indiferente          Absoluta

Qual das opções tem maior influência sobre a falha?

- Tempo Adverso
- Interferência de Terceiros
- Igual ou Indiferente

Quão maior é essa influência? (De acordo com a escala AHP)

1    2    3    4    5    6    7    8    9

Igual ou indiferente          Absoluta

Qual das opções tem maior influência sobre a falha?

- Tempo Adverso
- Problema Operacional
- Igual ou Indiferente

Quão maior é essa influência? (De acordo com a escala AHP)

1 2 3 4 5 6 7 8 9  
 Igual ou indiferente          Absoluta

Qual das opções tem maior influência sobre a falha?

- Meio Ambiente Adverso
- Interferência de Terceiros
- Igual ou Indiferente

Quão maior é essa influência? (De acordo com a escala AHP)

1 2 3 4 5 6 7 8 9  
 Igual ou indiferente          Absoluta

Qual das opções tem maior influência sobre a falha?

- Meio Ambiente Adverso
- Problemas Operacionais
- Igual ou Indiferente

Quão maior é essa influência? (De acordo com a escala AHP)

1 2 3 4 5 6 7 8 9  
 Igual ou indiferente          Absoluta

Qual das opções tem maior influência sobre a falha?

- Interferência de Terceiros
- Problemas Operacionais
- Igual ou Indiferente

Quão maior é essa influência? (De acordo com a escala AHP)

1 2 3 4 5 6 7 8 9  
 Igual ou indiferente          Absoluta

0		Enviar
---	--	--------

# APÊNDICE E: QUESTIONÁRIOS ONLINE

## – SEGUNDA PARTE

O formulário apresentado neste apêndice representa os questionários utilizados na definição das causas primárias de eventos relacionados à Falhas Próprias do Sistema. O mesmo pode ser acessado em <https://spreadsheets.google.com/viewform?formkey=dFBMZmxZZzJjQzVyMV95ekdGclFjdEE6MA>.

### Cenário 53 – parte 2/2

Foi determinado, na primeira parte do questionário, que o desligamento tem sua origem em Falhas Próprias do Sistema.

Agora, conhecendo a provável causa secundária do evento, utilize a escala AHP e o cenário descrito para realizar as comparações entre as causas primárias associadas, de modo a definir a prioridade de cada uma.

O cenário que descreve as condições do local da falha é o seguinte:

- Tempo: Bom
- Vento: Não
- Elemento de Interrupção: Transformador
- Elemento de Interrupção: Chave Fusível
- Fatos Observados: -

Qual das opções tem maior influência sobre a falha?

- Falha em Componente
- Perda de Suprimento
- Igual ou Indiferente

Quão maior é essa influência? (De acordo com a escala AHP)

1   2   3   4   5   6   7   8   9

Igual ou indiferente          Absoluta

Qual das opções tem maior influência sobre a falha?

- Falha em Componente
- Sobrecarga
- Igual ou Indiferente

Quão maior é essa influência? (De acordo com a escala AHP)

1    2    3    4    5    6    7    8    9

Igual ou indiferente          Absoluta

Qual das opções tem maior influência sobre a falha?

- Falha em Componente
- Erro de Operação
- Igual ou Indiferente

Quão maior é essa influência? (De acordo com a escala AHP)

1    2    3    4    5    6    7    8    9

Igual ou indiferente          Absoluta

Qual das opções tem maior influência sobre a falha?

- Falha em Componente
- Sub ou Sobretensão
- Igual ou Indiferente

Quão maior é essa influência? (De acordo com a escala AHP)

1    2    3    4    5    6    7    8    9

Igual ou indiferente          Absoluta

Qual das opções tem maior influência sobre a falha?

- Perda de Suprimento
- Sobrecarga
- Igual ou Indiferente



Qual das opções tem maior influência sobre a falha?

- Sobrecarga
- Sub ou Sobretensão
- Igual ou Indiferente

Quão maior é essa influência?

1 2 3 4 5 6 7 8 9  
Igual ou Indiferente          Absoluta

Qual das opções tem maior influência sobre a falha?

- Erro de Operação
- Sub ou Sobretensão
- Igual ou Indiferente

Quão maior é essa influência?

1 2 3 4 5 6 7 8 9  
Igual ou Indiferente          Absoluta

---

Enviar

Tecnologia [Google Docs](#)