

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

**METODOLOGIA PARA CLASSIFICAÇÃO E  
TRATAMENTO DE EVENTOS ESPECIAIS**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO**

**Francisco Diuner Veiga**

**Santa Maria, RS, Brasil**

**2015**

**METODOLOGIA PARA CLASSIFICAÇÃO E TRATAMENTO DE  
EVENTOS ESPECIAIS**

**Francisco Diuner Veiga**

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

**Orientador: Prof. Dr. Daniel Pinheiro Bernardon**

**Santa Maria, RS, Brasil**

**2015**

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

Veiga, Francisco Diuner

METODOLOGIA PARA CLASSIFICAÇÃO E TRATAMENTO DE EVENTOS ESPECIAIS / Francisco Diuner Veiga. – 2015.  
62 p. ; 30cm.

Orientador: Daniel Pinheiro Bernardon  
Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, RS, 2015

1. Eventos Especiais 2. Classificação 3. Tratamento 4. Planejamento da Operação I. Bernardon, Daniel Pinheiro II. Título.

---

©2015

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

Endereço: Avenida Roraima, 1000, Prédio 10, Bairro Camobi, Santa Maria, RS, 97105-900

Endereço Eletrônico: [diuner@gmail.com](mailto:diuner@gmail.com)

---

**Universidade Federal De Santa Maria  
Centro de Tecnologia  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica**

A Comissão Examinadora, abaixo assinada,  
aprova a Dissertação de Mestrado

**METODOLOGIA PARA CLASSIFICAÇÃO E TRATAMENTO DE  
EVENTOS ESPECIAIS**

elaborada por  
**Francisco Diuner Veiga**

como requisito parcial para obtenção do grau de  
**Mestre em Engenharia Elétrica**

**COMISSÃO EXAMINADORA:**

---

**Daniel Pinheiro Bernardon, Dr.**  
Presidente/Orientador (UFSM)

---

**Vinícius Jacques Garcia, Dr. (UFSM)**

---

**Paulo Ricardo da Silva Pereira, Dr. (UNISINOS)**

Santa Maria, 21 de Agosto de 2015.

*Dedico este trabalho, com muito amor, as  
pessoas mais importantes da minha vida:  
Minha esposa **Tatiane** e minhas filhas  
**Eduarda e Fernanda!***

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Deus pelo dia de hoje, pela família que me deste, pelos objetivos alcançados e pela tua presença em minha vida.

A minha esposa Tati, minhas filhas Duda e Fernanda, exemplos de amor, carinho e sinceridade.

A meus pais e irmãos pelo apoio, amizade e incentivo, sempre presentes.

Ao professor Daniel Pinheiro Bernardon pela orientação, dedicação, amizade e confiança com que sempre pude contar.

Aos professores da Pós Graduação em Engenharia Elétrica, Alzenira da Rosa Abaide e Luciane Neves Canha, pelos ensinamentos transmitidos os quais foram fundamentais na construção do meu conhecimento.

Aos membros da banca professores Paulo Ricardo da Silva Pereira e Vinícius Jacques Garcia, pelas contribuições e pelo profissionalismo sempre disponibilizados.

Aos amigos e colegas do Centro de Estudos em Energia e Sistemas de Potência (CEESP) Ana, Adir, Bruno, Enoque, Frank e Iuri pelo bom convívio e amizade!

Aos meus colegas de trabalho, Amilcar, Arthur, Carol, Claudiomar, Diogo, Gilson, Itaner, Jeferson Medina, Jeferson Ricardo, Juliano, Luciano, Maria, Marlene, Mauricio, Pablo, Patrícia e Rodrigo.

A todos que conviveram comigo e que me incentivaram na realização deste trabalho.

*Ninguém cruza nosso caminho por acaso e nós  
não entramos na vida de alguém sem nenhuma  
razão”*

***Chico Xavier***

## RESUMO

Dissertação de Mestrado  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica  
Universidade Federal de Santa Maria, RS, Brasil

### **METODOLOGIA PARA CLASSIFICAÇÃO E TRATAMENTO DE EVENTOS ESPECIAIS**

AUTOR: FRANCISCO DIUNER VEIGA  
ORIENTADOR: DANIEL PINHEIRO BERNARDON

Local e Data da defesa: Santa Maria, 21 de Agosto de 2015.

As concessionárias de energia elétrica buscam permanentemente alternativas para melhorar os índices de continuidade de energia elétrica, empregando esforços em alternativas cada vez mais sofisticadas e aplicando novas metodologias nesta área. A necessidade de melhoria dos sistemas de distribuição reflete um aumento da confiabilidade destes sistemas, permitindo um maior conforto para os consumidores e também possibilitando a expansão das atividades comerciais e industriais, uma vez que as interrupções comprometem sua produção. Nesse sentido, as concessionárias de energia elétrica têm buscado investir cada vez mais nos estudos elétricos de planejamento da operação, buscando atender um mercado sazonal de clientes que necessitam por um determinado período, um elevado índice de qualidade e confiabilidade dos sistemas da concessionária. A esta demanda de mercado chamamos de eventos especiais, ou seja, são situações que necessitam da máxima atenção da concessionária, pois na ocorrência da interrupção do fornecimento de energia elétrica, pode refletir em prejuízos enormes a seus clientes e na imagem da empresa. Contudo este trabalho tem por objetivo identificar quais os eventos serão tratados como especiais e estimar níveis de prioridades, possibilitando-se assim, através da metodologia de tratamento e classificação, planejar a operação durante estes eventos, adotando ações operativas que possam vir de encontro as expectativa dos clientes, garantindo a qualidade e a confiabilidade do fornecimento de energia elétrica.

**Palavras-chave:** Eventos Especiais, Classificação, Tratamento e Planejamento da Operação.



## **ABSTRACT**

Master Thesis  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica  
Universidade Federal de Santa Maria

### **METHODOLOGY FOR CLASSIFICATION AND TREATMENT OF SPECIAL EVENTS**

**AUTHOR: FRANCISCO DIUNER VEIGA**  
**ADVISOR: DANIEL PINHEIRO BERNARDON**

**Place and Date: Santa Maria, August 21<sup>th</sup>, 2015.**

The electric utilities seek alternatives to permanently improve the contents of continuity of electricity, employing efforts for increasingly sophisticated alternatives and applying new methodologies in this area. The need for improved delivery systems reflects an increase in the reliability of these systems, allowing greater comfort for the consumers and also enabling the expansion of commercial and industrial activity since interruptions compromise their production. In this sense the electric utilities have sought to invest increasingly in electrical studies planning of the operation, seeking to meet a seasonally market clients that need for a certain period, a high quality score and reliability of the utility systems. At this market demand call special events, ie, are situations that require the full attention of the concessionaire, because in the event of interruption of electricity supply may reflect in huge losses to customers and the company's image. However, this study aims to identify which events will be treated as special and estimate levels of priority, thus enabling through treatment and classification methodology, plan the operation during these events, adopting operational actions that can come from meeting the expectations of customers ensuring the quality and reliability of electricity supply.

**Keywords:** Special Events , Classification, Treatment, Planning and Operation.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Faixas de pesos do critério abrangência. ....	26
Figura 2 - Matriz de pesos das faixas do critério abrangência. ....	26
Figura 3 - Faixas de pesos do critério modalidade. ....	28
Figura 4 - Matriz de pesos das faixas do critério modalidade do evento. ....	28
Figura 5 - Faixas de pesos do critério público do evento. ....	30
Figura 6 - Matriz de pesos das faixas do critério público do evento. ....	30
Figura 7 - Faixas de pesos do critério público do evento. ....	31
Figura 8 - Matriz de pesos dos critérios utilizados. ....	32
Figura 9 - Processo de julgamento. ....	34
Figura 10 - Faixa de classificação de cada evento especial. ....	35
Figura 11 - Exemplo de alimentador. ....	40
Figura 12 - Fluxograma do Processo. ....	45
Figura 13 - Vista do local do evento. ....	47
Figura 14 - Topologia da rede no evento N1. ....	48
Figura 15 - Matriz Lógica Estrutural com simulação de defeito no DJ do alimentador AL 34. ....	48
Figura 16 - Adequação do ponto de manobra durante o evento especial N2. ....	49
Figura 17 - Redução do tempo de restabelecimento após alterar o tipo de evento para nível 2. ....	50
Figura 18 - Simulação do evento com prioridade muito crítica (N3). ....	51
Figura 19 - Tempo de restabelecimento inferior a 3 minutos. ....	51
Figura 20 - Avaliação da redução dos tempos de recomposição. ....	52

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Escala numérica para comparação e julgamentos. ....	21
Tabela 2 - Índice de consistência em relação ao número de critérios comparados. ....	23
Tabela 3 - Definição das faixas do critério abrangência. ....	25
Tabela 4 - Pesos de cada faixa do critério abrangência. ....	26
Tabela 5 - Definição das faixas do critério modalidade do evento. ....	27
Tabela 6 - Pesos de cada faixa do critério modalidade do evento. ....	28
Tabela 7 - Definição das faixas do critério público do evento. ....	29
Tabela 8 - Pesos de cada faixa do critério público do evento. ....	30
Tabela 9 - Definição das faixas dos critérios.....	31
Tabela 10 - Pesos de cada critério. ....	32
Tabela 11 - Tipos de eventos especiais. ....	32
Tabela 12 - Faixa de classificação de cada evento. ....	33
Tabela 13 - Matriz Lógico-Estrutural para o alimentador da Figura 11.....	40
Tabela 14 - Matriz Lógico-Estrutural com tempos x taxa de falha. ....	41

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AHP	– <i>Analytic Hierarch Process</i>
AL	– Alimentador
ANEEL	– Agência Nacional de Energia Elétrica
ASD	– Análise de Sistemas de Distribuição
AT	– Alta Tensão
BT	– Baixa tensão
COD	– Centro de Operação da Distribuição
DA	– <i>Distribution Automation System</i>
DEC	– Duração Equivalente de Interrupção por Unidade Consumidora
DIC	– Duração de Interrupção Individual por Unidade Consumidora
DMS	– <i>Distribution Management System</i>
EPE	– Empresas de Planejamento Estratégico
FEC	– Frequência Equivalente de Interrupção por Unidade Consumidora
FIC	– Frequência de Interrupção Individual por Unidade Consumidora
FO	– Função Objetivo
GIS	– <i>Geographical Information System</i>
IED	– <i>Intelligent Eletronic Device</i>
IEEE	– <i>Institute of Eletrical and Eletronic Engineers</i>
MT	– Média tensão
NA	– Estado Normalmente Aberto
NF	– Estado Normalmente Fechado
ONS	– Operador Nacional do Sistema Elétrico
PRODIST	– Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica
SCADA	– Sistemas de Controle Supervisório e Aquisição de Dados
TAP	– <i>Transformer Adjust Position</i>
UTR	– Unidade Terminal Remota

## LISTA DE SÍMBOLOS E VARIÁVEIS

$C_n$	Critério de avaliação $n$
$C_P$	– Número de consumidores do trecho protegido
$C_S$	– Número de consumidores servidos
$d$	– Duração da falha no trecho protegido
$IC$	– Índice de consistência do julgamento
$IR$	– Índice aleatório de consistência do julgamento
$N_i$	– Número de consumidores
$N_r$	– Número total de ramos
$RC$	– Razão de consistência do julgamento
$U_i$	– Tempo médio de indisponibilidade
$w_k$	– Peso do critério $k$
$\Delta t$	– Intervalo de tempo do patamar
$\lambda$	– Taxa média de falha

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>14</b>
<b>1.1 Motivação e Justificativa .....</b>	<b>15</b>
<b>1.2 Apresentação da Proposta .....</b>	<b>15</b>
<b>1.3 Objetivos Gerais .....</b>	<b>16</b>
<b>1.4 Organização dos Capítulos .....</b>	<b>17</b>
<b>2 DEFINIÇÃO DOS EVENTOS ESPECIAIS.....</b>	<b>18</b>
<b>2.1 Critérios para Classificação dos Eventos .....</b>	<b>18</b>
<b>2.2 Classificação dos Eventos .....</b>	<b>20</b>
<b>2.3 Análise Multicriterial: Analytic Hierarchy Process (AHP).....</b>	<b>21</b>
<b>2.4 Definição dos Critérios.....</b>	<b>24</b>
2.4.1 Critério: Abrangência do Evento .....	25
2.4.2 Critério: Modalidade do Evento.....	27
2.4.3 Critério: Público do Evento.....	29
<b>2.5 Definição dos Pesos dos Critérios.....</b>	<b>31</b>
<b>2.6 Faixas de Classificação dos Eventos .....</b>	<b>32</b>
<b>2.7 Exemplos de Aplicação da Metodologia de Classificação.....</b>	<b>33</b>
<b>3 PLANEJAMENTO DA OPERAÇÃO PARA EVENTOS ESPECIAIS.....</b>	<b>38</b>
<b>3.1 Matriz Lógica Estrutural (MLE) .....</b>	<b>38</b>
<b>3.2 Classificação dos Tipos de Eventos .....</b>	<b>43</b>
<b>3.3 Fluxograma do Processo .....</b>	<b>44</b>
<b>4 ESTUDOS DE CASOS.....</b>	<b>46</b>
<b>4.1 Estudo de Caso Evento N1.....</b>	<b>47</b>
<b>4.2 Estudo de Caso Evento N2.....</b>	<b>49</b>
<b>4.3 Estudo de Caso Evento N3.....</b>	<b>50</b>
<b>4.4 Resultados Comparativos .....</b>	<b>52</b>
<b>5 CONCLUSÃO.....</b>	<b>53</b>
<b>5.1 Contribuições do Trabalho.....</b>	<b>54</b>
<b>5.2 Sugestões de Continuidade .....</b>	<b>55</b>
<b>5.3 Publicações Relacionadas ao Trabalho .....</b>	<b>55</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>56</b>

# 1 INTRODUÇÃO

O fornecimento de energia elétrica é cada vez mais imprescindível para as instalações consumidoras, sejam elas de pequeno, médio ou grande porte, independentemente do ramo de atividade exercido, seja ele residencial, comercial, industrial ou até mesmo rural.

A grande maioria das fazendas possuem sistemas automatizados para irrigação de suas plantações, controles de temperaturas em estufas, controle de armazenamento e resfriamento após a colheita, enfim, um aparato de sistema que tem por objetivo maximizar os investimentos, através de instalações tão modernas quanto qualquer outro estabelecimento comercial ou industrial.

Muitas destas instalações, sejam elas indústrias, comércio, propriedades rurais, são conhecidas das concessionárias como carga crítica, ou seja cargas que não podem parar.

Imaginemos a central de dados de um banco, a exemplo o banco Itaú, onde esta executa diversas operações de crédito, débito, câmbio, financiamentos, investimentos, consultas, enfim, uma variedade de ações, onde a queda no sistema pode repercutir prejuízos incalculáveis, em apenas alguns segundos onde os dados não possam ser acessados, compras não possam ser efetuadas, sejam elas pela internet, cartão de crédito, lojas, estabelecimentos comerciais, postos de gasolina, fast foods, enfim, apenas alguns segundos que podem representar prejuízos enormes. Imagine ainda alguns eventos na televisão, como exemplo podemos citar o programa Teletom da rede SBT, que anualmente promove através da sua emissora e afiliadas uma campanha para arrecadação de fundos e doações para suas ações, imagine alguns segundos ou minutos onde esta carga deixa de ser atendida e doações não possam ser arrecadadas para ajudar as instituições, minutos ou segundos irrecuperáveis, enfim, atualmente possuímos uma gama muito grande de cargas críticas ou eventos especiais que necessitam de um atendimento diferenciado por um determinado período de tempo.

A esta demanda de mercado chamamos de eventos especiais, demanda esta que vem ao encontro dos objetivos deste trabalho, que busca através de sua proposta apresentar uma metodologia para tratamento e classificação destes eventos especiais. Contudo este trabalho tem por objetivo identificar quais os eventos serão tratados como especiais e estimar níveis de prioridades, possibilitando se assim através da metodologia de tratamento e classificação, planejar a operação da continuidade do fornecimento de energia elétrica durante um evento especial, adotando-se ações operativas que possam vir ao encontro das expectativas dos

clientes, elevando-se ao nível máximo o comprometimento da concessionária de energia elétrica junto aos seus clientes, que passarão a contar com novos padrões de atendimento, melhorando-se muito a qualidade do fornecimento de energia elétrica, garantindo também a confiabilidade durante os eventos classificados como especiais.

## **1.1 Motivação e Justificativa**

A motivação e justificativa desta dissertação vão ao encontro da melhoria dos padrões de atendimento das concessionárias de energia elétrica, pois durante o regime de operação normal pode haver em alguns pontos da rede eventos especiais que necessitam de um atendimento diferenciado, eventos estes que a metodologia proposta tem por objetivo classificar e definir limites de tratamento, onde o foco principal deste trabalho é manter a continuidade do fornecimento de energia elétrica em função dos eventos especiais.

## **1.2 Apresentação da Proposta**

O objetivo geral desta Dissertação é o desenvolvimento e análise de uma metodologia para tratamento e classificação de eventos especiais, de forma a garantir a continuidade do fornecimento de energia elétrica durante a realização um evento especial.

Para o desenvolvimento desta metodologia utilizaremos o método AHP (*Analytic Hierarch Process*) para a classificação dos eventos, os quais serão divididos em três categorias: normal, crítica e muito crítica.

Para o tratamento dos eventos serão definidos padrões mínimos de atendimento para cada faixa de classificação dos eventos alocados, eventos com prioridade normal, crítica ou muito crítica.

Com o objetivo de avaliar e verificar, através de simulações e estudos, se as ações refletem os resultados esperados nos indicadores técnicos, utilizaremos para mensurar os resultados a matriz lógica estrutural (MLE), a qual possibilitará dar uma maior visualização dos impactos das ações previstas.



### 1.3 Objetivos Gerais

O objetivo geral do projeto é desenvolver uma metodologia para classificação e tratamento de eventos especiais.

Como objetivos específicos podem ser citados:

- Análise da continuidade do fornecimento de energia elétrica durante um evento especial;
- Desenvolvimento de uma metodologia de priorização do atendimento durante eventos especiais;
- Construção do conceito e definição dos eventos especiais, classificando-os por tipos de eventos;
- Elaboração de critérios para definir o grau de relevância do evento para a concessionária de energia elétrica;
- Validação dos critérios escolhidos para a definição dos graus de relevância dos eventos;
- Simular previamente situações que possam ocasionar interrupção no fornecimento de energia elétrica;
- Estabelecer planos de ação para cada tipo de evento especial;
- Definição de limites aceitáveis de tempos de restabelecimento de energia elétrica para os diferentes tipos de eventos especiais;
- Desenvolvimento de um algoritmo que permita classificar os eventos especiais considerando características quantitativas e qualitativas;
- Aplicação do método AHP (*Analytic Hierarchy Process*), para suporte na tomada de decisão multicriterial;
- Aplicar a Matriz Lógica Estrutural (MLE), nos indicadores de desempenho antes e após os estudos elétricos para validação dos resultados;
- Analisar a metodologia desenvolvida e validar a eficiência dos métodos propostos.

## 1.4 Organização dos Capítulos

Esta Dissertação está organizada em seis capítulos. No Capítulo 1 é apresentada uma visão geral sobre a metodologia proposta para classificação e tratamento dos eventos especiais e como será validada esta metodologia.

O Capítulo 2 apresenta a definição dos eventos especiais, utilizando critérios como número de público envolvido no evento, abrangência se o mesmo é internacional, nacional, estadual ou regional, modalidade se é esportivo, shows, feira, ato político ou outros, apresenta também os pesos de cada critério, os quais são aplicados o método AHP muito para análise multicritério e classificação dos eventos quanto a sua prioridade, normal, crítica e muito crítica.

O Capítulo 3 apresenta o planejamento da operação para cada tipo de evento especial, com a definição das ações prévias por cada tipo de evento, estimativa destas ações no impactos dos indicadores através da utilização da matriz lógica estrutural (MLE), e definição de limites mínimos para atendimento dos indicadores técnicos.

O Capítulo 4 apresenta os estudos de caso com a aplicação da metodologia proposta em um modelo real de rede de distribuição.

O Capítulo 5 apresenta as principais conclusões, sugestões para continuidade do trabalho e as publicações realizadas no decorrer do Mestrado.

O Capítulo 6 apresenta as referências bibliográficas utilizadas para a realização deste trabalho.

## **2 DEFINIÇÃO DOS EVENTOS ESPECIAIS**

Este capítulo tem por objetivo apresentar os critérios utilizados para a classificação dos eventos especiais, que podem ser do tipo normal, classificado como prioridade 1, ou podem ser do tipo crítico ou prioridade 2, ou do tipo muito crítico, ou seja, prioridade 3, ou podemos dizer ainda eventos prioridade P1, P2 ou P3, ou ainda analogamente também podemos usar as expressões E1,E2 ou E3, quando nos referirmos aos eventos, ou ainda N1, N2 ou N3, quando nos referirmos aos níveis dos eventos.

Quanto aos eventos os mesmos podem ser os mais variados possíveis, cito:

- Período de safra do arroz, começa em dezembro e estende-se até o final de março, principal atividade levante hidráulico de água para irrigação das lavouras;
- Período de safra do fumo, começa em maio e estende-se até o final de agosto, principal atividade, câmara de resfriamento para acondicionamento das folhas de fumo e processo de tratamento;
- Período de festas, virada do ano novo e carnaval, demanda máxima das subestações e comércio do litoral;
- Retorno da produção industrial na região metropolitana, começa após o carnaval e avança até o final do ano;
- Eventos descentralizados como grandes feiras, Festa da Uva , Salão do Automóvel, Shows Internacionais, Grandes Jogos, Copa do Mundo e decisões Regionais;
- Empresas com processos produtivos ininterruptos;
- Serviços de caráter essenciais como água, telecomunicações e transportes, entre outros.

### **2.1 Critérios para Classificação dos Eventos**

O principal objetivo deste trabalho é manter a continuidade do fornecimento de energia elétrica aos clientes em função dos eventos especiais.

Muitos são os critérios que podem ser utilizados em busca dos melhores resultados para a classificação dos eventos especiais podemos citar como critérios: o público envolvido,

a abrangência do evento, a modalidade do evento, o tipo de cliente, a atividade desenvolvida pelo cliente, demanda e carga contratada do cliente, localização geográfica da instalação, entre outras.

Durante o desenvolvimento deste trabalho foram validados vários critérios de classificação, onde cada critério apresentava diversos resultados para a metodologia proposta, podendo estes critérios serem satisfatórios ou não.

Dentre os critérios avaliados durante trabalho, obtiveram-se resultados que poderiam comprometer a eficácia da metodologia e então foram descartados, entre eles a utilização da carga ou demanda contratada, pois o cliente pode ter uma demanda não significativa e um impacto muito grande, como por exemplo um evento político onde estarão inúmeras autoridades podendo ou não ser em um local aberto, um ginásio ou até mesmo dentro de uma emissora local, a qual não teria uma demanda significativa, ou ainda a inauguração de uma empresa a se instalar, cuja carga e/ou demanda ainda não seja significativa. Outro critério descartado nesta metodologia foi o tipo de atividade desenvolvida, pois o foco é justamente o evento especial a ser realizado, independente da atividade desenvolvida, bem como o critério da localização geográfica, pois numa área urbana pode ser muito mais fácil garantir o fornecimento de energia elétrica durante o evento especial do que em determinada área rural ou menos assistida.

Com o auxílio do AHP, efetuaram-se diversas simulações, cruzando critérios selecionados e pesos estimados, de forma a garantir a classificação mais adequada para cada tipo de evento especial.

No decorrer do desenvolvimento desta dissertação foram simulados vários estudos de casos com critérios e pesos diferenciados, sendo então escolhidos e definidos os critérios e pesos que melhor representam esta metodologia proposta.

Os critérios escolhidos foram: público envolvido, abrangência e modalidade do evento.

Os pesos dos critérios foram simulados diversas vezes em muitos estudos de caso, sendo assim definidos: o público envolvido com o maior peso, a abrangência do evento como segundo maior peso e a modalidade do evento como terceiro maior peso.

Durante a simulação destes eventos, foram atribuídos pesos individuais por cada critério e cada faixa do critério selecionado, conforme verificaremos no decorrer deste trabalho.

## 2.2 Classificação dos Eventos

Quando se estabelece mais de critério de tomada de decisão, como por exemplo, o público de pessoas envolvidas, ou a abrangência do evento, ou sua modalidade em busca de um ou mais objetivos, como aumentar a confiabilidade ou simplesmente reduzir o tempo de atendimento dos indicadores, a análise deve incorporar métodos de tomada de decisão multicritério, os quais podem levar em conta a opinião de especialistas na definição da preferência de um objetivo sobre o outro, a fim de verificar qual configuração produz o melhor resultado.

Um dos métodos mais difundidos para a tomada de decisão multicritério é o *Analytic Hierarchy Process* (AHP), desenvolvido por Thomas L. Saaty entre os anos de 1971 a 1975 (SAATY, 1987). Este método caracteriza-se pelo conceito de modelagem de preferência, e tem como premissa o julgamento e a conversão dos critérios em pesos, a fim de que se possa hierarquizar os objetivos por meio de comparações, permitindo a tomada de decisão.

Em geral, para os problemas de otimização multiobjetivo identificam-se duas etapas básicas: a busca de soluções (responsabilidade do método) e a tomada de decisões (responsabilidade do decisor) (GARCIA, 2005). Considerando o ponto de vista do decisor os métodos classificam-se em duas categorias:

- Métodos a-priori: caracterizam-se pela participação do decisor antes de resolver o problema; e
- Métodos a-posteriori: caracterizam-se por realizar inicialmente a busca por soluções Pareto-ótimas<sup>1</sup>, seguida do processo de decisão.

Estas considerações reforçam a aplicabilidade e a escolha pelo uso do método de tomada de decisão multicritério AHP, a fim de determinar a sequência de prioridade dos eventos e a classificação dos mesmos. A escolha pelo método de análise hierárquica AHP foi motivada pela simplicidade de uso e confiabilidade que o método apresenta quanto à hierarquização das alternativas para classificação dos eventos, em função da relevância dos objetivos.

---

<sup>1</sup> Pareto-ótimas é um conceito de economia desenvolvido pelo italiano Vilfredo Pareto. Uma situação econômica é ótima no sentido de Pareto se não for possível melhorar a situação, ou, mais genericamente, a utilidade de um agente, sem degradar a situação ou utilidade de qualquer agente econômico.

### 2.3 Análise Multicriterial: Analytic Hierarchy Process (AHP)

A análise multicriterial é necessária para determinar a sequência de priorização dos critérios utilizados. O método escolhido para a análise e decisão multicriterial foi o *Analytic Hierarchy Process* (AHP), o qual caracteriza-se pela participação do decisor a-priori com o conceito de modelagem de preferência, e é apresentado integralmente em Saaty (1990) e Blushan e Rai (2004).

O método AHP avalia a importância dos critérios, compara as alternativas para cada critério e determina uma escala em ordem decrescente para execução das alternativas consideradas. Dessa forma, cada critério é avaliado com o grau de importância em relação a outro, estabelecido de acordo com uma escala numérica de valores para comparação, sugeridos por Saaty (1990), conforme ilustrado na Tabela 1 abaixo.

Tabela 1 - Escala numérica para comparação e julgamentos.

<b>Escala numérica</b>	<b>Grau de importância</b>
1	Mesma importância
3	Moderada
5	Forte
7	Muito forte
9	Extremamente importante
2, 4, 6, 8	Valores intermediários

Fonte: (SAATY, 1990).

Os julgamentos devem ser realizados através da avaliação de um ou mais especialistas<sup>2</sup>, que devem considerar o quanto mais ou menos importante é um critério em relação ao outro, sempre com julgamentos aos pares. Assim, é construída uma matriz de comparação ou julgamento, conforme a Equação 1.

<sup>2</sup>Especialista: quem possui conhecimento ou experiência em uma determinada área. O especialista para aplicação deste trabalho deve conhecer o setor de distribuição de energia elétrica.

$$M = \begin{matrix} & C_1 & C_2 & \dots & C_n \\ C_1 & \left[ \begin{array}{cccc} 1 & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & 1 & \dots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & 1 \end{array} \right. \\ C_2 & & & & \\ \vdots & & & & \\ C_n & & & & \end{matrix} \quad (1)$$

Onde  $M$  representa a matriz de comparação dos critérios,  $C_1, C_2, C_n$  indicam o número de critérios de avaliação,  $a_{ij}$  é o grau de importância do critério  $i$  sobre o critério  $j$ .

Como regra geral, assume-se que a diagonal principal representa a própria avaliação do critério  $C_i$ , possuindo o valor igual a um,  $a_{ii} = 1$ , e nos demais julgamentos a relação de reciprocidade  $a_{ji} = 1 / a_{ij}$ .

A seguir, calcula-se a prioridade ou peso de cada critério, obtido por meio da aplicação de um processo de duas etapas. Primeiramente, somam-se todos os valores de cada coluna e, a fim de normalização, divide-se cada valor de cada coluna pelo valor da soma da respectiva coluna, o que constituirá uma nova matriz, porém normalizada, conforme a Equação 2.

$$a_{ij}^* = \frac{a_{ij}}{\sum_{k=1}^n a_{ik}} \quad (2)$$

Posteriormente, calcula-se o valor médio de cada linha da matriz normalizada, de acordo com a Equação 3, obtendo a prioridade (peso) do critério em análise. Este procedimento deve ser repetido para todos os critérios.

$$w_k = \sum_{i=1}^n \frac{a_{ij}^*}{n} \quad (3)$$

Onde  $w_k$  é o peso do critério  $k$  e  $n$  o número de critérios.

Considerando o formato da função objetivo na Equação 3, os pesos  $w_1, w_2$  e  $w_3$  correspondem aos critérios: *Público*, *Abrangência* e *Modalidade*, respectivamente. Dependendo dos anseios da empresa ou concessionária, podem ser incluídos novos objetivos considerando também outros critérios.

Conforme Daza (2010), uma vez que a metodologia AHP utiliza como base de solução a opinião de especialistas, é possível encontrar eventualmente certo grau de inconsistência nos julgamentos realizados, o que pode ocorrer devido à complexidade do problema ou pouca afinidade do especialista com o tema.

Desse modo, um dos diferenciais do AHP em relação a outros métodos de tomada de decisão multicriterial é o cálculo de um indicador de consistência do julgamento do especialista, calculado a partir da Equação 4.

$$RC = \frac{IC}{IR} \quad (4)$$

A razão de consistência (RC) expressa a aceitação do julgamento do decisor e é obtida em função do índice de consistência (IC) e do índice aleatório de consistência (IR).

O índice de consistência (IC) expressa o quanto a matriz se distancia de uma matriz de consistência. Para uma matriz de tamanho  $n$  é determinado pela Equação 5, onde  $\lambda_{\max}$  corresponde ao máximo autovalor da matriz de julgamento.

$$IC = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} \quad (5)$$

Para o cálculo de IC é necessário determinar o valor dos autovalores da matriz de julgamento, etapa que inclui a multiplicação da matriz pelo peso dos critérios, gerando um vetor novo. A partir desse novo vetor, divide-se cada elemento do vetor pelo seu respectivo vetor de peso, onde o resultado dessa divisão é utilizado para calcular o máximo autovalor da matriz, o qual corresponderá à média dos números do vetor.

Já o valor do índice aleatório de consistência (IR) pode ser determinado diretamente através da aplicação da Tabela 2.

Tabela 2 - Índice de consistência em relação ao número de critérios comparados.

Número	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
IR	0	0,52	0,89	1,11	1,25	1,35	1,40	1,45	1,49	1,52	1,54	1,56	1,58	1,59

Fonte: (SAATY e OZDEMIR, 2003).

O valor de RC admissível, para que se considerem consistentes as informações do especialista, é de até 0,1 com o número máximo de sete critérios analisados. Caso contrário,



se o valor de RC for acima desse valor, as avaliações não são consideradas suficientemente sensíveis e precisas.

## **2.4 Definição dos Critérios**

Durante o desenvolvimento deste trabalho foram validados vários critérios de classificação, onde cada critério apresentava diversos resultados para a metodologia proposta, podendo estes critérios serem satisfatórios ou não.

Dentre os critérios avaliados durante trabalho obtivemos resultados que poderiam comprometer a eficácia da metodologia e foram descartados, entre eles a utilização da carga ou demanda contratada, pois o cliente pode ter uma demanda não significativa e um impacto muito grande, como por exemplo um evento político onde estarão inúmeras autoridades podendo ou não ser em um local aberto, um ginásio ou até mesmo dentro de uma emissora local, a qual não teria uma demanda significativa, ou ainda a inauguração de uma empresa a se instalar, cuja carga e/ou demanda ainda não seja significativa. Outro critério descartado nesta metodologia foi o tipo de atividade desenvolvida, pois o foco é justamente o evento especial a ser realizado, independente da atividade desenvolvida, bem como o critério da localização geográfica, pois numa área urbana pode ser muito mais fácil garantir o fornecimento de energia elétrica durante o evento especial do que em determinada área rural ou menos assistida.

Com o auxílio do AHP, efetuamos diversas simulações, cruzando critérios selecionados e pesos estimados, de forma a garantir a classificação mais adequada para cada tipo de evento especial.

No decorrer do desenvolvimento desta dissertação foram simulados vários estudos de casos com critérios e pesos diferenciados, sendo então escolhidos e definidos os critérios e pesos que melhor representam esta metodologia proposta.

Os critérios escolhidos foram: público envolvido, abrangência e modalidade do evento.

Os pesos dos critérios foram simulados diversas vezes em muitos estudos de caso, sendo assim definidos: o público envolvido com o maior peso, a abrangência do evento como segundo maior peso e a modalidade do evento como terceiro maior peso.

Durante a simulação destes eventos, foram atribuídos pesos individuais por cada critério e cada faixa do critério selecionado.

Estes critérios buscam atender de forma satisfatória a metodologia aplicada para a classificação dos eventos especiais e quando aplicados ao método AHP, nos permite um grau de confiabilidade muito elevado.

#### 2.4.1 Critério: Abrangência do Evento

O critério abrangência nos permite uma classificação dos eventos de forma a identificar o alcance e a divulgação dos mesmos, pois podemos classificar este tipo de evento em faixas que melhor comparam seus desempenhos.

Durante o desenvolvimento deste trabalho definimos quatro faixas que melhor definem os eventos no critério abrangência sendo elas: regional, estadual, nacional e internacional. Conforme verificamos a Tabela 3 abaixo.

Tabela 3 - Definição das faixas do critério abrangência.

<b>Faixa</b>	<b>Abrangência</b>
Faixa 1	Evento Internacional = I
Faixa 2	Evento Nacional = N
Faixa 3	Evento Estadual = E
Faixa 4	Evento Regional = R

Os pesos de cada faixa foram simulados diversas vezes durante os estudos de caso desta dissertação de forma a aplicar-se o mais fiel possível à metodologia deste trabalho.

Conforme verificamos na Figura 1 e também na Tabela 4 abaixo, a faixa evento internacional ficou com o maior peso, seguido das faixas nacional, estadual e regional, abaixo segue a matriz dos pesos utilizando se o AHP.

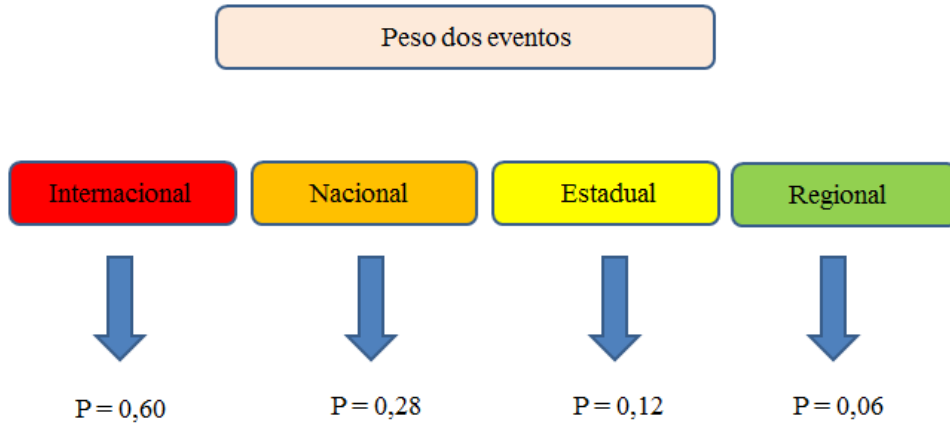


Figura 1 - Faixas de pesos do critério abrangência.

	I	N	E	R
I	1	3	5	7
N	0,3	1	3	5
E	0,2	0,3	1	3
R	0,1	0,2	0,3	1

Figura 2 - Matriz de pesos das faixas do critério abrangência.

Tabela 4 - Pesos de cada faixa do critério abrangência.

Critério	Peso
Evento Internacional = I	0,60
Evento Nacional = N	0,28
Evento Estadual = E	0,12
Evento Regional = R	0,06

Razão de Consistência para o evento Abrangência

RC = 0,022

#### 2.4.2 Critério: Modalidade do Evento

O critério modalidade nos permite uma classificação de forma a identificar o foco principal de cada evento, sendo que durante o desenvolvimento deste trabalho definimos quatro faixas que melhor definem estes eventos dentro do critério modalidade: esportivos, feiras, shows e outros eventos.

Tabela 5 - Definição das faixas do critério modalidade do evento.

<b>Critério</b>	<b>Tipo</b>
Modalidade 1	Eventos Esportivos = E
Modalidade 2	Eventos de Feiras = F
Modalidade 3	Eventos de Shows = S
Modalidade 4	Eventos Outros = O (eventos políticos, religiosos, civis, militares, etc)

Os pesos de cada faixa foram simulados diversas vezes durante os estudos de caso desta dissertação de forma a aplicar-se o mais fiel possível à metodologia deste trabalho.

Conforme verificamos na Tabela 6 abaixo a faixa dos eventos esportivos ficou com o maior peso, seguido das faixas dos eventos feira, show e outros. Segue a matriz dos pesos utilizando se o AHP.

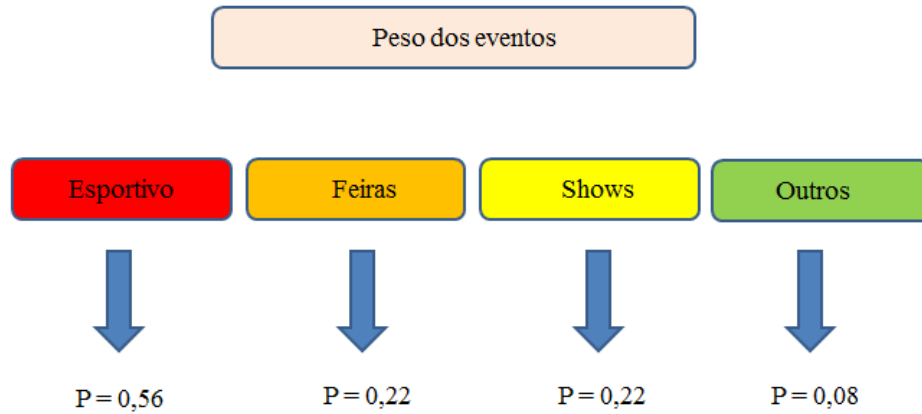


Figura 3 - Faixas de pesos do critério modalidade.

	E	F	S	O
E	1	3	3	5
F	0,3	1	1	3
S	0,3	1,0	1	3
O	0,2	0,3	0,3	1

Figura 4 - Matriz de pesos das faixas do critério modalidade do evento.

Tabela 6 - Pesos de cada faixa do critério modalidade do evento.

<b>Critério</b>	<b>Peso</b>
Eventos Esportivos = E	0,56
Eventos de Feiras = F	0,22
Eventos de Shows = S	0,22
Eventos Outros = O (eventos políticos, religiosos, civis, militares, etc)	0,08

Razão de Consistência para o evento Modalidade

RC = 0,018

### 2.4.3 Critério: Público do Evento

O critério público envolvido permite nos dar conhecimento da expectativa do evento, julgando em números de pessoas, que podem estar presentes no evento ou até mesmo assistindo o mesmo através das diversas mídias existentes, como rádio, televisão, internet, aparelhos celulares, entre outros, durante as simulações realizadas nesta dissertação definimos quatro faixas de público envolvido, conforme verificamos na Tabela 7 abaixo.

Tabela 7 - Definição das faixas do critério público do evento.

<b>Tipo</b>	<b>De</b>
Faixa Público 1	$1 \leq fp1 < 1000$
Faixa Público 2	$1000 \leq fp2 < 10000$
Faixa Público 3	$10000 \leq fp3 < 50000$
Faixa Público 4	$fp4 \geq 50000$

Os pesos de cada faixa foram simulados diversas vezes durante os estudos de caso desta dissertação de forma a aplicar-se o mais fiel possível à metodologia deste trabalho.

Conforme verificamos na Tabela 8 abaixo a faixa de público quatro (fp4), ficou com o maior peso, seguido das faixas de público fp3, fp2 e fp1. Segue a matriz dos pesos utilizando se o AHP.

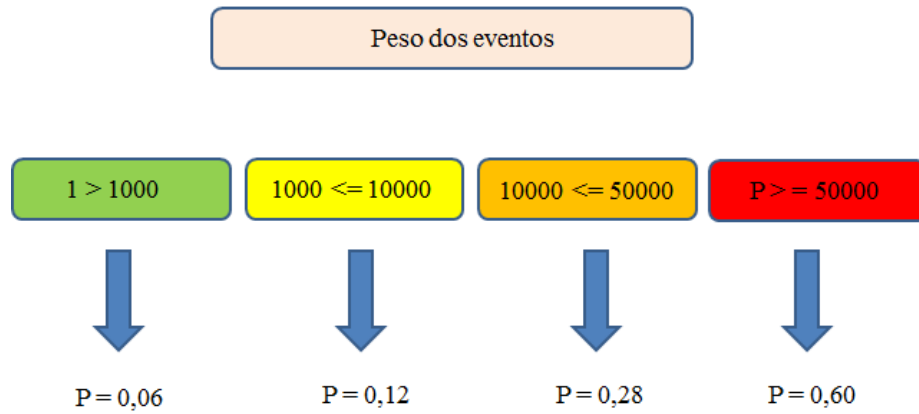


Figura 5 - Faixas de pesos do critério público do evento.

	4	3	2	1
4	1	3	5	7
3	0,3	1	3	5
2	0,2	0,3	1	3
1	0,1	0,2	0,3	1

Figura 6 - Matriz de pesos das faixas do critério público do evento.

Tabela 8 - Pesos de cada faixa do critério público do evento.

<b>Critério</b>	<b>Peso</b>
$1 > 1000$	0,06
$1000 \leq fp2 < 10000$	0,12
$10000 \leq fp3 < 50000$	0,28
$fp4 \geq 50000$	0,60

Razão de Consistência para o evento Público

RC = 0,022

## 2.5 Definição dos Pesos dos Critérios

Utilizando se o método AHP, aplicamos ainda uma priorização dentre os critérios utilizados durante os vários estudos de caso e simulações realizadas neste trabalho, definindo pesos diferenciados, para critérios diferentes, os quais consolidam a metodologia aplicada.

Tabela 9 - Definição das faixas dos critérios.

<b>Critérios utilizados</b>	<b>Descrição</b>
Critério 1	Público Envolvido = P
Critério 2	Abrangência do Evento = A
Critério 3	Modalidade do Evento = M

Conforme verificamos na Tabela 10, o critério de maior peso foi o público do evento, seguido do critério abrangência e por fim o critério modalidade. Segue a matriz dos pesos utilizando se o AHP.

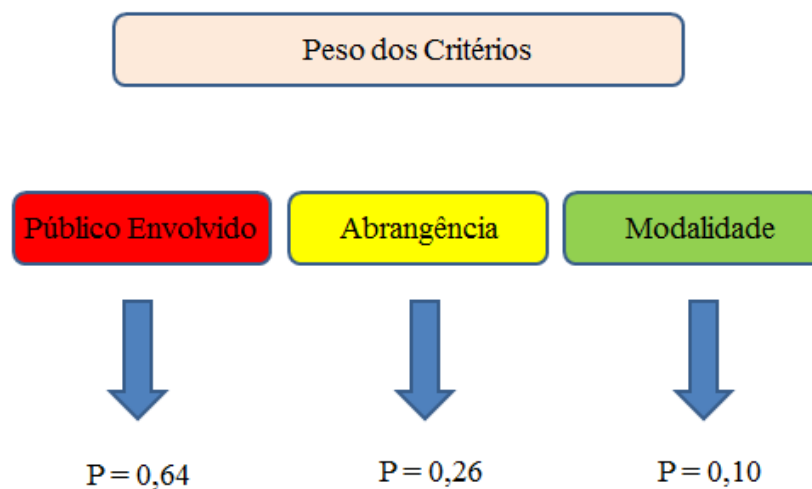


Figura 7 - Faixas de pesos do critério público do evento.



	P	A	M
P	1	3	5
A	0,3	1	3
M	0,2	0,3	1

Figura 8 - Matriz de pesos dos critérios utilizados.

Tabela 10 - Pesos de cada critério.

Critério	Peso
Público Envolvido = P	0,64
Abrangência do Evento = A	0,26
Modalidade do Evento = M	0,10

Razão de Consistência para o evento Público

RC =0,01

## 2.6 Faixas de Classificação dos Eventos

Após definidos os critérios e seus respectivos pesos, classificou-se os eventos em três tipos, conforme detalhado a seguir:

Tabela 11 - Tipos de eventos especiais.

Tipo de Evento	Ou Analogamente	Ou ainda
Nível 1 (N1)	Prioridade 1 (P1)	Evento 1 (E1)
Nível 2 (N2)	Prioridade 2 (P2)	Evento 2 (E2)
Nível 3 (N3)	Prioridade 3 (P3)	Evento 3 (E3)

Através da aplicação do método AHP tem-se:

$$\text{Valor do Evento} = \text{Critério 1} \times \text{Peso 1} + \text{Critério 2} \times \text{Peso 2} + \text{Critério 3} \times \text{Peso 3}$$

- Critério 1 = Público Envolvido = P
- Critério 2 = Abrangência do Evento = A
- Critério 3 = Modalidade do Evento = M

Ficando assim classificadas as faixas dos eventos:

Tabela 12 - Faixa de classificação de cada evento.

<b>Tipo do Evento</b>	<b>Valor do Evento</b>
Nível 1 (N1)	$0,0 < E \leq 0,2$
Nível 1 (N2)	$0,2 < E \leq 0,4$
Nível 1 (N3)	$0,4 < E \leq 1,0$

## 2.7 Exemplos de Aplicação da Metodologia de Classificação

No decorrer do desenvolvimento desta dissertação efetuamos várias simulações para que pudéssemos validar os critérios e a aplicação do método AHP, o qual possibilita uma maior assertividade quando possuímos múltiplos critérios a serem analisados, a Figura 9 ilustra de forma simplificada o cruzamento dos critérios.

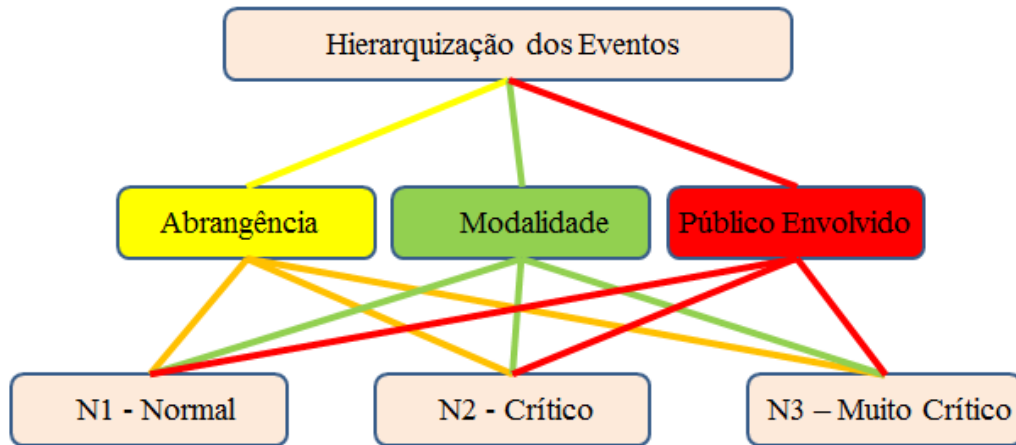


Figura 9 - Processo de julgamento.

Durante as simulações realizadas foram-se ajustando os valores dos pesos de cada critério de modo a validar a metodologia apresentada, buscando-se uma classificação através do valor do evento, conforme apresentado na expressão abaixo.

$$E = C1 \times P1 + C2 \times P2 + C3 \times P3 \quad (6)$$

Onde:

Valor do Evento = E

Peso do Critério 1 = C1 = Público envolvido

Peso da Faixa do Critério 1 = P1

Peso do Critério 2 = C2 = Abrangência do Evento

Peso da Faixa do Critério 2 = P2

Peso do Critério 3 = C3 = Modalidade do Evento

Peso da Faixa do Critério 3 = P3

Onde após a simulação verificamos o valor do evento, enquadrando o mesmo dentro das faixas de prioridade, conforme Figura 10.

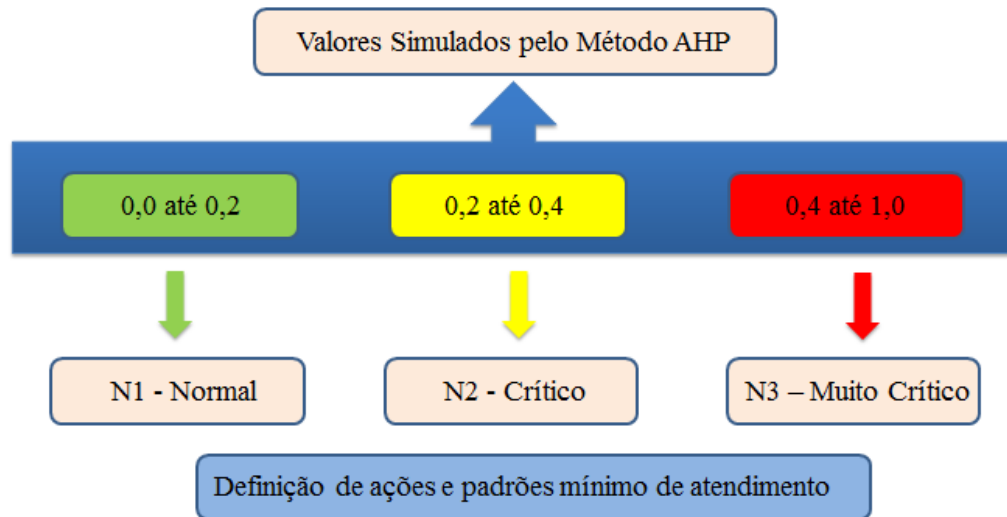


Figura 10 - Faixa de classificação de cada evento especial.

Para exemplificar as simulações apresentaremos três classificações de eventos: normal, crítico e muito crítico.

No exemplo N1, podemos ter as seguintes características do evento, como sendo a realização de um comício, num evento regional sem muita abrangência e com um público com menos de 1000 pessoas.

$$E = C1 \times P1 + C2 \times P2 + C3 \times P3$$

$$E = 0,64 \times 0,06 + 0,26 \times 0,06 + 0,10 \times 0,08$$

**Valor do Evento = 0,06** ou 0,062 sem arredondamentos

Tipo de evento = N1; faixa do evento de 0,0 até 0,20

Outro exemplo ainda de evento tipo N1, podemos ter as seguintes características do evento, como sendo a realização de um evento militar a exemplo do juramento da bandeira em um estádio, ginásio ou praça pública, um evento regional sem muita abrangência e com um público de 3000 pessoas.

$$E = C1 \times P1 + C2 \times P2 + C3 \times P3$$

$$E = 0,64 \times 0,12 + 0,26 \times 0,06 + 0,10 \times 0,08$$

**Valor do Evento = 0,10** ou 0,1004 sem arredondamentos

Tipo de evento = N1; faixa do evento de 0,0 até 0,20

Como exemplo para o evento tipo N2, podemos ter as seguintes características do evento, como sendo a realização de um jogo de futebol pelo campeonato estadual (Gauchão) e com um público de 15000 pessoas.

$$E = C1 \times P1 + C2 \times P2 + C3 \times P3$$

$$E = 0,64 \times 0,28 + 0,26 \times 0,12 + 0,10 \times 0,56$$

**Valor do Evento = 0,26** ou 0,2664 sem arredondamentos

Tipo de evento = N2; faixa do evento de 0,20 até 0,40

Outro exemplo para o evento tipo N2, podemos ter as seguintes características do evento, como sendo a realização de uma feira (Festa da Uva) em Caxias do Sul com um público de 15000 pessoas.

$$E = C1 \times P1 + C2 \times P2 + C3 \times P3$$

$$E = 0,64 \times 0,28 + 0,26 \times 0,28 + 0,10 \times 0,22$$

**Valor do Evento = 0,27** ou 0,274 sem arredondamentos

Tipo de evento = N2; faixa do evento de 0,20 até 0,40

Como exemplo para o evento tipo N3, podemos ter as seguintes características do evento, como sendo a realização de um jogo de futebol pelo campeonato brasileiro, entre Corinthians e Internacional com um público de 50000 pessoas.

$$E = C1 \times P1 + C2 \times P2 + C3 \times P3$$

$$E = 0,64 \times 0,60 + 0,26 \times 0,28 + 0,10 \times 0,56$$

**Valor do Evento = 0,51** ou 0,5128 sem arredondamentos

Tipo de evento = N3; faixa do evento de 0,40 até 1,0

Outro exemplo para o evento tipo N3, podemos ter as seguintes características do evento, como sendo a realização de um show internacional de uma banda muito conhecida e com transmissão ao vivo para diversas regiões ou países e com um público de mais 50000 pessoas.

$$E = C1 \times P1 + C2 \times P2 + C3 \times P3$$

$$E = 0,64 \times 0,60 + 0,26 \times 0,60 + 0,10 \times 0,22$$

**Valor do Evento = 0,56** ou 0,562 sem arredondamentos

Tipo de evento = N3; faixa do evento de 0,40 até 1,0

### **3 PLANEJAMENTO DA OPERAÇÃO PARA EVENTOS ESPECIAIS**

Os eventos especiais devem possuir ações previamente definidas e normatizadas, a fim de que possam receber o devido tratamento pela concessionária de energia. Os eventos classificados como do tipo nível 1 (N1), são eventos que atingem clientes onde o tempo de reestabelecimento padrão da concessionária atende a sua necessidade e não há impacto de prejuízos em larga escala ao comércio, indústria e eventos de grande porte. Para os eventos classificados como do tipo nível 2 (N2), a prioridade já é diferenciada, pois conta com maiores informações do cliente e do tipo de evento. Neste nível, a concessionária e cliente já se reuniram para analisar informações, o cliente receberá um cadastro de cliente imprescindível, o qual não deve ocorrer interrupções programadas ou em caso de interrupções imprevistas o mesmo deve ser priorizado. A concessionária efetuará ainda um estudo elétrico de planejamento da operação, que avaliará a entrada de novas cargas do evento, o carregamento das instalações envolvidas e os níveis de tensão, caso seja necessária também transferências de cargas, sendo descrito um plano de atendimento para este evento. Quanto aos eventos classificados como tipo nível 3 (N3), onde pode atingir a um grande ou pequeno número de clientes, mas de alto potencial de geração de impacto negativo, tanto comercial quanto para a sociedade, serão avaliadas ainda a possibilidade de instalação de chaves ou equipamentos de manobras adicionais nos trechos, bem como a automação dos mesmos, podendo para estes casos ainda ser avaliada a possibilidade de alteração da topologia de rede, visando aumentar a confiabilidade do fornecimento de energia do cliente. Ressalta-se que para este nível podem ser simuladas ainda as contingências nos softwares Anarede e ATP Draw, além dos softwares de fluxo de potência utilizados normalmente pelas concessionárias nas redes de distribuição.

Para melhor visualizarmos as ações de Planejamento da Operação, adotadas para cada evento utilizaremos a matriz lógica estrutural (MLE), a qual possibilitará dimensionar se as ações propostas atendem as necessidades dos clientes.

#### **3.1 Matriz Lógica Estrutural (MLE)**

Para demonstrar os ganhos com os Estudos Elétricos de Planejamento da Operação durante Eventos Especiais, utilizou-se de forma exemplificada o método da Matriz Lógico-Estrutural (MLE), onde usaram-se valores hipotéticos de indicadores globais com o intuito de facilitar a compreensão e demonstrar os benefícios. O objetivo principal do uso da MLE é validar os valores apurados dos indicadores e calcular os valores esperados. Para tanto, será considerada a solução que apresentar um maior ganho para a confiabilidade dos sistemas, considerando os indicadores de continuidade.

Para calcular os indicadores globais de DIC e FIC é construída a MLE. A matriz é organizada de modo que cada linha representa um conjunto de consumidores atendidos por um determinado ponto e as colunas representam os equipamentos de proteção e de manobra.

Para cada equipamento da rede é considerada a taxa de falhas por ano ( $\lambda$ ), o tempo médio de restabelecimento (TR) e o número de consumidores (N). Ressalta-se que normalmente o tempo de restabelecimento é composto por: tempo de espera (TE), tempo de deslocamento (TD) e tempo de serviço (TS). Cada coluna da matriz corresponde aos trechos do alimentador de distribuição protegidos por um específico dispositivo de proteção ou de manobra. Cada linha da matriz corresponde ao número de consumidores, representadas pelos transformadores de distribuição, ou no nosso estudo de caso pelo ponto. Nas células da Matriz Lógico-Estrutural, colocam-se os valores dos tempos médios de restabelecimento da energia. Para a definição deste valor, é preciso analisar quanto tempo é necessário para o restabelecimento do fornecimento de energia para os consumidores ligados ao transformador de distribuição (linha da matriz), no caso de falha no trecho da rede de distribuição (coluna da matriz), considerando os equipamentos de proteção e de manobra instalados na rede.

Na presença de equipamentos de manobra, tem-se que avaliar as possibilidades de manobra por meio destes dispositivos. A primeira possibilidade é o seccionamento, quando o trecho sob falha e os demais nós a jusante de uma chave NF são isolados dos nós a montante, sendo computado como tempo de isolamento (TI). A segunda é a transferência dos nós a jusante da chave NF para falhas a montante, sendo considerado como tempo de transferência (TT). Esta última possibilidade depende da existência de uma chave NA a jusante da NF, e que o alimentador adjacente tenha capacidade técnica disponível para receber as cargas a serem transferidas. Tanto o tempo de isolamento (TI) quanto o tempo de transferência (TT) são compostos normalmente por: tempo de espera (TE), tempo de deslocamento (TD) e tempo de manobra (TM). Para o caso de uso de chaves manuais para realização das manobras, normalmente  $TR > TT > TI$ . No caso de dispositivos de proteção, estes interrompem a corrente de curto-circuito, não permitindo que uma falha a jusante atinja nós a montante.



Assim, estes nós não são afetados pela falha e, conseqüentemente, não tem a energia interrompida.

Para ilustrar, será apresentada a Matriz Lógico-Estrutural para o alimentador simplificado da Figura 11. Assume-se que a chave NA no ponto 5 está ligada a outro alimentador com capacidade de receber as cargas a jusante da chave NF.

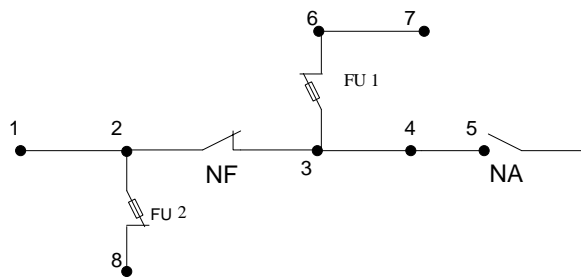


Figura 11 - Exemplo de alimentador.

A Tabela 13 apresenta a construção da matriz Lógico-Estrutural para o exemplo da Figura 11, considerando os tempos médios de restabelecimento, de isolamento e de transferência para cada dispositivo.

Tabela 13 - Matriz Lógico-Estrutural para o alimentador da Figura 11.

Nós Atingidos	Equipamentos de Proteção e Manobra			
	DJ	CH NF	FU-1	FU-2
1	TR <sub>1</sub>	TI	0	0
2	TR <sub>1</sub>	TI	0	0
3	TT	TR <sub>2</sub>	0	0
4	TT	TR <sub>2</sub>	0	0
5	TT	TR <sub>2</sub>	0	0
6	TT	TR <sub>2</sub>	TR <sub>3</sub>	0
7	TT	TR <sub>2</sub>	TR <sub>3</sub>	0
8	TR <sub>1</sub>	TI	0	TR <sub>4</sub>

Após a construção da tabela inicial, multiplica-se os valores da matriz pela taxa de falha do respectivo equipamento, conforme Tabela 14:

Tabela 14 - Matriz Lógico-Estrutural com tempos x taxa de falha.

Nós Atingidos	Equipamentos de Proteção e Manobra			
	DJ	CH NF	FU-1	FU-2
1	$TR_1 \cdot \lambda_1$	$TI \cdot \lambda_2$	0	0
2	$TR_1 \cdot \lambda_1$	$TI \cdot \lambda_2$	0	0
3	$TT \cdot \lambda_1$	$TR_2 \cdot \lambda_2$	0	0
4	$TT \cdot \lambda_1$	$TR_2 \cdot \lambda_2$	0	0
5	$TT \cdot \lambda_1$	$TR_2 \cdot \lambda_2$	0	0
6	$TT \cdot \lambda_1$	$TR_2 \cdot \lambda_2$	$TR_3 \cdot \lambda_3$	0
7	$TT \cdot \lambda_1$	$TR_2 \cdot \lambda_2$	$TR_3 \cdot \lambda_3$	0
8	$TR_1 \cdot \lambda_1$	$TI \cdot \lambda_2$	0	$TR_4 \cdot \lambda_4$

Agora, somando os termos das linhas, tem-se o tempo de interrupção esperado para o respectivo nó, que é equivalente ao indicador de duração individual esperada ( $DIC_E$ ) para os consumidores atendidos pelo transformador de distribuição do respectivo nó. Por exemplo, para o nó 1 a expressão para o tempo esperado de interrupção é a seguinte:

$$DIC_{E1} = \sum_{j=1}^n M_{1,j} = TR_1 \cdot \lambda_1 + TI \cdot \lambda_2 \quad (7)$$

Onde:

$DIC_{E1}$  – duração de interrupção individual esperada para unidade consumidora no nó 1 (h/ano);

$M_{1,j}$  – elemento da linha 1 e coluna  $j$  da MLE;

$TR_j$  – tempo médio de restabelecimento do equipamento  $j$  (h);

$\lambda_j$  – taxa de falha do equipamento  $j$  (falhas/ano);

$TI$  – tempo de isolamento (h);

$n$  – número de colunas correspondente aos equipamentos de proteção ou de manobra do alimentador.

Para o  $DEC_E$ , a Equação 7 é multiplicada pelo respectivo número de consumidores da linha, e então os resultados de todas as linhas são somados e divididos pelo número de consumidores total do conjunto analisado, conforme a Equação 8:

$$DEC_E = \frac{\sum_{i=1}^m \left( \sum_{j=1}^n M_{i,j} \right) \cdot Ci}{Cc} \quad (8)$$

Onde:

$DEC_E$  – duração equivalente de interrupção esperada por unidade consumidora (h/ano);

$M_{i,j}$  – elemento da linha  $i$  e coluna  $j$  da MLE;

$Ci$  – número de consumidores do nó  $i$ ;

$Cc$  – número total de unidades consumidoras do conjunto;

$m$  – número de nós ou linhas correspondentes aos transformadores de distribuição.

Já para calcular a energia não suprida esperada ( $ENS_E$ ), basta substituir o número de consumidores pela respectiva carga da linha, conforme segue:

$$ENS_E = \sum_{i=1}^m \left( \sum_{j=1}^n M_{i,j} \right) \cdot Li \quad (9)$$

Onde:

$ENSE$  – energia não suprida esperada (kWh/ano);

$Li$  – carga do nó  $i$  (kW).

Para obter os indicadores de frequência individual e equivalente de falhas esperadas por consumidor (FICE e FECE) o processo é similar ao dos indicadores DICE e DECE, sendo necessário apenas substituir na Matriz Lógico-Estrutural os tempos médios (TR, TI e TT) por 1.

$$FIC_{E1} = \sum_{j=1}^n M^*_{1,j} = 1 \cdot \lambda_1 + 1 \cdot \lambda_2 \quad (10)$$

$$FEC_E = \frac{\sum_{i=1}^m \left( \sum_{j=1}^n M^*_{i,j} \right) \cdot Ci}{Cc} \quad (11)$$

Onde:

$FIC_{E1}$  – frequência de interrupção individual esperada para unidade consumidora no nó 1 (falhas/ano);

$FEC_E$  – frequência equivalente de interrupção esperada por unidade consumidora (falhas/ano);

$M^*_{1,j}$  – elemento da linha 1 e coluna  $j$  da MLE, apenas com taxas de falhas;

$M^*_{i,j}$  – elemento da linha  $i$  e coluna  $j$  da MLE, apenas com taxas de falhas.

Ressalta-se que para as transferências propostas neste trabalho devem ser levadas em conta outras variáveis das concessionárias, como análises de carga e carregamento dos equipamentos, perfil de tensão, ajustes de proteção e estados dos elementos da rede envolvidos, bem como normas e procedimentos internos das concessionárias.

### 3.2 Classificação dos Tipos de Eventos

No desenvolvimento desta metodologia proposta, avaliando os estudos prévios e os estudos de casos durante as simulações verificou-se que os eventos especiais podem ser classificados em três tipos, evento tipo nível 1 (N1), evento tipo nível 2 (N2) e evento tipo nível 3 (N3).

Para os eventos do tipo nível 1 (N1), são eventos que não possuem uma característica ou classificação relevante durante o regime de operação normal, não são situações críticas, para eventos do tipo N1, onde a prioridade é normal, não serão adotados limites mínimos de DIC e FIC, pois neste tipo de evento não há grandes impactos nos clientes nem nos processos produtivos.

As ações propostas para este tipo de evento especial N1, são ações rotineiras, como plano de atendimento, análise da topologia de rede e carregamentos dos equipamentos envolvidos.

Para os eventos do tipo nível 2 (N2), são eventos que já possuem uma prioridade crítica causando impactos a concessionária e principalmente ao cliente e seu processo produtivo, devendo ser elaborado uma estratégia antecipada de manter a continuidade do fornecimento de energia elétrica com indicadores diferenciados e planos de ação para recomposição do sistema em caso de falha.

As ações propostas para este tipo de evento especial N2, além das ações rotineiras, incluem planos de contingência e remanejamentos de carga, podendo sofrer também pequenas adequações na topologia de rede que busquem melhorar a continuidade e confiabilidade deste fornecimento. Para este tipo de evento N2, adotaremos como indicadores de qualidade mínimos um DIC inferior a 2,0 horas e um FIC inferior a 3,0 vezes no cliente.

Para os eventos do tipo nível 3 (N3), são eventos que possuem uma prioridade muito crítica causando impactos muito significativos aos processos produtivos do cliente e à imagem da concessionária, devendo ser elaborado além das ações propostas nos eventos anteriores também propostas de alterações significativas na topologia de rede, incluindo-se a aplicação de chaves para operação em carga, revisão dos ajustes das proteções, simulações de paralelismos durante manobras, bem como ações de campo através de inspeções termográficas, poda de vegetais, inspeção de estruturas e regulação de condutores.

Para eventos do tipo N3, onde a prioridade é muito crítica, serão adotados indicadores de qualidade mínimos, como um DIC inferior a 0,3 horas no cliente e o FIC inferior a 1,0.

### **3.3 Fluxograma do Processo**

Para uma melhor avaliação da metodologia proposta, apresentamos a seguir um fluxograma do processo, onde a concessionária recebe a solicitação do cliente, coletando o maior número de informações possíveis para avaliar o pedido. Após este passo, é efetuada uma avaliação multicriterial com apoio do método AHP, onde será classificado o tipo de evento e sua prioridade.

Classificado o tipo de evento e definida sua prioridade, será elaborado, pela concessionária, um plano de ação para atendimento que será analisado e simulado para cada

tipo de evento, buscando garantir o fornecimento de energia elétrica durante o evento especial. Consolidadas estas etapas, é elaborado um feedback ao cliente das ações propostas para a continuidade do seu fornecimento.

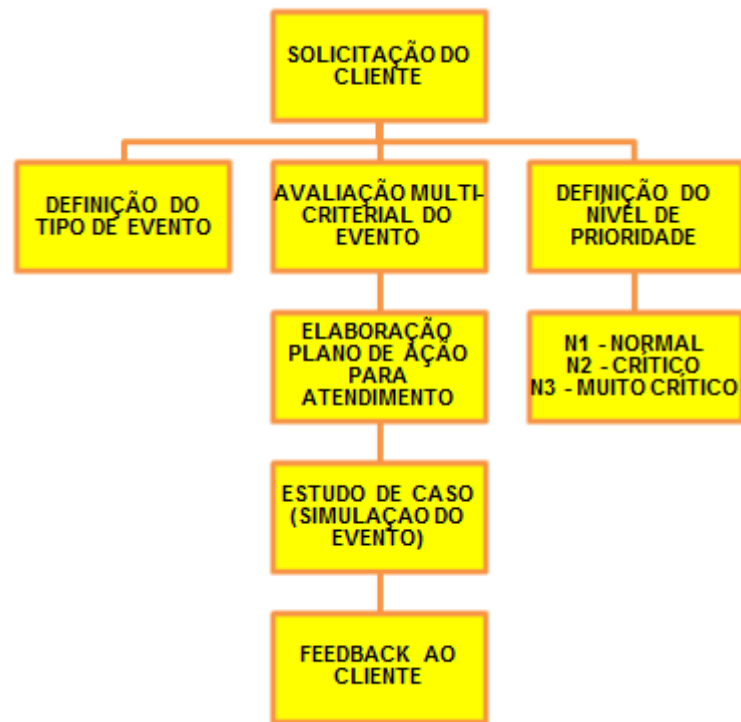


Figura 12 - Fluxograma do Processo.

## 4 ESTUDOS DE CASOS

Como estudo de caso, optamos por selecionar um alimentador da região metropolitana, o qual fica numa região central, com possibilidades de manobras e que em determinado ponto seja um local onde ocorrem seguidos eventos, com os mais diversos níveis de criticidade. Para este trabalho, utilizou-se uma identificação hipotética das instalações, visando preservar a segurança e integridade das mesmas, com intuito de ilustrar o estudo de caso. Supondo que para este estudo de caso esteja ocorrendo um grande evento esportivo na cidade, com grande repercussão na mídia, com a presença de grandes personalidades e toda uma estrutura gigantesca de marketing e divulgação deste evento e que realização seja inadiável e sua transmissão imprescindível.

Neste caso, realizaram-se os estudos elétricos de planejamento da operação durante eventos especiais, simulando os três níveis de prioridade do evento: N1 prioridade de atendimento normal como qualquer outro dia, N2 prioridade crítica, pois trata-se de um evento importante e N3 prioridade muito crítica, pois a falha nas instalações pode trazer repercussões negativas muito grandes para o evento, para a cidade e para a concessionária, além da comunidade em geral.

O evento será realizado em um estádio com capacidade para cerca de 51.000 pessoas, e é atendido por um alimentador que opera na tensão de 13,8 kV e atende cerca de 4.000 clientes conectados a ele, com demanda média de 7,4 MW, sendo uma zona nobre e bastante arborizada.



Figura 13 - Vista do local do evento.

Este alimentador utilizado para fins de estudos, foi dividido em dois pontos, sendo o ponto “A” do disjuntor do alimentador (DJ) até a chave faca normalmente fechado (NF) chave CF-003, com 1.900 consumidores e uma extensão de 6 km de rede troncal. Já o ponto “B”, começa a partir da chave CF-003 e vai até a chave faca normalmente aberta CF-012, tendo uma extensão de 8 km de rede troncal com 2.100 consumidores ligados. O evento está localizado no ponto “A”, a 500 m da chave faca CF-003.

Após a avaliação minuciosa dos dados históricos deste alimentador, verificou-se que a maior parte dos desarmes ocorre devido a inúmeros problemas no ponto “A” deste alimentador, que vão desde o mau estado de conservação da rede, a colisões e vandalismos nesta região, tornando-se assim a zona mais crítica deste alimentador (AL).

A taxa de falha deste alimentador é de uma falha km/ano ( $\lambda=1$ ), o tempo de reparo é de 3 horas, o tempo de isolamento é de 0,5 hora e o tempo de transferência é de 0,5 hora.

#### 4.1 Estudo de Caso Evento N1

No estudo de caso da situação 1, considerou-se a criticidade do evento no nível N1, prioridade normal e a rede em sua configuração atual. Desta forma, a ocorrência de defeito com atuação do disjuntor (DJ) do alimentador AL 34 corresponde aos resultados obtidos na Figura 15, conforme cálculos dos indicadores de duração individual equivalente por



consumidor (DIC) e frequência individual equivalente por consumidor (FIC) a partir da Matriz Lógica Estrutural. Ressalta-se que os indicadores foram calculados apenas para o cliente especial e considerando o impacto da ocorrência de falha no ponto “A” durante a realização do evento.

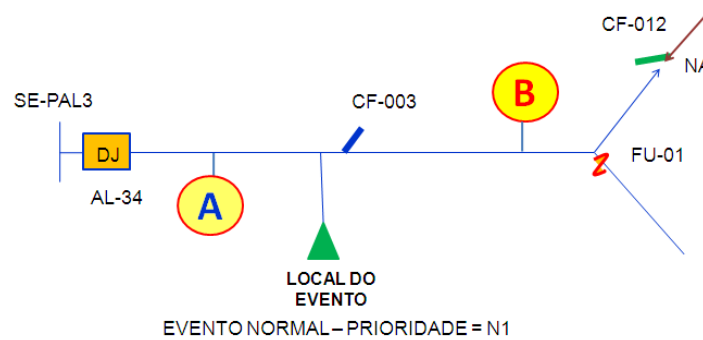


Figura 14 - Topologia da rede no evento N1.

Situação 1 - Defeito no ponto "A" da rede atual					
Ponto	Cliente	Evento Especial	Duração	DIC (horas)	FIC (vezes)
A	1		TR	(1 X 3) = 3	(1 x 1) = 1
			<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; display: inline-block;"> <b>DIC = 3 horas</b>    <b>Indicador no cliente = Evento tipo N1</b> </div>		<b>FIC = 1 vezes</b>
<b>TR</b> - Tempo de Reparo = 3 horas <b>TI</b> - Tempo de Isolamento = 1 hora <b>TT</b> - Tempo de Transferência = 0,5 horas <b>TTA</b> - Tempo de Transferência Automatizado <= 3 minutos					

Figura 15 - Matriz Lógica Estrutural com simulação de defeito no DJ do alimentador AL 34.

Como este evento está classificado no estágio N1, sua perspectiva estimada de restabelecimento será o tempo de reparo, ou seja, de 3 horas para cada falha. Neste tipo de evento não é adotada nenhuma ação adicional para redução de indicadores.

## 4.2 Estudo de Caso Evento N2

Na situação 2, simulou-se que o evento foi encaminhado como um evento de nível N2 considerado crítico pelo cliente e pela concessionária. Neste evento, a concessionária efetua novos estudos mais aprofundados com o intuito de priorizar o atendimento a este cliente, em caso de necessidade como sugestão poderá ser verificada a possibilidade de instalação e abertura de uma chave adicional próxima ao cliente, retirando o mesmo da zona de reparo para a zona de transferência de carga.

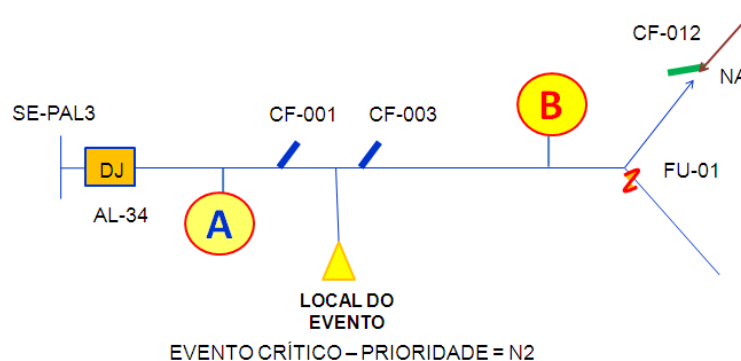


Figura 16 - Adequação do ponto de manobra durante o evento especial N2.

A Figura 17 apresenta os indicadores calculados para o cliente especial considerando o impacto da ocorrência de falha no ponto “A” durante a realização do evento. Verifica-se que neste caso há possibilidade de transferência de carga em função da CF-001 adicionada após a classificação do evento como N2.

Esta chave atende de forma mais eficaz o cliente, restabelecendo de forma mais rápida seu fornecimento de energia elétrica, pois agora ele deixa de estar no tempo de reparo de 3 horas e passa a ser atendido pelo tempo de transferência que é de 30 minutos, o que ocasiona uma melhoria evidente na qualidade do fornecimento de energia.

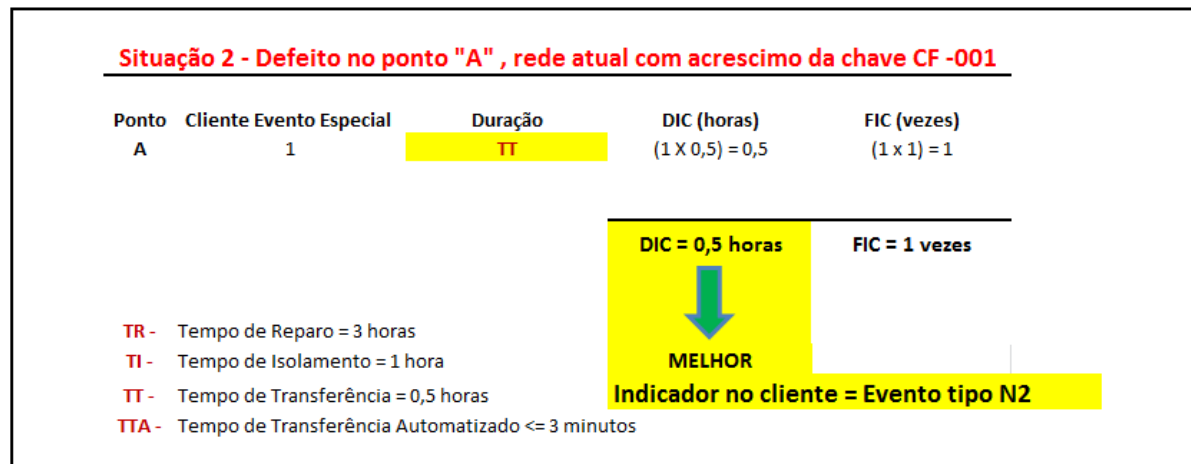


Figura 17 - Redução do tempo de restabelecimento após alterar o tipo de evento para nível 2.

### 4.3 Estudo de Caso Evento N3

Na situação 3, efetuou-se a simulação considerando um evento de nível muito crítico (N3). Para estes eventos a concessionária efetua um estudo elétrico mais detalhado das condições e da topologia da rede, identificando pontos de possíveis ajustes em equipamentos de proteção, limitações técnicas nas subestações e transformadores, bem como seus carregamentos, avaliando ainda equipamentos de manobras a serem instalados ou substituídos, analisando a automação de alguns pontos de manobra, fontes alternativas para transferências de cargas, como subestações alimentadas por sistemas de diferentes fontes, simulações nos softwares dos sistemas de transmissão (Anarede, NH2), possibilidade de transferências de alimentadores em paralelismo com subestações de diferentes fontes [4] através de análise e simulação com uso do software ATPDraw, possibilitando assim prevenir da melhor forma possível a falta de energia elétrica ao fornecimento. Planejando de maneira segura e confiável a operação da rede durante a realização de eventos especiais.

Para a situação 3, que caracteriza um evento de nível muito crítico N3, simulou-se através dos estudos elétricos, o atendimento da seguinte forma: o ponto de interligação da chave NA, deverá prever operação em carga e acionamento tripolar podendo ser do tipo chave SF6, chave a óleo, religador ou outros semelhantes. Para esta situação o alimentador de interligação deverá pertencer a uma subestação que tenha seu sistema de abastecimento oriundo de uma fonte diferente da fonte que alimenta o evento, garantindo-se assim uma maior confiabilidade. A situação de transferência deverá ser simulada previamente pelo setor

de planejamento de operação, o qual validará as transferências de carga e a possibilidade de execução em paralelo entre alimentadores de diferentes fontes. Já na topologia de rede, serão avaliados os benefícios de instalação de chaves tripolares de operação em carga principalmente nos pontos das chaves CF-001, CF-003 e CF-012. Também será necessário discutir a viabilidade de automatização destas chaves, pois a automação das mesmas traz inúmeros benefícios ao restabelecimento do fornecimento de energia elétrica.

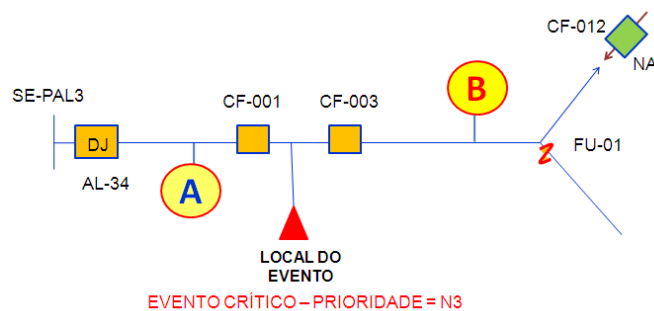


Figura 18 - Simulação do evento com prioridade muito crítica (N3).

A Figura 19 apresenta os indicadores calculados para o cliente especial considerando o impacto da ocorrência de falha no ponto "A" durante a realização do evento. Verifica-se que neste caso há possibilidade de transferência remota de carga em função da instalação e automação da CF-001 após a classificação do evento como N3, que resulta num tempo de transferência igual ou inferior é abaixo de 3 minutos em operações normais.

<b>Situação 3 - Defeito no ponto "A", rede atual com acréscimo e automação da chave CF-001</b>					
Ponto	Cliente	Evento Especial	Duração	DIC (horas)	FIC (vezes)
A		1	<b>TTA</b>	$(1 \times 0,05) = 0,05$	$(1 \times 1) = 1$
			<b>DIC &lt;= 3 minutos</b>		<b>FIC = 1 vezes</b>
			<b>MELHOR</b>		
			<b>Indicador no cliente = Evento tipo N3</b>		
<b>TR</b>	Tempo de Reparo = 3 horas				
<b>TI</b>	Tempo de Isolamento = 1 hora				
<b>TT</b>	Tempo de Transferência = 0,5 horas				
<b>TTA</b>	Tempo de Transferência Automatizado <= 3 minutos				


Figura 19 - Tempo de restabelecimento inferior a 3 minutos.

Com o plano de atendimento validado e implementado pelo planejamento de operação, os tempos de transferência para o cliente e concessionárias são reduzidos significativamente, pois no exemplo anterior da situação N2 (nível crítica) o tempo de recomposição foi de 30 minutos para o cliente e agora na situação N3 (muito crítica) o tempo de restabelecimento passa a ser inferior a 3 minutos.

#### 4.4 Resultados Comparativos

Os tempos de retorno da energia estimados em caso de falta reduziram significativamente para o cliente, conforme verifica-se na Figura 20. Também foram eliminadas as possibilidades de desligamentos programados e manobras emergenciais que pudessem atingir o cliente. A topologia de rede recebeu novos pontos para operação durante a realização do evento e os tempos foram significativamente reduzidos.

Tipo de Evento	Prioridade	Tempo estimado de recomposição	Tempo
N 1	Normal		3 horas
N 2	Crítica		30 minutos
N 3	Muito Crítica		menos de 3 minutos

  
**MELHOR**

Retorno da energia no cliente em caso de falta

Figura 20 - Avaliação da redução dos tempos de recomposição.

## 5 CONCLUSÃO

Este trabalho apresentou uma metodologia para o problema de classificação e tratamento dos eventos especiais, considerando multivariáveis durante o processo de classificação e definindo níveis de tratamento dos eventos, com ações mínimas esperadas para cada tipo de evento e validação destas ações com a utilização da matriz lógica estrutural (MLE).

Neste contexto, ressalta-se a instalação de equipamentos automatizados (monitoração e controle a distância), como, por exemplo, chaves telecomandadas, que contribuem significativamente na minimização das áreas afetadas pelo defeito e na diminuição do número de consumidores sem energia, implicando diretamente na melhoria dos indicadores de continuidade e qualidade de energia elétrica.

O problema de classificação dos eventos especiais foi solucionado com aplicação de critérios qualitativos e criação de faixas de atuação em cada critério, as quais permitem uma maior confiabilidade na aplicação dos critérios.

Para determinar a sequência de priorização de classificação dos eventos foi utilizado o método de análise e tomada de decisão multicriterial AHP, que avaliou a ponderação dos critérios abrangência, modalidade e público envolvido.

Os resultados das simulações nos estudos de caso apresentados por tipo de evento (N1, N2, N3) mostraram o melhor desempenho das condições de operação da rede quando se considera o tipo de classificação do evento.

A função objetivo (minimização da duração da interrupção por unidade consumidora e frequência de interrupção por unidade consumidora) adotada nesta Dissertação se mostrou eficiente, fornecendo bons resultados, considerando termos de natureza distinta, o que foi comprovado durante os estudos de caso.

A classificação e tratamento de eventos especiais tem-se mostrado, no contexto atual, uma ferramenta valiosa quando usada no estado normal de operação do sistema de distribuição, pois permite, através dos níveis hierárquicos, diferentes ações na busca por um melhor planejamento da operação, entre as principais ações de planejamento da operação podemos citar: a configuração das redes de forma que esta trabalhe em seu máximo desempenho, o que vem se tornando possível devido à prática crescente de instalação de equipamentos telecomandados e sistemas de supervisão e controle nas redes de distribuição.

O aprimoramento e a integração das etapas da metodologia apresentada neste trabalho poderão compor no futuro um sistema de gerenciamento automático para a reconfiguração da rede e executável em tempo real através dos equipamentos e procedimentos remotos, definidos a partir de informações cadastradas em tempo real para previsão de eventos especiais. Contudo, este trabalho restringiu-se ao desenvolvimento de cada etapa do processo de classificação, a partir dos principais critérios apresentados, abrangência, modalidade e público envolvido. Dessa forma, a metodologia apresentada fornece indicações de como utilizar as informações disponíveis para classificar assertivamente os eventos e prever o tratamento correto a cada tipo de evento especial.

A realização desta Dissertação de Mestrado é uma ferramenta imprescindível para esta nova demanda de mercado, que consiste em clientes cada vez mais sensíveis às interrupções no fornecimento de energia elétrica.

## **5.1 Contribuições do Trabalho**

Podem-se destacar como principais contribuições deste trabalho:

- A definição e caracterização de eventos especiais;
- A definição de critérios para avaliar os eventos especiais;
- O desenvolvimento de uma nova metodologia de análise para classificação dos eventos especiais;
- A definição de faixas de tratamentos dos eventos especiais;
- A definição de padrões mínimos de atendimento para cada tipo de evento;
- A seleção de diferentes topologias da rede para melhorar o desempenho da mesma;
- A avaliação de novos equipamentos ou interligações elétricas na rede da concessionária buscando maximizar o desempenho da mesma.

## 5.2 Sugestões de Continuidade

Como desenvolvimento futuro deste trabalho propõe-se as seguintes abordagens:

- Incorporar como critérios de priorização a demanda contratada do cliente junto à concessionária;
- Incorporar junto ao estudo da metodologia aplicada o período em que ele necessita estar cadastrado como evento especial;
- Incorporar uma previsão de recursos junto à concessionária estimando valores a serem aplicados para cada evento.

## 5.3 Publicações Relacionadas ao Trabalho

No decorrer do Mestrado, até o momento, foram publicados os seguintes trabalhos:

### Trabalhos publicados em congressos

1. VEIGA, F. D., BERNARDON, D. P., ORTIZ, F. P., VARGAS, F. D. Metodologia de Estudos Elétricos de Planejamento da Operação Durante Eventos Especiais In: Conferencia Internacional de Distribuição de Elétrica (CIDEL), 2014, Argentina.

2. VEIGA, F. D., BERNARDON, D. P., ORTIZ, F. P., VARGAS, F. D. Metodologia de Estudos Elétricos de Planejamento da Operação Durante Eventos Especiais In: Seminário Nacional das Distribuidoras de Energia Elétrica ( XXI SENDI), 2014, São Paulo.

3. VEIGA, F. D., BERNARDON, D. P., ORTIZ, F. P., VARGAS, F. D. Metodologia de Estudos Elétricos de Planejamento da Operação Durante Eventos Especiais In: Seminário de Redes Elétricas Inteligentes (REI), 2014, Santa Maria.

4. VEIGA, F. D., BERNARDON, D. P., ORTIZ, F. P., VARGAS, F. D. Metodologia de Estudos Elétricos de Planejamento da Operação Durante Eventos Especiais In: Simpósio Brasileiro de Sistemas Elétricos (SBSE), 2014, Paraná.

5. VEIGA, F. D., BERNARDON, D. P., ORTIZ, F. P., VARGAS, F. D. Estudos Elétricos de Planejamento da Operação para Atendimento Eventos Especiais In: Seminário Nacional das Distribuidoras de Energia Elétrica ( XXI SENDI), 2014, São Paulo.



## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABABEI, C. e KAVASSERI, R. Efficient Network Reconfiguration Using Minimum Cost Maximum Flow-Based Branch Exchanges and Random Walks-Based Loss Estimations. **IEEE Transactions on Power Systems**, v. 26, n. 1, p. 30–37, 2011.

ACHARYA, N.; MAHAT, P. e MITHULANANTHAN, N. An analytical approach for DG allocation in primary distribution network. **Electric Power & Energy Systems**, v. 28, p. 669–678, 2006.

ACKERMANN, T.; ANDERSSON, G. e SÖDER, L. Distributed generation: a definition. **Electric Power Systems Research**, v. 57, n. 3, p. 195–204, 2001.

AHUJA, A.; DAS, S. e PAHWA, A. An AIS-ACO Hybrid Approach for Multi-Objective Distribution System Reconfiguration. **IEEE Transactions on Power Systems**, v. 22, n. 3, p. 1101–1111, 2007.

ANDRADE, W. S. **Avaliação da confiabilidade de sistemas de distribuição e sub-transmissão considerando geração distribuída**. Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica) Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2007.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL. **Atlas de energia elétrica do Brasil**. 2ª ed. ed. Brasília, 2005.

BENTO, E. P. e KAGAN, N. Algoritmos genéticos e variantes na solução de problemas de configuração de redes de distribuição. **Revista Controle & Automação**, v. 19, n. 3, 2008.

BERNARDON, D. P. **Desenvolvimento de Algoritmos e Sistema Computacional para Estimação de estados em Redes de Distribuição**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) - Universidade Federal de Santa Maria, 2004.

BERNARDON, D. P. **Novos métodos para reconfiguração das redes de distribuição a partir de algoritmos de tomadas de decisão multicriteriais**. Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica) Universidade Federal de Santa Maria, 2007.

BLUSHAN, N. e RAI, K. **Strategic Decision Making Applying the Analytic Hierarchy Process**. Springer, 2004.

BRAZ, D. M. H. e SOUZA, B. A. Distribution Network Reconfiguration Using Genetic Algorithms With Sequential Encoding: Subtractive and Additive Approaches. **IEEE Transactions on Power Systems**, v. 26, n. 2, p. 582–593, 2011.

BROWN, R. E. Impact of Smart Grid on distribution system design. In: Power and Energy Society General Meeting – Conversion and Delivery of Electrical Energy in the 21st Century, 2008, Pittsburgh. **Anais...** Pittsburgh: IEEE, p. 1–4, 2008.

CELLI, G. et al. Reliability assessment in smart distribution networks. **Electric Power Systems Research**, v. 104, p. 164–175, 2013.

CENTRO DE GESTÃO E ESTUDOS ESTRATÉGICOS – CGEE. **Redes elétricas inteligentes: contexto nacional**. Brasília, 2012.

CHIANG, H.-D. e JUMEAU, R. J. Optimal Network Reconfigurations in Distribution Systems: Part 1: A new formulation and a solution methodology. **IEEE Transactions on Power Delivery**, v. 5, n. 4, p. 1902–1909, 1990.

CIVANLAR, S. et al. Distribution feeder reconfiguration for loss reduction. **IEEE Transactions on Power Delivery**, v. 3, n. 3, p. 1217–1223, 1988.

DAS, D. A Fuzzy Multiobjective Approach for Network Reconfiguration of Distribution Systems. **IEEE Transactions on Power Delivery**, v. 21, n. 1, p. 202–209, 2006.

DAZA, E. F. B. **Utilização da metodologia AHP para alocação de equipamentos telecomandados em sistemas de distribuição para melhoria da confiabilidade**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2010.

DISTRIBUTION MANAGEMENT SYSTEM. Bangalore, Índia, 2011. Disponível em: <<http://distributionmanagementssystem.blogspot.com.br/>> Acesso em: 23 out. 2013.

EL-KHODARY, S. M.; ABDELAZIZ e OSAMA. Reconfiguration of distribution systems for loss reduction using the hyper-cube ant colony optimisation algorithm. **IET Generation, Transmission & Distribution**, v. 6, n. April 2011, p. 176–187, 2012.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA – EPE. *Informe à imprensa – Leilão de Reserva*, Rio de Janeiro, 2013. Disponível em: <[http://www.epe.gov.br/imprensa/PressReleases/20130814\\_1.pdf](http://www.epe.gov.br/imprensa/PressReleases/20130814_1.pdf)> Acesso em: 20 ago. 2013.

ESHA, E. S. H. A. Guide on How to Develop a Small Hydropower Plant. European Small Hydropower Association, 2004. Disponível em: <<http://www.esha.be/index.php?id=39>> Acesso em: 10 dez. 2014.

FALCÃO, D. M. Smart grid e microredes: o futuro já é presente. In: Simpósio de Automação de Sistemas Elétricos (VIII SIMPASE) 2009, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro, p. 1–11, 2009.

FALCÃO, D. M. Integração de Tecnologias para Viabilização da Smart Grid. In: Simpósio Brasileiro de Sistemas Elétricos (SBSE) 2010, Belém. **Anais...** Belém, p. 1–5, 2010.

FARAHANI, V.; VAHIDI, B. e ABYANEH, H. A. Reconfiguration and Capacitor Placement Simultaneously for Energy Loss Reduction Based on an Improved Reconfiguration Method. **IEEE Transactions on Power Systems**, v. 27, n. 2, p. 587–595, 2012.

FERREIRA, F. L. **Metodologia para reconfiguração de redes de distribuição trifásicas assimétricas e não balanceadas com geração distribuída**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.

FUENTES, M. et al. Application and validation of algebraic methods to predict the behaviour of crystalline silicon PV modules in Mediterranean climates. **Solar Energy**, v. 81, n. 11, p. 1396–1408, 2007.

GARCIA, V. J. **Metaheurísticas multiobjetivo para o problema de restauração do serviço em redes de distribuição de energia elétrica**. Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica); Universidade Estadual de Campinas - Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação, Campinas, 2005.

GOMES, F. V. et al. A new distribution system reconfiguration approach using optimum power flow and sensitivity analysis for loss reduction. **IEEE Transactions on Power Systems**, v. 21, n. 4, p. 1616–1623, 2006.

GUEDES, L. S. M. et al. A Multiobjective Heuristic for Reconfiguration of the Electrical Radial Network. **IEEE Transactions on Power Delivery**, v. 28, n. 1, p. 311–319, 2013.

GUPTA, R.; GHOSH, A. e JOSHI, A. Performance Comparison of VSC-Based Shunt and Series Compensators Used for Load Voltage Control in Distribution Systems. **IEEE Transaction Power Delivery**, v. 26, n. 1, p. 268–278, 2011.

HINGORANI, N. G. Introducing custom power. **IEEE Spectrum**, v. 32, n. 6, p. 41–48, 1995.

HONG, Y. e HO, S. Determination of Network Configuration Considering Multiobjective in Distribution Systems using Genetic Algorithms. **IEEE Transactions on Power Systems**, v. 20, n. 2, p. 1062–1069, 2005.

HSIAO, Y. T. Multiobjective Evolution Programming Method for Feeder Reconfiguration. **IEEE Transactions on Power Systems**, v. 19, n. 1, p. 594–599, 2004.

HUANG, Y.-C. Enhanced genetic algorithm-based fuzzy multi-objective approach to distribution network reconfiguration. **IEEE Proceedings Generation, Transmission and Distribution**, v. 149, n. 5, p. 615–620, 2002.

IEEE STD 1547:2003. IEEE Standard for Interconnecting Distributed Resources with Electric Power Systems. **IEEE STD 1547**, 2003

KAGAN, N. et al. **Métodos de otimização aplicados a sistemas elétricos de potência**. São Paulo, 2009.

KHOA, T. Q. D.; BINH, P. T. T. e TRAN, H. Optimizing location and sizing of distributed generation in distribution systems. In: IEEE PES Power Systems Conference and Exposition 2006, Atlanta. **Anais...** Atlanta: IEEE, p. 725–732, 2006.

KINDERMANN, G. **Proteção de sistemas elétricos de potência**. 2ª ed. Florianópolis: 2005, 1999.

KÖNIG, A. L. **Desenvolvimento de algoritmos e ferramenta computacional para modelagem de cargas e rede secundária de distribuição**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2004.

LIACCO, T. E. D. The adaptive reliability control system. **IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems**, v. PAS-86, n. 5, p. 517–531, 1967.

LIN, C. H. et al. Application of immune algorithm to optimal switching operation for distribution-loss minimization and loading balance. **IEE Proceedings Generation, Transmission and Distribution**, v. 150, n. 2, p. 183–189, 2003.

LIN, W. M.; CHENG, F. S. e TSAY, M. T. Distribution feeder reconfiguration with refined genetic algorithm. **IEE Proceedings Generation, Transmission and Distribution**, v. 147, n. 6, p. 349–354, 2000.

LU, L.; LIU, J. e WANG, J. A Distributed Hierarchical Structure Optimization Algorithm Based Poly-Particle Swarm for Reconfiguration of Distribution Network. In: International Conference on Sustainable Power Generation and Supply, 2009 Nanjing. **Anais...** Nanjing: IEEE, p.1 –5, 2009.

MANTOVANI, J. R. S.; CASARI, F. e ROMERO, R. A. Reconfiguração de sistemas de distribuição radiais utilizando critério de queda de tensão. **SBA Controle & Automação**, v. 11, n. 03, p. 150–159, 2000.

MARTINS, V. F. e BORGES, C. L. T. Active Distribution Network Integrated Planning Incorporating Distributed Generation and Load Response Uncertainties. **IEEE Transactions on Power Systems**, v. 26, n. 4, p. 2164–2172, 2011.

MASTERS, G. M. **Renewable and Efficient Electric Power Systems**. Hoboken, NJ, USA: John Wiley & Sons, Inc., 2004.

MCDERMOTT, T. E.; DREZGA, I. e BROADWATER, R. P. A heuristic nonlinear constructive method for distribution system reconfiguration. **IEEE Transactions on Power Systems**, v. 14, n. 2, p. 478–483, 1999.

MEKHAMER, S. F. et al. A New Intelligent Optimization Technique for Distribution Systems Reconfiguration. In: 12th International Middle-East Power System Conference, 2008, Aswan. **Anais...** Aswan: IEEE, p. 397–401, 2008.

MELLO, A. P. C. **Reconfiguração de redes de distribuição utilizando algoritmos genéticos considerando variações de carga**. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Elétrica) Universidade Federal do Pampa, Alegrete, 2012.

MENDOZA, J. E. et al. Microgenetic multiobjective reconfiguration algorithm considering power losses and reliability indices for medium voltage distribution network. **IET Generation, Transmission & Distribution**, v. 3, n. 9, p. 825, 2009.

NAGATA, T. e SASAKI, H. An Efficient Algorithm for Distribution Network Restoration. In: IEEE Power Engineering Society Summer Meeting 2001, Vancouver. **Anais...** Vancouver: IEEE, v. 1, p. 54–59, 2001.

NAVIGANT RESEARCH. *Distribution Automation*. Disponível em: <<http://www.navigantresearch.com/research/distribution-automation>>. Acesso em: 23 out. 2013.

NIKNAM, T. et al. A New Hybrid Evolutionary Optimization Algorithm for Distribution Feeder Reconfiguration. **Applied Artificial Intelligence**, v. 25, n. 10, p. 951–971, 2011.

OLIVEIRA, M. E. et al. Network reconfiguration and loss allocation for distribution systems with distributed generation. In: IEEE Transmission and Distribution Conference and Exposition: Latin America (IEEE/PES) 2004, São Paulo. **Anais...** São Paulo: IEEE, p. 206–211, 2004.

OSTERWALD, C. R. Translation of device performance measurements to reference conditions. **Solar Cells**, v. 80401, p. 269–279, 1986.

PEREIRA, M. A. **Conjuntos nebulosos e algoritmos genéticos aplicados a restauração de redes de distribuição de energia elétrica**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2000.

PEREIRA NETO, W. M. **Restauração Automática de Redes de Distribuição de Energia Elétrica de Grande Porte com Geração Distribuída**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) Universidade Estadual Paulista, São Paulo, 2011.

PEREIRA NETO, W. P. M. N.; LEÃO, F. B. e MANTOVANI, J. R. S. Distribution system restoration in a DG environment using a heuristic constructive multi-start algorithm. Transmission and Distribution Conference and Exposition Latin America (IEEE/PES) 2010, São Paulo. **Anais...** São Paulo: IEEE, p. 86–91, 2010.

PFITSCHER, L. **Reconfiguração automática das redes de energia elétrica com monitoramento em tempo real**. Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica) Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2013.

Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional – **PRODIST – Módulo 8: Qualidade de Energia**. Brasília, 2012. Disponível em: <[http://www.aneel.gov.br/arquivos/PDF/M%C3%B3dulo8\\_Revis%C3%A3o\\_4.pdf](http://www.aneel.gov.br/arquivos/PDF/M%C3%B3dulo8_Revis%C3%A3o_4.pdf)>. Acesso em: 11 jun. 2013.

RADHA, B. e RUGHOPUTH, H. C. S. Optimal Network Reconfiguration of Electrical Distribution System Using Real Coded Quantum Inspired Evolutionary Algorithm. Networking. In: International Conference on Sensing and Control (ICNSC) 2010, Chicago. **Anais...** Chicago: IEEE, p. 38–43, 2010.

RAJU, G. K. V. e BIJWE, P. R. An Efficient Algorithm for Minimum Loss Reconfiguration of Distribution System Based on Sensitivity and Heuristics. **IEEE Transactions on Power Systems**, v. 23, n. 3, p. 1280–1287, 2008.

RAO, R. S. et al. Power Loss Minimization in Distribution System Using Network Reconfiguration in the Presence of Distributed Generation. **IEEE Transactions on Power Systems**, p. 1–9, 2012.

ROYTELMAN, I. et al. Multi-objective feeder reconfiguration by distribution management system. **IEEE Transactions on Power Systems**, v. 11, n. 2, p. 661–667, 1996.

RUGTHAICHAROENCHEEP, N. e SIRISUMRANNUKUL, S. Optimal feeder reconfiguration with distributed generators in distribution system by fuzzy multiobjective and

Tabu search. In: International Conference on Sustainable Power Generation and Supply, 2009, Nanjing. **Anais...** Nanjing: IEEE, p. 1–7, 2009.

SAATY, R. W. The analytic hierarchy process—what it is and how it is used. **Mathematical and Computer Modelling**, v. 9, n. 3-5, p. 161–176, 1987.

SAATY, T. L. **The Analytic Hierarchy Process for Decisions in a Complex World**. 2ªed. Pennsylvania State University, p. 292, 1990

SAATY, T. L. e OZDEMIR, M. S. Why the magic number seven plus or minus two. **Mathematical and Computer Modelling**, v. 38, n. 3-4, p. 233–244, 2003.

SALLES, N. J. **Modelagem e Análise Dinâmica de Sistemas de Proteção de Redes de Distribuição de Energia Elétrica na presença de Geradores Síncronos**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2007.

SERAPIÃO, A. B. de S. Fundamentos de otimização por inteligência de enxames: uma visão geral. **Revista Controle & Automação**, v. 20, n. 3, p. 271–304, 2009.

SHAYANI, R. A. **Método para Determinação do Limite de Penetração da Geração Distribuída Fotovoltaica em Redes Radiais de Distribuição**. Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica) Universidade de Brasília, Brasília, 2010.

SILVA, A. L. et al. Network Reconfiguration of Distribution Systems Using Metaheuristics and Reliability Measures. In: IEEE 15th International Conference on Intelligent System Applications to Power Systems (ISAP'09), 2009, Curitiba. **Anais...** Curitiba: IEEE, p. 1–8 2009.

SILVA, L. G. W.; PEREIRA, R. A. F. e MANTOVANI, J. R. S. Alocação otimizada de dispositivos de controle e proteção em redes de distribuição. **Revista Controle & Automação**, v. 21, n. 3, p. 294–307, 2010.

SOUZA, B. A.; SILVA, J. P. S. e FERREIRA, N. R. Configuração Ótima de Redes de Distribuição Aplicando um Algoritmo Colônia de Formigas. In: IEEE Transmission & Distribution Conference and Exposition Latin America, 2010, São Paulo. **Anais...** São Paulo: IEEE, p. 1–6, 2010.

SPERANDIO, M. **Planejamento da automação de sistemas de manobra em redes de distribuição**. Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica), Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2008.

SU, S.-Y. et al. Distributed Generation Interconnection Planning: A Wind Power Case Study. **IEEE Transactions on Smart Grid**, v. 2, n. 1, p. 181–189, 2011.

SWARNKAR, A.; GUPTA, N. e NIAZI, K. R. Reconfiguration of Radial Distribution Systems with Fuzzy Multi-objective Approach using Adaptive Particle Swarm Optimization. In: IEEE Power and Energy Society General Meeting, 2010, Minneapolis. **Anais...** Minneapolis: IEEE, p. 1–8, 2010.

THOMAS, M. S.; ARORA, S. e CHANDNA, V. K. Distribution Automation leading to a Smarter Grid. In: IEEE Innovative Smart Grid Technologies (ISGT India), 2011, Kollam. **Anais...** Kollam: IEEE, p. 211–216, 2011.

TSAI, M. e HSU, F. Application of Grey Correlation Analysis in Evolutionary Programming for Distribution System Feeder Reconfiguration. **IEEE Transactions on Power Systems**, v. 25, n. 2, p. 1126–1133, 2010.

VARGAS, A. e SAMPER, M. Real-Time Monitoring and Economic Dispatch of Smart Distribution Grids: High Performance Algorithms for DMS Applications. **IEEE Transactions on Smart Grid**, v. 3, n. 2, p. 866–877, 2012.

WANG, J.; CHIANG, H.-D. e DARLING, G. R. An Efficient Algorithm for Real-Time Network Reconfiguration in Large Scale Unbalanced Distribution Systems. **IEEE Transactions on Power Delivery**, v. 11, n. 1, p. 511–517, 1996.

WARNE, D. F. e CALNAN, P. G. Generation of electricity from the wind. **IEEE Proceedings of the Institution of Electrical Engineers**, v. 124, n. 11, 1977.

WEI, X.; YU-HUI, Z. e JIE-LIN, Z. Energy-efficient distribution in smart grid. In: International Conference on Sustainable Power Generation and Supply, 2009, Nanjing. **Anais...** Nanjing: IEEE, p. 1–6, 2009.

ZHANG, H.; MA, S. e XU, G. Network Reconfiguration of Distribution System with Distributed Generation Using State Graph. In: Asia-Pacific Power and Energy Engineering Conference, 2012, Shanghai. **Anais...** Shanghai: IEEE, p. 1–4, 2012.

ZHANG, L.; TANG, W.; GUAN, H. The back/forward sweep-based power flow method for distribution networks with DGs. In: Power Electronics and Intelligent Transportation System (PEITS), 2nd International Conference, 2009, Shenzhen. **Anais...** Shenzhen: IEEE p.145-149, 19-20 Dec. 2009.

ZIDAN, A. e EL-SAADANY, E. F. Network Reconfiguration in Balanced Distribution Systems with Variable Load Demand and Variable Renewable Resources Generation. In: IEEE Power and Energy Society General Meeting, 2012, San Diego. **Anais...** San Diego: IEEE, p. 1–8, 2012.