

Lisandra Flores Martins

Planejamento e avaliação em manutenção e melhoria de redes de distribuição de energia, com base em Indicadores Operacionais.

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental da Faculdade de Engenharia e Arquitetura da Universidade de Passo Fundo, como requisito para a obtenção do título de Mestre em Engenharia, sob a orientação do Professor Dr. Adalberto Pandolfo e coorientação do Professor Dr. Adriano Toazza.

Passo Fundo

2016

Lisandra Flores Martins

PLANEJAMENTO E AVALIAÇÃO EM MANUTENÇÃO E MELHORIA DE REDES DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA, COM BASE EM INDICADORES OPERACIONAIS.

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental da Faculdade de Engenharia e Arquitetura da Universidade de Passo Fundo, como requisito para a obtenção do título de Mestre em Engenharia, sob a orientação do Professor Dr. Adalberto Pandolfo e coorientação do Professor Dr. Adriano Toazza.

Data de aprovação: Passo Fundo, 07 de Novembro de 2016.

Dr. Adalberto Pandolfo
Orientador

Dr. Adriano Luis Toazza
Coorientador

Dr^a Luciana Londero Brandli
Universidade de Passo Fundo – UPF

Dr. Francisco Dalla Rosa
Universidade de Passo Fundo – UPF

Dr. Álysson Ranieri Seidel
Universidade Federal de Santa Maria

Passo Fundo

2016

RESUMO

Com a privatização da infraestrutura do setor elétrico, iniciada no país na década de 90, o setor de energia elétrica, fundamental para o desenvolvimento da economia, passou a ser regulado pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) e enfrenta constantes alterações regulatórias com o propósito de garantir a qualidade de fornecimento. Uma das alterações foi a criação do Fator X, que determina o volume de investimentos mínimos impostos às distribuidoras de energia elétrica. Isto estimulou grandes investimentos neste setor. Motivado pela necessidade de direcionar estes investimentos em obras nas redes de distribuição de grandes distribuidoras, surge então a necessidade de adotar um procedimento de análise, baseado em critérios, dos pontos de intervenção na rede que trariam melhores retornos em termos de indicadores e de qualidade operacional. A hipótese é de que mesmo as obras de menor investimento, desde que feitas no ponto correto, possam trazer resultados adequados para os indicadores da concessionária. Para tanto, a pesquisa caracterizou o processo de direcionamento utilizado, diagnosticou os problemas operacionais e os riscos envolvidos neste modelo. Com estes resultados, baseado no método multicritério ELECTRE II foi apresentada uma proposta para o gerenciamento, direcionamento e acompanhamento de investimento, confrontando os resultados com o modelo atual, para tomada de decisão. Tal situação foi baseada nos dados atuais do Sistema Elétrico de uma concessionária e do sistema responsável pelo seu suprimento, com o propósito de recomendar as premissas para as futuras ações no sistema elétrico buscando melhoria dos indicadores de qualidade. Este estudo engloba sistemas técnicos e operacionais da empresa, levando em consideração os critérios de confiabilidade, as compensações pagas, carregamento de conjuntos, equipamentos e condutores, níveis de tensão, perdas técnicas e indicadores de continuidade.

Palavras-chaves: Avaliação de investimentos. Indicadores de qualidade. Análise multicritério.

ABSTRACT

Through the privatization of power sector infrastructure in Brazil, which was started in the country in the 1990s, the electricity sector, key to the development of the economy, is now regulated by the National Electric Energy Agency (ANEEL), and it goes through constant regulatory changes with order to ensure the quality of supply. One of the changes was the creation of the X factor, which determines the amount of minimum tax investments to electricity distributors. This stimulated large investments in this sector. Motivated by the need to direct these investments into work on distribution networks of large distributors, thus, there is the need to create analysis tools, based on criteria of intervention points in the network that would bring better return in terms of indicators and operational quality. The hypothesis is that, even the works of less investment, once they are made on the right spot, it can bring suitable results for the indicators of the leadership. Therefore, this research has characterized the process of targeting used, diagnosed the operational problems, and the risks involved in this model. Obtaining these results, a proposal for the management and investment targeting was presented, as well as the monitoring of these results, comparing them with the current model, based on multicriteria method ELECTRE II to decision making. This situation was based on current data of the Electrical System of a company, and the system responsible for their supply, in order to recommend the premises for future actions in the electrical system seeking to improve quality indicators. This study includes technical and operational systems of the company, taking into consideration the reliability criteria, the compensation paid, charging sets, equipment and conductors, voltage levels, technical losses and continuity indicators.

Key Words: Investment evaluation. Quality Indicators. multi-criteria analysis.

SUMÁRIO

| | |
|---|-------------------------------|
| 1. INTRODUÇÃO | 6 |
| 1.1 Apresentação do Problema | 6 |
| 1.2 Justificativa | 8 |
| 1.3 Objetivos..... | 10 |
| 1.3.1 Objetivo geral | 10 |
| 1.3.2 Objetivos específicos | 10 |
| 1.4 Estrutura da dissertação | 11 |
| 2. REVISÃO DA LITERATURA | 12 |
| 2.1 A Origem do atual modelo do Setor Elétrico Brasileiro | 12 |
| 2.2 A criação do Mercado Regulado | 13 |
| 2.3 Redes de distribuição de energia | 16 |
| 2.4 Construções de redes de distribuição de energia | 21 |
| 2.5 O Desempenho do Sistema e o PRODIST | 23 |
| 2.6 Investimentos em Infraestrutura no país..... | 26 |
| 2.7 Teoria da Decisão e os Processos de Decisão Multicritério | 28 |
| 2.8 Métodos Multicritérios de Apoio à Tomada de Decisão..... | 31 |
| 3. MÉTODO DA PESQUISA | 36 |
| 3.1 Caracterização da rede de distribuição de energia elétrica alvo da pesquisa | 36 |
| 3.2 Classificação da pesquisa | 38 |
| 3.3 Procedimentos e Métodos | 39 |
| Etapa 1: Caracterização do atual processo de direcionamento de investimento para execução das obras de rede de distribuição de energia elétrica nas áreas de atuação da concessionária em estudo | 41 |
| Etapa 2: Diagnóstico dos problemas operacionais e dos riscos envolvidos na operação | 42 |
| Etapa 3: Aplicação de método multicritério para priorização de ações e apresentação de Plano de Ação para o direcionamento dos investimentos..... | 43 |
| Etapa 4: Implantação dos Planos de Ação para o gerenciamento do processo de direcionamento dos investimentos..... | 58 |
| 4. RESULTADOS E ANÁLISE | 61 |
| Etapa 1: Caracterização do atual processo de direcionamento de investimento para execução das obras de rede de distribuição de energia elétrica nas áreas de atuação da concessionária em estudo .Erro! Indicador não definido. | |
| Etapa 2: Diagnóstico dos problemas operacionais e dos riscos envolvidos na operação .Erro! Indicador não definido. | |
| Etapa 3: Apresentação de uma proposta de Plano de Ação para o gerenciamento do processo de direcionamento dos investimentos | Erro! Indicador não definido. |
| Etapa 4: Implantação dos Planos de Ação para o gerenciamento do processo de direcionamento dos investimentos..... | Erro! Indicador não definido. |
| 5. CONCLUSÕES | 62 |
| 5.1 Conclusões da Pesquisa | 62 |
| 5.2 Recomendações para trabalhos futuros..... | 66 |
| REFERÊNCIAS | 67 |

1. INTRODUÇÃO

O cenário do setor elétrico nacional é um tema discutido constantemente nas empresas distribuidoras de energia elétrica, tomando como foco sua capacidade de fornecimento e o padrão de desempenho no fornecimento de energia elétrica.

A chamada Crise do Apagão entre 2001 e 2002, conforme cita Schwartzman (2002), foi uma crise nacional ocorrida no Brasil, que afetou o fornecimento e distribuição de energia elétrica, causando os chamados *blackouts*, sendo causada por falta de planejamento e investimentos em geração e transmissão de energia. Após os apagões, inúmeros investimentos foram feitos em pesquisa e desenvolvimento nas áreas de geração e transmissão de energia elétrica. Foi considerada prioridade, uma vez que qualquer falha na geração e na transmissão afeta um número muito maior de consumidores do que uma falha no sistema de distribuição.

Posteriormente, no setor de distribuição de energia, a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) estabeleceu o chamado Fator X, tornando cada vez maior a necessidade de investimentos corretos e eficientes no sistema de distribuição de energia elétrica por parte das concessionárias, sendo estes cada vez mais cobrados por parte do órgão regulador, com reflexo direto no reajuste tarifário anual das empresas de distribuição de energia elétrica no Brasil.

A configuração, robustez, confiabilidade e qualidade das redes de distribuição de energia elétrica é um aspecto fundamental para o planejamento do sistema elétrico em horizontes de longo, médio e curto prazo, associado à necessidade de aumentar o valor ativo da empresa e consequentemente o valor contábil da mesma no mercado de ações.

1.1 Apresentação do Problema

Em termos globais, nos mesmos moldes de países como a Itália, França, Espanha e Áustria, o Brasil da década de 1990 apresentava elevados índices de estatização das empresas do setor elétrico. A infraestrutura demandava volumes de investimentos que o Estado não tinha como patrocinar (LEME, 2009).

A infraestrutura do Setor Elétrico brasileiro, especialmente após a privatização ocorrida no final da década de 90, passou por intensas modificações, com destaque para as diretrizes regulatórias que regem o setor (relacionada a qualidade e continuidade no fornecimento de energia). Essas medidas interferem diretamente nos critérios adotados pelas concessionárias

de energia elétrica para direcionar seus investimentos em obras com foco em atendimento ao cliente e obras de manutenção e melhoria (ELETROBRAS, 2002).

A abordagem de Gomes (2010) confirma que a falta de investimentos em obras de manutenção e melhoria interferem diretamente no desempenho do sistema de distribuição, pois o desempenho não depende exclusivamente da manutenção corretiva. Há a interferência direta de outras áreas de atividades da concessionária, tais como planejamento, captação de recursos, projeto, padronização e até de condições externas ao sistema ou inerente ao meio ambiente, como por exemplo, as condições climáticas.

Em específico no estado do Rio Grande do Sul, a incidência de temporais com fortes rajadas de ventos é mais frequente em relação aos demais estados. Com uma rede que tem cerca de 40% dos postes da rede de distribuição de madeira, estes fatores demandam um planejamento diferenciado dos investimentos na infraestrutura dos circuitos, uma vez que os tornam frágeis às condições climáticas (RGE, 2014).

As características da distribuição de energia elétrica dão-se pelo atendimento direto ao consumidor e pela exigência de expressivos investimentos em ativos juntamente com o rigoroso controle regulatório. Após a reestruturação do setor elétrico brasileiro, novas questões estão em pauta nas empresas distribuidoras, pois, da mesma forma que em outras atividades industriais, há grande pressão para redução de custos e aumento do retorno proporcionado pelo conjunto de ativos, estando sujeitas a restrições orçamentárias e a elevados custos de capital para seus investimentos (BROWN E MARSHALL, 2000).

O modelo atual do setor elétrico brasileiro, através das constantes e recentes alterações regulatórias impostas pela ANEEL, tem como objetivo garantir a melhoria contínua nos padrões de qualidade no fornecimento de energia elétrica. Isso significa o aumento na fiscalização sobre a qualidade da energia entregue aos consumidores. Seguindo esta diretriz, em 2010 a ANEEL publicou Procedimentos de Regulação Tarifária (PRORET) e instituiu o chamado Fator X, que define o volume de investimentos mínimos exigidos às empresas de distribuição de energia elétrica.

O Fator X surge como parte do marco referencial do regime de regulação por incentivos aplicado na regulação de setores de *utilities* em 1984, introduzido por Stephen Littlechild, após a privatização da British Telecom (BT). A nova forma de regulação surgiu da necessidade de evitar a prática de preços de monopólio e assegurar a apropriação de ganhos de produtividade da concessionária no período compreendido entre a privatização e a primeira

revisão, de forma a defender os interesses dos consumidores (ARMSTRONG E COWAN, 1994.)

O direcionamento de parte destes investimentos obrigatórios é alvo deste trabalho. Assim tem-se como questão da pesquisa: de que maneira pode ser sistematizada a tomada de decisão na definição de investimentos para o gerenciamento do processo de execução das obras de manutenção e melhoria nas redes de distribuição de energia elétrica, com o propósito de otimizar indicadores operacionais e de desempenho?

1.2 Justificativa

No Brasil, os investimentos em infraestrutura são divididos em Comunicação, Energia Elétrica, Transporte e Saneamento. Para a energia elétrica em específico, observa-se que mesmo os autores que investigaram a relação entre investimento em infraestrutura (tal como citam Ferreira, 2011; Aschauer, 1989 e outros), analisaram o impacto do setor energético de forma superficial, uma vez que apenas desagregaram os investimentos em infraestrutura, deixando de lado as características específicas setoriais, tais como incidência de ventos, centros de carga, entre outros.

O problema de planejamento, direcionamento de investimentos e priorização de obras é uma conhecida questão também do sistema elétrico. A necessidade de selecionar e priorizar obras de melhoria e manutenção de redes de distribuição se faz crucial para o desenvolvimento e crescimento das empresas do setor, com uma aplicação eficiente dos recursos disponíveis.

De acordo com Guth (2013), estudar a viabilidade técnica de uma intervenção na rede de distribuição numa dada parte do circuito, para casos de melhorias ou de manutenções, bem como as estratégias a serem planejadas, traz diversos benefícios operacionais para a concessionária, além de garantir a qualidade técnica no fornecimento. Especialmente após a publicação, pela ANEEL, dos Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional (PRODIST), que contempla as regras a serem seguidas pelas concessionárias.

Ainda, segundo Guth (2013), os níveis de compensações pagas pelas concessionárias após a publicação do PRODIST tiveram acréscimo significativo. Desta forma, este trabalho tem o propósito de trazer informações que também são um desafio diário para as

distribuidoras brasileiras, que é oferecer qualidade de fornecimento cada vez mais eficiente, com menores custos.

Durante a pesquisa deste trabalho, foi possível observar que a literatura voltada à análise da relação entre energia e crescimento econômico é focada majoritariamente ao consumo, deixando de lado a importância do investimento na manutenção neste setor. Esta visão parcial estimulou o direcionamento do estudo deste trabalho para a avaliação dos investimentos em manutenção e melhoria, e não somente no critério de consumo (VIZIOLI, 2014).

Nesse sentido, a ANEEL publicou duas resoluções estabelecendo as disposições relativas à continuidade da distribuição de energia elétrica às unidades consumidoras (ANEEL - Resolução Normativa Nº 24/2000) e as disposições relativas à conformidade dos níveis de tensão de energia elétrica em regime permanente (ANEEL – Resolução Normativa Nº 505/2001).

Ambas as resoluções estabeleceram um novo modelo de gestão da qualidade de energia elétrica, tendo como base índices de desempenho do sistema, como DEC (Duração Equivalente de Interrupção por Unidade Consumidora) e FEC (Frequência Equivalente de Interrupção por Unidade Consumidora). Estes índices equivalem respectivamente ao SAIDI (*System Average Interruption Duration Index*) e ao SAIFI (*System Average Interruption Frequency Index*), criados pela Associação Canadense de Eletricidade (CEA). Caso os valores máximos admissíveis não sejam cumpridos, as multas podem ficar na casa de milhões de reais, fazendo com que a concessionária tenha perdas diretas (HASSIN, 2003)

Para conseguir manter os índices dentro de condições aceitáveis, investimentos são obrigatórios. Se a estratégia for investir antes da violação dos indicadores, os investimentos podem ser reconhecidos no Fator X, garantindo reajustes tarifários.

Motivado pela necessidade de direcionar de forma correta estes investimentos em obras nas redes de distribuição de grandes distribuidoras, surge a necessidade de utilizar um procedimento de análise, baseada em critérios de eventos (causadores de faltas de energia elétrica), dos pontos de intervenção na rede que trariam melhores retornos em termos de indicadores e de qualidade operacional. Ou seja, um mecanismo de ajuda no processo de tomada de decisão para auxiliar no direcionamento de investimentos, considerando a hipótese é de que mesmo as obras de menor investimento, desde que feitas no ponto correto, possam trazer resultados expressivos para os indicadores da concessionária.

Esta pesquisa iniciou com um diagnóstico da situação atual do Sistema Elétrico de uma concessionária do sul do Brasil e do sistema responsável pelo seu suprimento, recomendando as premissas para as futuras ampliações e melhorias do sistema elétrico, bem como ações para a melhoria dos indicadores de qualidade do sistema.

A abordagem torna o trabalho relevante para as demais concessionárias de distribuição de energia elétrica do país, pois o procedimento utilizado pode tratar dados provenientes de qualquer conjunto elétrico.

A proposta é de analisar a operacionalização de um sistema de gerenciamento que proporcione o direcionamento de investimentos, buscando melhorar os indicadores operacionais de desempenho de concessionárias de energia elétrica, especificamente valores pagos de compensação aos clientes, tempo de descontinuidade de fornecimento e frequência de interrupção dos circuitos.

No programa de pós-graduação da Universidade de Passo Fundo, segue a linha de pesquisa de infraestrutura do setor elétrico.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo geral

O objetivo geral desta pesquisa é buscar direcionadores específicos de investimento no processo da execução das obras de manutenção e melhoria nas redes de distribuição de energia elétrica, em concessionária responsável pelos serviços de distribuição, de modo a otimizar indicadores operacionais de desempenho.

1.3.2 Objetivos específicos

Os objetivos específicos são:

1. Caracterizar o atual processo de direcionamento de investimento para execução das obras de manutenção e melhoria na rede de distribuição de energia elétrica nas áreas de atuação da concessionária em estudo;
2. Diagnosticar os problemas operacionais e os riscos envolvidos na operação da rede;

3. Apresentar uma proposta para a elaboração de Planos de Ação para o gerenciamento do processo de direcionamento dos investimentos;
4. Implantar os Planos de Ação para o gerenciamento do processo de direcionamento dos investimentos.

1.4 Estrutura da dissertação

Após a parte introdutória do capítulo inicial, no segundo capítulo é apresentada uma revisão bibliográfica relacionada ao assunto, abordando inicialmente uma breve história do Setor Elétrico Brasileiro, para compreensão do modelo atual. Posterior, descreve-se o sistema de regulação, chamado de Mercado Regulado do setor, e o papel da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL).

Dando continuidade ao embasamento necessário para compreensão do trabalho, o capítulo 2 também aborda conceitos acerca da rede de distribuição de energia elétrica, definições sobre tipos de fornecimento de energia elétrica, os elementos que compõem os circuitos, os tipos de obras executadas na rede e a forma com que a ANEEL reconhece estes investimentos.

Além destes tópicos, é apresentada a fundamentação da metodologia multicritério ELECTRE II, utilizada para o desenvolvimento deste trabalho de pesquisa, além de apresentar informações sobre os motivos da opção deste método para a realização do trabalho.

O Capítulo três apresenta os métodos que foram utilizados para o desenvolvimento deste trabalho, sendo que serão apresentados os resultados obtidos nas quatro etapas propostas para desenvolvimento da análise e suas respectivas fases no Capítulo de Resultados.

No Capítulo quatro apresentam-se os resultados obtidos com a análise dos dados de 2014 e 2015, além das primeiras intervenções de direcionamento de investimento baseado nos resultados obtidos com esta análise, em circuito específico utilizado como alvo deste trabalho.

Finalmente, o Capítulo cinco trás as conclusões acerca do trabalho, baseado nas discussões feitas no capítulo anterior, além de propostas para trabalhos futuros.

2. REVISÃO DA LITERATURA

Para embasar o estudo apresentado neste trabalho, é fundamental entender sobre o Setor Elétrico Brasileiro e sobre a infraestrutura das redes de distribuição de energia elétrica.

A revisão apresentada neste capítulo compreende uma contextualização sobre a origem do modelo atual do chamado Setor Elétrico Brasileiro, que é subdividido em Geração, Transmissão e Distribuição de Energia (este último, alvo do trabalho), seguindo para a apresentação de conceitos relacionados ao Mercado Regulado de Energia. Ainda neste capítulo, apresenta-se as principais topologias de construção de Redes de Distribuição e o desempenho das mesmas de acordo com o que estabelece o PRODIST.

Para continuar com o embasamento, questões quanto aos investimentos em infraestrutura no país também são apresentadas nesta revisão. Por fim, a apresentação de teorias de decisão multicritério e os métodos de apoio a tomada de decisão também compõe a literatura apresentada neste capítulo.

2.1 A Origem do atual modelo do Setor Elétrico Brasileiro

Desde meados do século XIX, quando da sua origem, o Setor Elétrico e as Redes de Distribuição de Energia Elétrica no Brasil tiveram sua organização e expansão baseadas nas diretrizes do mercado e com fraca intervenção regulatória de órgãos governamentais. O mercado era inexpressivo, devido às atividades econômicas basicamente agrárias (BARRETO, 2010).

A indústria da época, que até então se restringia à fabricação do açúcar nos engenhos e à mineração, começou a experimentar no século XX a expansão da infraestrutura urbana.

“A partir de meados daquele século, a cultura do café, voltada para a exportação, tornou-se o centro dinâmico da geração de renda no país. A valorização do produto no mercado externo e as condições favoráveis no ambiente interno serviram de estímulo ao aumento da produção, o que passou a ser o *locus* preferencial de interesse dos investimentos. Esses fatores (associados à expansão da renda agroexportadora; às medidas protecionistas, tais como a Tarifa Alves Branco, de 1844; à extinção do tráfico negreiro, em 1850; ao simultâneo aumento da imigração estrangeira; e aos superávits na balança comercial após 1860) produziram as precondições para os avanços rumo à modernização do país. O processo impulsionou o setor urbano da economia, que começou a ter uma importância e um desenvolvimento capazes de diferenciá-lo significativamente do rural. Por outro lado, o crescimento das cidades levava a uma expansão da indústria de construção civil e da oferta de infraestrutura urbana. É nesse movimento que se inserem as primeiras iniciativas de uso da

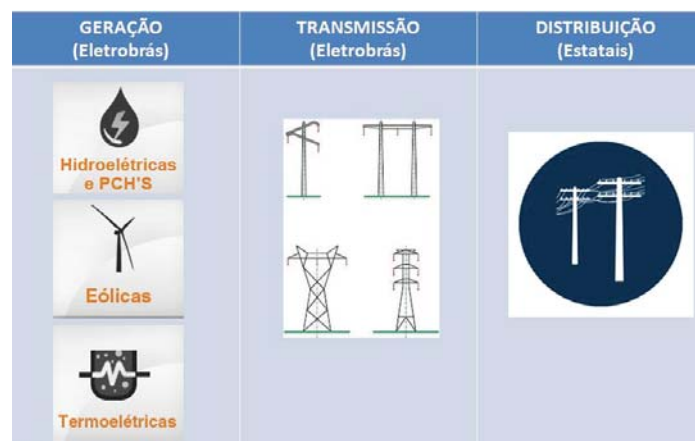
energia elétrica no país, à mesma época que essa inovação tecnológica era introduzida na Europa e nos Estados Unidos”. (GOMES, ABARCA *et al* 2002)

Foi a partir de 1920, com a industrialização da economia no país, que o número de usinas hidrelétricas no país começou a crescer. As concessões eram municipais, dando aos municípios autonomia para estabelecer contratos e autorizações para construção e aproveitamentos hidrelétricos (PLAGIARI, DIAS, 2011).

Com o término da Segunda Guerra Mundial, em decorrência do processo de urbanização somado ao êxodo rural, a demanda começou a ultrapassar a oferta, iniciando um processo de racionamento nas principais capitais brasileiras. Tais fatores passaram a impor um ritmo de crescimento na demanda que rompia seus parâmetros históricos, forçando à realização de mais investimentos em novas usinas hidrelétricas (ELETROBRAS, 2002).

De acordo com Pagliari e Dias (2011), ao longo da década de 50, praticamente todos os estados constituíram empresas estatais de energia elétrica. Na década de 70, estimulado pela crise do petróleo ocorrida em 1973, o modelo estatal surge com a equalização das tarifas no território nacional. As empresas estatais assumiram a função de empresas de distribuição, enquanto que a Eletrobrás gerenciava a transmissão e boa parte da geração de energia no país, conforme mostra o modelo descrito na Figura 1.

Figura 1: Modelo de Geração, Transmissão e Distribuição de Energia Elétrica – Década de 70.



Fonte: a Autora, 2015 (adaptado de PRODIST).

2.2 A criação do Mercado Regulado

Até o início da década de 90, o estatal setor de distribuição foi conduzido com limitados investimentos, enquanto a demanda por energia crescia cada vez mais. No ano de 1992, o governo Collor lança o Plano Nacional de Desestatização (PND), que tinha como objetivo

privatizar as empresas estatais, a começar pelo setor de energia elétrica. O processo se daria com a venda das concessionárias federais atuantes no ramo de distribuição (GOMES, 2010).

Segundo o mesmo autor, foi nesta mesma década, com a introdução do modelo clássico de reforma, tomando como exemplo países como Chile e Inglaterra, que iniciou a primeira grande reforma do setor.

Tal modelo consistia basicamente em:

1. Fragmentação da infraestrutura;
2. Privatização dos serviços estatais;
3. Criação de entidades reguladoras.

O processo de privatização continuou no governo seguinte, quando, com a privatização em um estágio mais avançado, o governo decidiu criar a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) em substituição ao antigo Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica (DNAEE). A nova agência foi criada com o objetivo de analisar novas concessões, licitações e fiscalizar serviços prestados à população pelas empresas recém privatizadas (PLAGIARI, DIAS, 2011).

Foi então que a ANEEL introduziu pela primeira vez no país a questão da regulação de mercado e o modo de operacionalização do mesmo, assumindo este órgão o papel de estabelecer padrões de qualidade de serviços para as distribuidoras, além da definição de regras de regulação das concessionárias, medidas em ciclos de cinco anos, conhecidos como Ciclos de Revisão Tarifária (PLAGIARI, DIAS, 2011).

Este modelo é defendido desde a década de 90 em países europeus e americanos, pois permite incentivar e financiar investimentos e estender o acesso da rede elétrica a toda a população, com a possibilidade de transição para um sistema maduro, inclusive para a operação. Para isso, mecanismos de incentivo à eficiência e à transparência devem ser sistematicamente implantados, tentando seguir o exemplo dos países escandinavos, o da Noruega, em particular que, antes de implantar a reforma competitiva, passaram anos preparando-se para a mesma (HJALMARSSON, 1996).

O modelo implantado no Brasil resultou na implantação de distribuidoras privadas, cuja estrutura atual de concessão é apresentada na Figura 2.

Em 2015, a oferta interna de energia registrou uma redução de 2,1% em relação ao ano anterior. Parte desta queda foi influenciada pelo comportamento da oferta interna de petróleo

e derivados, que retraiu 7,2% no período, em consequência do *superávit* nos fluxos de exportação e importação destas fontes energéticas. Contribuiu ainda para a queda da oferta interna bruta o enfraquecimento da atividade econômica em 2015, ano em que o PIB nacional contraiu 3,8%, segundo o último dado divulgado pelo IBGE. Seguindo essa tendência verificada na oferta, o consumo final, energético e não energético, recuou 1,9% em relação ao ano anterior, destaque para a queda significativa de -3,1% e -2,6% nos consumos dos setores industrial e de transporte respectivamente (EPE, 2016).

O modelo atual do setor elétrico brasileiro, através das constantes e recentes alterações regulatórias impostas pela ANEEL, tem como objetivo garantir a melhoria contínua nos padrões de qualidade no fornecimento de energia elétrica. Isso significa o aumento na fiscalização sobre a qualidade da energia entregue aos consumidores. Seguindo esta diretriz, a ANEEL instituiu o Fator X, que define o volume de investimentos mínimos exigidos às empresas de distribuição de energia elétrica.

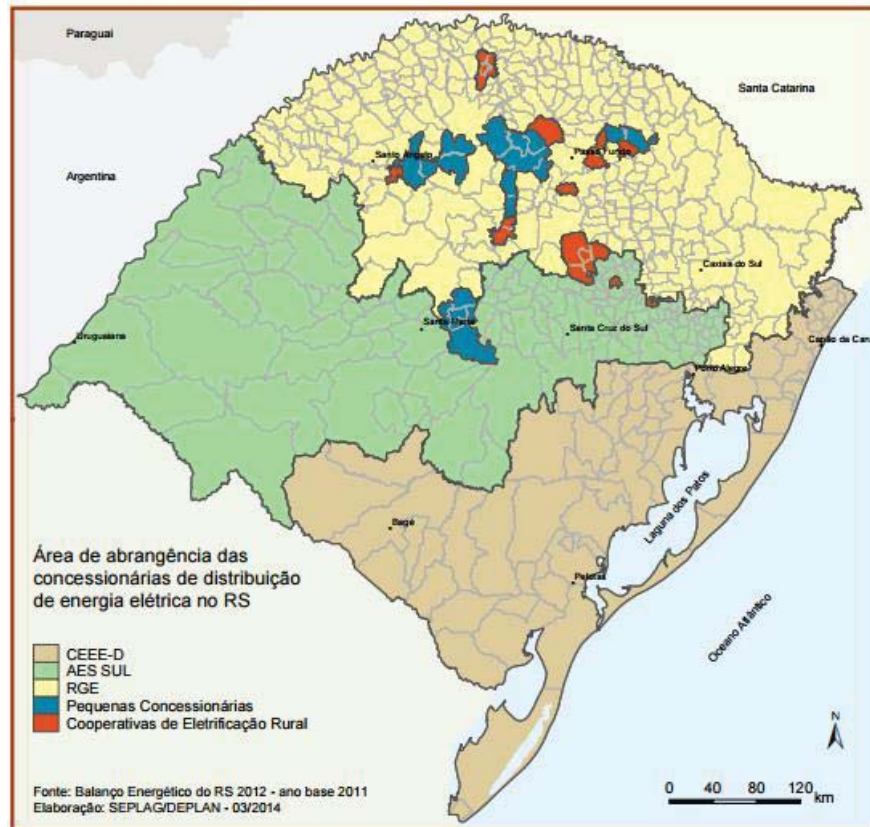
Figura 2: Distribuidoras de Energia Elétrica no Brasil.



Fonte: ANEEL, 2014.

A abrangência de concessão das distribuidoras de energia elétrica no estado do Rio Grande do Sul é apresentada na Figura 3.

Figura 3: Distribuidoras de Energia Elétrica no Rio Grande do Sul e Santa Catarina.



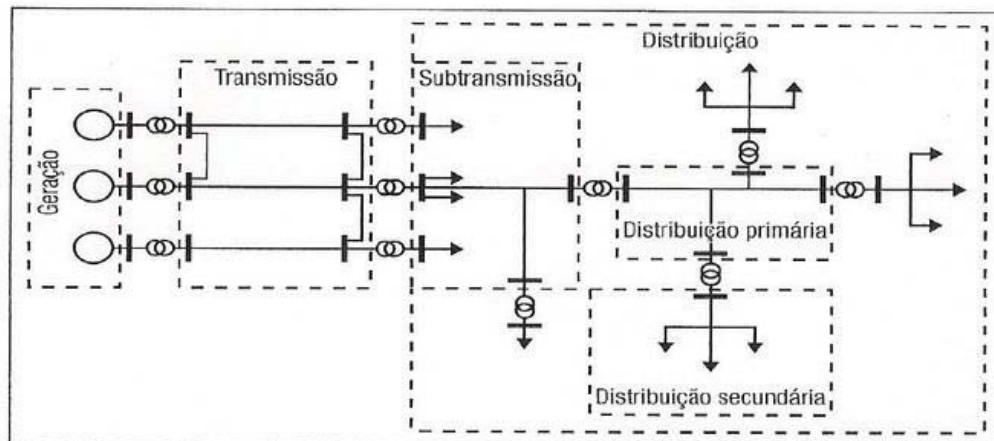
Fonte: SEPLAG/SEGPLAN, 2014.

2.3 Redes de distribuição de energia

A energia elétrica produzida em centrais de geração (hidrelétricas, térmicas, eólicas, fotovoltaicas, etc.) costuma percorrer longos caminhos até o consumidor final. Esse caminho envolve os sistemas de geração, transmissão e distribuição, mostrados no fluxo resumido da Figura 4. A necessidade do transporte de energia elétrica ocorre por razões técnicas e econômicas, ambas relacionadas a perdas, que variam desde a localização da energia primária até o custo da energia elétrica nos locais de consumo, nas redes secundárias. (REIS, SILVEIRA, 2000).

O sistema de distribuição, alvo da análise deste trabalho, é a parte do sistema elétrico de potência que está mais próxima dos consumidores. Na Figura 4, é apresentado um esquema do caminho resumido da energia, desde a geração até a distribuição, que são os circuitos que se encontram antes dos pontos de consumo. De acordo com Reis e Silveira (2000), são as empresas distribuidoras que têm relação mais direta com a maioria dos consumidores. Assim, elas têm um papel muito importante na prospecção do mercado.

Figura 4: Esquema resumido do Caminho da Energia Elétrica da Geração, ao consumidor final.



Fonte: Energypro, 2012.

Ainda de acordo com Reis e Silveira (2000), a rede de distribuição de energia elétrica, obedecendo ao conceito da ABNT NBR 5460/1992, é a parte de um sistema de distribuição associada a um alimentador, compreendendo, além deste, os transformadores de distribuição por ele alimentados, com os respectivos circuitos secundários, e, quando houver, os ramais de entrada dos consumidores que recebem energia sob a tensão do alimentador.

As partes do circuito de distribuição são organizadas em conjuntos, ou seja, alimentadores provenientes da mesma subestação compõem um conjunto. Exemplo de Alimentador e de Conjunto são apresentadas na Figura 5.

Figura 5: Partes do sistema de distribuição: Conjunto e Alimentadores.



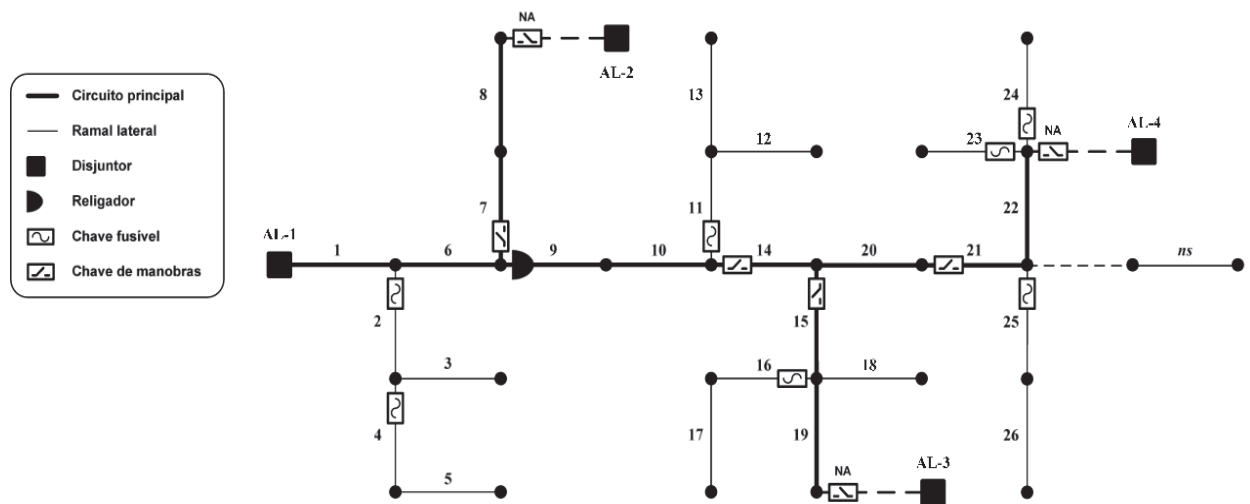
Fonte: RGE, 2014.

2.3.1 Topologia de Redes de Distribuição

Os circuitos alimentadores costumam ser longos, principalmente em regiões preponderantemente rurais (REIS, SILVEIRA, 2000).

É comum que a configuração dos circuitos proporcione mais de uma fonte de alimentação para os clientes, caso haja falta de energia. Para o exemplo de conjunto apresentado na Figura 6, os clientes conectados entre os pontos 1 e 26 podem ser energizados por pelo menos 4 alimentadores. Tudo depende da posição dos disjuntores, religadores e chaves (abertos ou fechados), além da capacidade de fornecimento de cada um deles.

Figura 6: Representação da Topologia de um Conjunto, seus alimentadores e equipamentos de manobra



Fonte: Ferreira, 2010.

Na Figura 6, também é possível identificar:

1. O circuito principal, também chamado de Troncal do Alimentador;
2. Os Ramais Laterais, ou simplesmente Ramais.

Estas definições serão importantes para posterior análise de pontos de realimentação de circuitos, no caso de falhas.

A possibilidade de alimentação por mais de um ponto, também chamada de configuração em anel ou *loop*, é fundamental para minimizar o impacto em caso de um evento (desligamento programado ou emergencial), fazendo com que um número menor de clientes fique sem energia durante o evento (FERREIRA, 2010).

2.3.2 Tipos de Redes de Distribuição

Para realizar a entrega da energia aos consumidores, as concessionárias utilizam das redes de distribuição de energia elétrica. Estas podem ser redes primárias de distribuição, (redes em média tensão - MT), ou secundárias (redes em baixa tensão - BT).

2.3.2.1 Redes Primárias

As linhas de média tensão são aquelas com tensão elétrica entre 2,3 kV e 44 kV, e são muito fáceis de serem vistas em ruas e avenidas das grandes cidades, frequentemente compostas por três fios condutores aéreos sustentados por cruzetas de madeira em postes de concreto (ABRADEE, 2014).

Porém, ainda de acordo com ABRADEE, 2014, há configurações específicas para implementação de redes primárias. São elas:

- a) Redes de Distribuição Compacta: Esta modalidade construtiva de rede utiliza um cabo mensageiro de aço para sustentação dos cabos fases cobertos (protegidos) por meio de espaçadores poliméricos, instalados em intervalos regulares determinados nas normas de instalação básica.
- b) Redes de Distribuição Isoladas de Média Tensão: Esta modalidade de rede utiliza três condutores isolados, blindados, e instalados em torno de um cabo mensageiro de sustentação. Também são conhecidos como condutores multiplexados de média tensão.
- c) Redes de Distribuição Aéreas Convencionais: Caracterizam-se por utilizar cabos de alumínio nus sobre cruzetas de madeira, fibra, plástico ou metálicas, com o uso de isoladores de porcelana ou vidro.
- d) Rede de Distribuição Subterrânea: É aquela que proporciona o maior nível de confiabilidade e também o melhor resultado estético, dado que as redes ficam enterradas. No entanto, as redes subterrâneas tem custo construtivo que pode chegar a oito vezes o valor da rede convencional aérea, o que restringe em regiões muito densas ou onde há restrições para a instalação das redes aéreas ABRADEE, 2014).

Na Figura 7 são apresentados exemplos destas configurações de Redes Primárias de Distribuição.

Figura 7: Exemplo de Rede Convencional, Compacta e Subterrânea



Fonte: RGE, 2014.

2.3.2.2 Redes Secundárias

As redes de baixa tensão, com tensão elétrica que pode variar entre 110 e 440 V, são aquelas que, também fixadas nos mesmos postes de concreto que sustentam as redes de média tensão, localizam-se a uma altura inferior (GOMES, 2010).

O transformador de energia é o limite entre o circuito primário e o secundário. A montante é o circuito primário, a jusante, o secundário (ABRADEE, 2014).

As redes de baixa tensão levam energia elétrica até as residências e pequenos comércios/indústrias por meio dos chamados ramais de ligação. Os supermercados, comércios e indústrias de médio porte adquirem energia elétrica diretamente das redes de média tensão, devendo transformá-la internamente para níveis de tensão menores, sob sua responsabilidade (ABRADEE, 2014).

2.3.3 Classificação das Unidades Consumidoras

Conforme Gomes (2010), as unidades consumidoras de energia elétrica são divididas em dois grupos: A e B. No chamado grupo A, enquadram-se as unidades consumidoras cujo fornecimento de energia elétrica se dá em níveis de tensão iguais ou superior a 2,3 kV ou por meio do sistema subterrâneo de distribuição em tensão secundária, distinguido pela tarifa binômia, dividido nos subgrupos de acordo com a tensão de fornecimento.

No grupo B encontram-se as unidades consumidoras em que o fornecimento de energia elétrica se dá em níveis de tensão inferior a 2,3 kV, distinguido pela tarifa monômnia sendo, dividido nos subgrupos residencial, rural, industrial, poder e/ou serviço público, consumo próprio e iluminação pública (ABRADEE, 2014).

Essa necessidade atende um requisito da ANEEL que, de acordo com o Art. 4º da Resolução número 414/2010 da ANEEL “a distribuidora deve classificar a unidade consumidora de acordo com a atividade nela exercida e a finalidade da utilização da energia elétrica”.

2.4 Construções de redes de distribuição de energia

Todas as atividades voltadas à construção de redes de distribuição de energia elétrica, são feitas com padronizações definidas em normas especificadas pelas NBR (que dão sua visão mais ampla) e especificadas pelas normas técnicas de cada concessionária, devido a necessidade de estabelecimento de padrões construtivos (GOMES, 2010).

Estas obras acontecem para atendimento de necessidades específicas, como obras Reguladas, obras de Manutenção de Rede, obras de Melhoria de Rede, conforme apresentado a seguir.

2.4.1 Obras reguladas

Estas possuem prazos de projeto, início e término definidos pelas Resoluções ANEEL. Como exemplo, a Resolução 414/2010 desta agência, posteriormente alterada pela Resolução 670/2015), cujo objetivo não foi de apenas definir aspectos técnicos relacionados ao fornecimento de energia elétrica aos consumidores, mas também esclarecer os direitos e deveres tanto das distribuidoras como dos consumidores (ANEEL, 2010).

Segundo a ANEEL, 2010, a Resolução 414/2010 e Resolução 670/2015 reúnem conceitos e regulamentos sobre fornecimento de energia elétrica e são organizadas de forma clara, de modo que sirvam como guia para os consumidores e distribuidoras. Nelas são definidos critérios para as solicitações de fornecimento, os prazos de ligações, orçamentos de obras para fornecimento, remanejamento de carga, quais as modalidades tarifárias, como são os contratos, as medições e o faturamento, as formas de pagamento, os esclarecimentos sobre a fatura, os procedimentos irregulares, as responsabilidades da distribuidora e do consumidor, a suspensão do fornecimento, como deve ser o atendimento ao público e o ressarcimento de danos elétricos.

As obras reguladas são aquelas que tem como finalidade:

- a) Atender novas ligações de Unidades Consumidoras (UCs);
- b) Atender solicitações de aumento de carga dos clientes;
- c) Corrigir problemas de qualidade de fornecimento, como por exemplo, níveis de tensão fora dos padrões estabelecidos.

2.4.2 Obras de manutenção de rede

Manutenção é toda interferência na rede que tem como objetivo sua restauração ou conservação, de modo a manter o circuito em condições de operação e prevenir possíveis ocorrências que acarretem a sua indisponibilidade.

As obras que contemplam trocas de postes (de madeira por postes de concreto, por exemplo), são denominadas obras de manutenção, já que objetivam garantir a rede na altura projetada, em condições de energização (KARDEC & NASCIF, 2001).

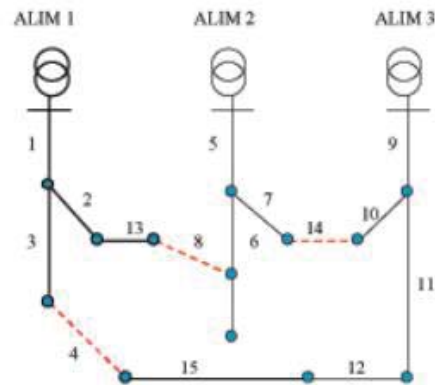
2.4.3 Obras de melhoria

Melhorias são caracterizadas pela interferência direta nas características de carregamento do circuito.

Toda interferência na rede que contemple construção de novos trechos de circuito, troca de condutores, além a instalação de equipamentos como reguladores de tensão ou bancos de capacitores são denominadas obras de melhoria (KARDEC & NASCIF, 2001).

Um exemplo é a construção de novos trechos de rede, com o objetivo de transformar circuitos radiais em circuitos em anel, proporcionando mais de uma fonte de alimentação para os clientes do circuito, no caso de uma falha de alimentação. Este exemplo é detalhado na Figura 8.

Figura 8: Exemplo de construção de obra de melhoria



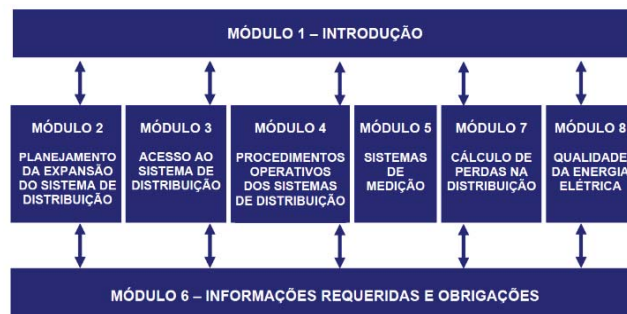
Fonte: RGE, 2014.

Pode-se observar que a proposta é a construção de trechos de rede em 4, 8 e 14, fazendo com que os Alimentadores 1, 2 e 3 possam (de acordo com o esquema de ligação das chaves existentes na rede – não detalhadas neste caso) suprir o atendimento de energia elétrica aos clientes do conjunto por uma fonte alternativa, caso haja falha na fonte principal.

2.5 O Desempenho do Sistema e o PRODIST

De acordo com Guth (2013), no ano de 2008 a ANEEL lançou os Procedimentos de Distribuição (PRODIST) com o intuito de padronizar e normatizar as atividades técnicas das distribuidoras, relacionadas ao funcionamento e desempenho dos sistemas de distribuição de energia elétrica. Este documento é composto por seis módulos técnicos, que abrangem as áreas de ações técnicas dos agentes de distribuição, e dois módulos integradores, conforme o fluxo apresentado na Figura 9.

Figura 9: Estrutura do PRODIST da ANEEL.



Fonte: Guth, 2013.

Ainda citando Guth (2013), com relação à qualidade do serviço, ou seja, o patamar que as distribuidoras possuem em termos de continuidade no fornecimento, a ANEEL através do

módulo 8 do PRODIST proporcionou uma ruptura do modelo que estava previsto na resolução anterior (número 505) que especificava as condições referentes a qualidade anteriormente, imputando em reduções bruscas dos limites regulatórios.

Estes limites, quando não cumpridos, resultam em compensações diretas ao consumidor, o que imputa à distribuidora a obrigação de melhoria da qualidade do fornecimento na mesma proporção (GUTH, 2013).

Este cenário de menor custo com melhoria de qualidade exige das empresas um novo direcionamento dos seus investimentos. A automação de redes de distribuição segue como um exemplo de solução lógica, pois permite reduzir os indicadores de continuidade ao mesmo tempo em que reduzem o custo operacional (FERREIRA, 2008).

2.5.1 Conceitos sobre Indicadores de Continuidade

Citando Guth (2013), a ANEEL, com o intuito de assegurar a qualidade nos serviços prestados pelas empresas distribuidoras de energia elétrica aos consumidores, estabeleceu no PRODIST um conjunto de exigências, obrigações e indicadores de natureza técnica e comercial, além de penalidades.

De acordo com o mesmo autor, para se compreender o cálculo dos indicadores de continuidade de serviço é necessário entender alguns conceitos iniciais, descritos também pela referência da ANEEL, 2013, tais como:

- a) Sistema de Atendimento ao Consumidor: sistema que registra as reclamações dos clientes quanto a problemas relacionados aos serviços de distribuição de energia elétrica;
- b) Ocorrências Emergenciais: atendimentos de falta de energia realizados pelas equipes de operação e manutenção e que não envolvam iluminação pública, serviços comerciais, reclamações do nível de tensão e interrupções programadas;
- c) Dia Crítico: Dia em que a quantidade de ocorrências emergenciais, em um determinado conjunto de unidades consumidoras, superar a média acrescida de três desvios padrões dos valores diários. A média e o desvio padrão a serem usados serão os relativos aos 24 (vinte e quatro) meses anteriores ao ano em curso, incluindo os dias críticos já identificados;

- d) Interrupção em situação de emergência: Interrupção motivada por caso fortuito ou de força maior, a ser comprovada documentalmente pela distribuidora;
- e) Conjunto Elétrico: subdivisão da distribuidora onde são agrupados os consumidores, estes ligados na região atendida por determina subestação.

2.5.2 Indicadores Operacionais

Os Indicadores Operacionais que são importantes instrumentos de acompanhamento do desempenho das distribuidoras no quesito atendimento ao cliente. Tais indicadores são definidos pelo PRODIST, como:

- a) TMP: tempo médio de preparação da equipe de atendimento de emergência, expresso em minutos;
- b) TMD: tempo médio de deslocamento da equipe de atendimento de emergência, expresso em minutos;
- c) TME: tempo médio de execução do serviço até seu restabelecimento pela equipe atendimento de emergência, expresso em minutos;
- d) TMAE: tempo médio de atendimento a ocorrências emergenciais, representando o tempo médio para atendimento de emergência, expresso em minutos;
- e) NIE: número de ocorrências emergenciais com interrupção de energia elétrica;
- f) DEC: Duração Equivalente de Interrupção por Unidade Consumidora, indicador coletivo para representar, em média, o tempo que os consumidores de um conjunto ou região ficaram sem energia;
- g) FEC: Frequência Equivalente de Interrupção por Unidade Consumidora, indicador coletivo para representar, em média, o número de vezes que os consumidores de um conjunto ou região ficaram sem energia;
- h) DIC: duração de interrupção individual por unidade consumidora ou por ponto de conexão, expressa em horas e centésimos de hora.
- i) FIC: frequência de interrupção individual por unidade consumidora ou ponto de conexão, expressa em número de interrupções;
- j) DMIC: duração máxima de interrupção contínua por unidade consumidora ou por ponto de conexão, expressa em horas e centésimos de hora.

As distribuidoras de energia elétrica têm a obrigação de apurar para todas as unidades consumidoras, os indicadores de continuidade discriminados pela ANEEL.

Caso haja violação dos indicadores, as empresas são submetidas a penalidades, como o pagamento de compensações financeiras aos consumidores, conforme estabelece a seção 8.2 do módulo 8 do PRODIST, que trata dos conceitos, armazenagem dos dados, valores de referência para os indicadores, compensações financeiras por violação dos limites estabelecidos e envio de dados, no que se refere ao assunto qualidade do serviço prestado pela distribuidora (ANEEL 2010).

2.6 Investimentos em Infraestrutura no país

Após a estabilização da economia, posterior a 1994, ano em que se implantou o Plano Real, a evolução das contas do setor público mostrou uma dicotomia clara. De um lado, se observava uma melhoria notável e crescente nos resultados agregados, com a geração dos superávits primários expressivos do orçamento, baseado em um programa de austeridade fiscal montado em 1998, por outro lado, ocorreu uma retração significativa nos investimentos do setor público, afetando principalmente a infraestrutura que, nos primeiros anos desta década, caiu para níveis excessivamente reduzidos (de um pouco acima de 1% do PIB) (LEMES, 2009).

Curiosamente, nos anos seguintes (2001 e 2002) e na direção inversa, um aumento do investimento público foi seguido por uma diminuição acentuada do investimento privado. Já em 2003, o investimento público voltou a cair e essa queda não foi compensada pelo investimento privado, provocando uma redução no investimento agregado (LEMES, 2009).

Os dados da Tabela 1 demonstram que a taxa de investimento em infraestrutura foi proporcionalmente baixa e decrescente no período, em função da evidência das questões ambientais, destaque nos últimos anos (FRISCHTAK, 2012)

Tabela 1: Investimento em infraestrutura (% do PIB)

| | 1971 a 1980 | 1981 a 1990 | 1991 a 2000 | 2001 a 2010 |
|------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| Comunicação | 0.8 | 0.43 | 0.73 | 0.68 |
| Energia Elétrica | 2.13 | 1,47 | 0.76 | 0.67 |
| Transportes | 2.03 | 1.48 | 0.63 | 0.64 |
| Saneamento | 0.46 | 0.24 | 0.15 | 0.19 |

Fonte: adaptado de Frischtak, 2012.

Em 2003, especificamente, os investimentos do setor público em infraestrutura representaram apenas 6,3% da Formação Bruta de Capital Fixo (FBCF) nacional, com um custo calculado de 2,18% do PIB em média entre os anos de 2001 e 2010 (FRISCHTAK, 2012).

Para o Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES) as perspectivas de investimento para o Setor Elétrico Brasileiro entre os anos de 2014 e 2017 ficam na casa dos R\$ 191,7 bilhões de reais. Caso esta perspectiva se confirme, as empresas precisam estar preparadas para direcionar investimentos, buscando os melhores resultados operacionais.

2.6.1 A questão energética e os impactos sobre o crescimento econômico

Quando se trata de componentes da infraestrutura (comunicação, energia elétrica, transportes e saneamento), o destaque é dado à energia, serviço essencial à organização econômica e social dos países, sem o qual o crescimento econômico não é possível. De acordo com Tolmasquim (2012), um dos fundamentos da sustentabilidade econômica de um país é a sua capacidade de estimular logística e energia para o desenvolvimento de sua produção, com segurança e em condições competitivas e ambientalmente sustentáveis.

Porém, para o correto direcionamento de investimentos no setor elétrico, o mapeamento das estruturas de oferta, consumo, gestão e controle do setor energético brasileiro demanda o estudo mais aprofundado da tendência recente dos investimentos em infraestrutura, de sua importância e do papel desempenhado pelo setor público nestes investimentos. A evolução histórica deixa claro e nos permite detectar os entraves ao investimento no setor, de maneira que se identifiquem os gargalos ainda hoje existentes e formas de superá-los. (VIZIOLI, 2014).

A pesquisa na literatura econômica aponta o investimento em infraestrutura como um dos principais fatores responsáveis pela promoção do crescimento sustentado na economia. Assim como os investimentos em transportes e telecomunicações, os investimentos no setor elétrico são fundamentais para a manutenção da atividade econômica e para a construção de vantagens comparativas. Em especial, evidencia-se a energia como essencial à organização econômica e social (VIZIOLI, 2014).

2.7 Teoria da Decisão e os Processos de Decisão Multicritério

A análise sistemática da tomada de decisão também é conhecida como Teoria da Decisão, que tem como objetivo fazer com que a tomada de decisão se torne um conceito menos arte e mais ciência.

Esta teoria define os papéis dos autores, o processo, as escolhas e a avaliação de seus efeitos após a implementação do que foi decidido (PEREIRA, FONSECA, 1997).

2.7.1 Decisão

Decisões são tomadas quando se tem a necessidade de realizar ou deixar de fazer algo relacionado com planos de crescimento, planos de desenvolvimento, decisões estratégicas, entre outros fatores. Uma decisão é o meio mais eficaz, eleito por quem decide, disponível para alcançar o objetivo para o qual se está enfatizando para resolver o problema que preocupa (CAMPOS, 2011).

2.7.2 Tomada de Decisão

Nos conceitos estabelecidos por Simon (1977), decidir é a essência da administração, dando o título de sinônimos aos conceitos de administrar e tomar decisões. Este processo tem sido objeto de análise de uma série de estudos científicos, com abordagens diferenciadas.

Nas distribuidoras de energia elétrica, a correta alocação de investimentos pressupõe a tomada de decisão correta quanto à execução de um conjunto de projetos para a manutenção e melhoria, além da expansão da infraestrutura de distribuição. Para otimizar a alocação dos recursos técnicos e financeiros disponíveis, os projetos para os sistemas devem ser analisados e priorizados de forma metodológica e com visão corporativa sistêmica.

Esse cenário requer metodologias de apoio à tomada de decisão moldadas para atender à natureza e à dinâmica do negócio de distribuição de energia elétrica.

Como exemplo, pode-se citar os métodos de programação matemática multicritério, usados para seleção do portfólio de projetos, que consideram vários (e conflitantes) objetivos simultâneos, sujeitos a um conjunto de restrições (como disponibilidade de recursos, por exemplo).

O problema de decisão multicritério é caracterizado por apresentar objetivos que não podem ser combinados. Neste tipo de problema, não há solução ótima, pois os objetivos são conflitantes e não há ferramentas para estabelecer compensações entre eles (GIULIANO, 1985).

Segundo a pesquisa apresentada por Campos (2011) são elementos da Tomada de Decisão:

a) Atores

Indivíduos ou grupos que tem interesse na decisão, pois são envolvidos diretamente pelas consequências das mesmas. No âmbito deste trabalho, podemos exemplificar como o papel do cliente da concessionária e da Agência Reguladora (ANEEL);

b) Tomador de decisões

É aquele que decide ou escolhe um conjunto de soluções ou decisões para a ação, baseado na avaliação das alternativas disponíveis.

c) Alternativas

São conjuntos de ações potenciais, que podem ser:

- Reais: são aquelas ações que se concretizam;
- Fictícias: são ações não formalizadas, apenas idealizadas;
- Realistas: são ações viáveis de execução;
- Irrealistas: são projetos cuja execução não tem viabilidade.
- Globais: quando não exclui as demais;
- Fragmentada: quando não ocorre.

É importante observar o número de alternativas possíveis para o problema. Muitas alternativas resultam no aumento da complexidade da decisão. Para este trabalho, todas as alternativas são realistas.

d) Critérios ou Atributos

Na elaboração dos projetos de melhoria e manutenção de redes de distribuição, é comum ter mais de um objetivo a ser atingido. Estes são denominados de critérios ou atributos e são utilizados como parâmetros de avaliação para o conjunto de alternativas.

Os critérios podem ser objetivos ou subjetivos (este determinado pelas percepções individuais do decisor) (TSOUKIAS, 2008).

Neste trabalho, os critérios adotados foram os causadores das faltas de energia elétrica para os consumidores.

e) Escalas

A decisão pode ser embasada em fatores quantitativos ou qualitativos. A escolha tem como propósito graduar fatores e tem como finalidade quantificar critérios ou atributos de forma quantitativa ou qualitativa (CAMPOS, 2011).

No trabalho apresentado nesta dissertação, os fatores são quantitativos.

f) Matriz de Avaliação

Também chamada de Matriz de Decisão, procura trazer dados em forma de tabela demonstrando a relação entre as alternativas para n critérios de avaliação.

Para este trabalho, a_{ij} representa a avaliação de cada ação a que pertence ao conjunto de ações potenciais A de acordo com os critérios g_j . Neste sentido, é possível desenvolver a Tabela 2 da Matriz de Avaliação.

Tabela 2: Matriz de Avaliação

| Critérios ou Atributos | g_1 | g_2 | ... | g_n |
|------------------------|----------|----------|----------|----------|
| Alternativas | | | | |
| A1 | a_{11} | a_{12} | ... | a_{1n} |
| ... | ... | ... | ... | ... |
| A_m | a_{m1} | a_{m2} | a_{mj} | a_{mn} |

Fonte: adaptado de Campos, 2011.

Nesta matriz é possível identificar de forma simples o desempenho de cada alternativa para cada critério ou atributo. De acordo com Campos (2011), sua composição permite a evolução da metodologia multicritério conforme as características do método escolhido.

Como exemplo, o desempenho da Alternativa A1, considerando o critério g_1 corresponde ao fator a_{11} .

2.7.3 Modelagem Decisória de Preferência

Tem como principal objetivo analisar a relação de preferência do decisor diante de ações potenciais. Essa modelagem tem o propósito de lidar com situações de incerteza, além de permitir a incorporação do processo no modelo de informações subjetivas do decisor (ROY, 1996).

Esta modelagem de Roy (1996) ocorre por meio de análise binária (presença ou ausência de determinada prioridade). As relações binárias S no conjunto A , cuja notação será aSb (tradução de *a tem preferência sobre b*).

2.8 Métodos Multicritérios de Apoio à Tomada de Decisão

Os Métodos de Apoio Multicritério à Decisão (AMD) surgiram com o propósito não somente de auxiliar o tomador de decisão a resolver problemas com objetivos conflitantes, como também para servir de ferramenta de suporte em todo o processo de decisão de forma que sejam claros todos os elementos da decisão e consequências das ações potenciais (CAMPOS, 2011).

Neste sentido, na década de 1970, surgiram os primeiros métodos multicritério de apoio à decisão ou *Multi Criteria Decision Aid* (MCDA), que utilizavam uma abordagem diferenciada para problemas com objetivos múltiplos. Sua metodologia possibilitava não só a visão multidimensional dos problemas, mas também incorporava procedimentos bem distintos (CAMPOS, 2011).

Resolver um problema multicritério significa procurar não apenas a solução escondida, mas consiste em auxiliar o tomador de decisão a dominar os dados (em geral, complexos) e avançar para decisão final. Na literatura encontram-se vários problemas MCDA e suas aplicações estão estritamente relacionadas com a natureza das informações do problema. Vincke (1986) classifica os métodos multicritérios em três grupos: programação matemática multiobjetivo; teoria da utilidade multiatributo; e métodos de sobreclassificação (*outranking methods*).

De acordo com Mota (2007), tais problemas de decisão em gestão de recursos e direcionamento de investimento de projetos têm um contexto bem específico, pois as alternativas não são necessariamente estáticas, isto é, elas podem mudar durante o ciclo de vida dos projetos. O processo de planejamento é iterativo, já que após o início da execução do projeto, pode ser necessário fazer alguns ajustes na programação proposta, ou seja, quando é preciso fazer um replanejamento das alternativas.

Para Vincke (1992), os métodos de apoio multicritério a decisão ajudam o decisor a solucionar problemas complexos de decisão, nos quais são considerados vários pontos de

vista, frequentemente contraditórios, em que o aumento do nível de um pode vir acompanhado do decréscimo de outros.

Os métodos de decisão multicritério podem ser classificados de diversas formas. Neste trabalho, é considerada a visão de Roy (1996) para embasar a metodologia ELECTRE apresentada a seguir, em que os métodos multicritério podem ser divididos em três grandes abordagens:

- Abordagem do critério único de síntese: consiste em agregar diferentes pontos de vista dentro de uma única função de síntese, que pode ser posteriormente otimizada. Nesse caso, devem-se analisar as condições de agregação da função e de construção do modelo. Como exemplo cita-se a Teoria da Utilidade Multiatributo (Keneey & Raiffa, 1976; Almeida, 2005).
- Abordagem da Sobreclassificação (ou subordinação – termo em inglês: *outranking*): inspirada na Escola Francesa, essa família apóia, em primeiro lugar, a construção de uma relação de Sobreclassificação, que representa as preferências estabelecidas pelo decisor. O segundo passo consiste em explorar a relação de Sobreclassificação de tal forma que ajude o decisor a resolver o seu problema. Exemplos são os métodos da família ELECTRE (Roy, 1996; Belton & Stewart, 2002).
- Abordagem do julgamento Iterativo: são métodos que utilizam a abordagem de tentativas e erros e estruturas de programação matemática multiobjetivo (Clímaco et al., 2003).

São estas características que dão flexibilidade para ajustar o método de acordo com as alternativas que a concessionária pode utilizar para agir.

2.8.1 A escolha do Método de Sobreclassificação da família ELECTRE

Trata-se de métodos da Escola Francesa de Apoio Multicritério à Decisão, a família ELECTRE (*Elimination Et Choix Traduisant la Réalité* - Eliminação e Escolha como Expressão da Realidade), cuja versão I foi proposta por Roy em 1968 e a versão II chamada ELECTRE II, proposta por Roy e Bertier em 1973.

Estes métodos definem uma série de processos sobre as alternativas consideradas, as quais pertencem ao conjunto de possíveis soluções do problema de decisão analisado.

Para Mota (2007), tais métodos são baseados na construção de uma relação de sobreclassificação que incorpora as preferências estabelecidas pelo decisor diante dos problemas e das alternativas disponíveis.

Os métodos desta família se destacam por proporcionar uma Análise Multicritério na qual as preferências podem ser modificadas, em razão de novas informações que se incorporam ao longo do processo. Por exemplo, mudança de valores disponíveis para investimento, conseqüentemente, de definição de prioridades, prazos, urgência, entre outros.

Portanto, o método é perfeito para casos em que é necessário trabalhar com conceitos que possibilitem a modelagem de novas situações, durante o processo decisório.

O método ELECTRE II envolve apenas critérios verdade e são destinados a problemas que envolvem seleção e ordenação de alternativas, respectivamente (e é o aplicado neste trabalho).

Para justificar o uso do método ELECTRE II, cabe algumas reflexões a respeito dos outros desdobramentos do método que surgiram desde 1968, quando surgiu o Método ELECTRE I. O Quadro 1 mostra os autores de algumas versões do método.

Quadro 1: Métodos Electre - Histórico

| VERSÃO | AUTOR | ANO | PROBLEMÁTICA |
|---------------|-----------------|------------|---------------------|
| I | Roy | 1968 | Seleção |
| II | Roy e Bertier | 1973 | Ordenação |
| III | Roy | 1978 | Ordenação |
| IV | Roy e Hugonnard | 1982 | Ordenação |
| TRI | Yu Wei | 1992 | Classificação |

Fonte: adaptado de Vianna (2009)

Estas versões do método diferenciam-se entre si pela problemática que tentam resolver, pelas informações inter e intracritérios utilizadas e pela quantidade de relações de superação construídas e pesquisadas.

Os métodos ELECTRE III e IV têm como objetivo ordenar as alternativas da melhor para a pior. O ELECTRE IV vez é destinado a problemas em que não se pode introduzir qualquer ponderação nos critérios (VINKE, 1992).

Devido à necessidade de outros critérios de análise, houve o desenvolvimento de novos tipos de modelagem de preferências, os métodos ELECTRE III, IV e TRI, que inserem na sua estrutura modelagens de preferências mais refinadas.

Como apresentado por Mota (2007), o método ELECTRE IV foi desenvolvido para tratar casos em que não se pode definir os pesos dos critérios, nem mesmo é considerada uma ordenação deles. Sua estrutura é diferente, pois não calcula índices de concordância e discordância. As relações de sobreclassificação são estabelecidas por referência direta às alternativas. Dessa forma, o método permite o uso de escalas puramente ordinais. Porém, a estrutura do método ELECTRE IV foi elaborada para tratar, especificamente, o problema de planejamento urbano apresentado em Hugonnard & Roy (1984).

Um problema em aplicar o ELECTRE IV em outras análises está relacionado a sua estrutura rígida com relação ao estabelecimento das relações de sobreclassificação, já que o tomador de decisão não pode escolher o nível de exigência para formar essas relações. Este fator contribuiu para a definição do uso do ELECTRE II neste trabalho. Como resultado, tem-se uma ordenação das melhores alternativas a serem utilizadas para melhorar os indicadores operacionais.

Neste sentido, conforme descrito por Vianna (2009), estes métodos se baseiam no estudo de sobre classificação em uma lógica não compensatória (razão de substituição), com poder de veto usando as noções de concordância e de discordância. As relações de sobreclassificação são elaboradas de forma, que possam permitir a avaliação do quanto uma alternativa é melhor que outra, nas seguintes condições:

- A) Uma maioria suficiente de critérios, apoia esta proposição (princípio da concordância);
- B) A oposição da minoria não é considerada forte o suficiente para discordar desta proposição (princípio da discordância).

O método ELECTRE II (assim como os outros métodos de sobreclassificação) é aplicado em duas fases principais:

Fase I: Construir uma relação de sobreclassificação, estabelecendo uma comparação par a par de alternativas.

Fase II: Explorar a relação de sobreclassificação, aplicando um procedimento para resolver o problema em função da problemática específica a ser abordada.

No método, o objetivo é construir uma relação de sobreclassificação e explorá-la, para as alternativas escolhidas do problema. O método ELECTRE II considera os pesos como uma medida da importância que cada critério tem para o decisor, e não como uma taxa marginal de substituição, visto que as avaliações de cada alternativa nos diferentes critérios não se reúnem em uma avaliação global (COSTA, GUTIERREZ 2006).

3. MÉTODO DA PESQUISA

Este capítulo tem como objetivo apresentar a metodologia da pesquisa utilizada para atingir os objetivos da dissertação, mostrando a sequência de etapas adotadas para elaboração do trabalho.

A Etapa 1 busca caracterizar o então processo de direcionamento de investimento financeiro para execução das obras de manutenção e melhoria na rede de distribuição de energia elétrica nas áreas de atuação da concessionária em estudo.

Para diagnosticar os problemas operacionais e os riscos envolvidos na operação da rede, a Etapa 2 traz informações quanto aos indicadores operacionais do ano de 2014 e 2015.

Com o propósito de avaliar um método de decisão multicritério para o tratamento das informações e direcionamento de recursos, a Etapa 3 propõe a aplicação do método ELECTRE II, seguida da apresentação de uma proposta de Planos de Ação para o gerenciamento do processo de direcionamento dos investimentos, descrita na Etapa 4.

3.1 Caracterização da rede de distribuição de energia elétrica alvo da pesquisa

A pesquisa foi realizada especificamente em um dos 77 conjuntos elétricos da empresa Rio Grande Energia (RGE), uma das empresas do Grupo CPFL Energia, com sede em Campinas, estado de São Paulo.

A CEEE (Companhia Estadual de Energia Elétrica) foi privatizada em outubro de 1997, passando a se chamar RGE, seguindo a evolução do setor elétrico na década de 1990, o que já foi descrito no Capítulo 2 deste trabalho. Anterior a esta data, a estatal CEEE detinha a concessão da área hoje administrada por esta empresa.

A RGE atua na região norte-nordeste do estado do Rio Grande do Sul, atendendo pouco mais de 1,4 milhões de Unidades Consumidoras, num total de 264 municípios (51% do total de municípios do RS).

A área de cobertura abrange 90.718 km² e divide-se em duas regiões: Centro, com sede na cidade de Passo Fundo; e Leste, com sede na cidade de Caxias do Sul, como ilustrado no mapa do estado, apresentado na Figura 10.

A Rede Básica, responsável pelo suprimento de energia da RGE, é composta por 22 subestações de fronteira, sendo as transmissoras CEEE-GT, ELETROSUL e ETAU as proprietárias destas instalações.

Na área de concessão da RGE há atualmente 77 Subestações de Distribuição, sendo 65 próprias, oito pertencentes às Demais Instalações de Transmissão (DIT's) e outras quatro de outras distribuidoras, totalizando 2.556 MVA de capacidade instalada (RGE, 2014).

Segundo RGE (2014), a rede Primária de Distribuição, também chamada de Sistema de Distribuição de Média Tensão (SDMT), é constituída de 440 circuitos, que operam nas tensões de 23 kV (227 circuitos) e 13,8 kV (213 circuitos), totalizando 50.078 km de rede, nos seguintes arranjos: trifásico, 23.874 km (47,7%), bifásico, 7.254 (14,5%) e monofásico (MRT), 18.950 (37,8%).

A maioria dos circuitos é caracterizada pelo arranjo radial simples (há alguns casos de alimentadores que atendem até três municípios), o que dificulta ou impossibilita o remanejamento de cargas. Os circuitos caracterizados no arranjo radial com recurso, na maioria das vezes não possuem reserva de capacidade para absorver uma parcela significativa da carga do circuito adjacente, principalmente em função do condutor do tronco principal do alimentador.

A análise dos eventos emergenciais ocorridos no ano de 2014 em um dos 77 conjuntos aqui descritos, com características já enumeradas, serviu como base para a pesquisa desenvolvida neste trabalho.

Os dados desta análise foram utilizados para elaborar este estudo de modo a ranquear as intervenções prioritárias nos pontos mais críticos do conjunto e monitorar os resultados.

Para estruturar esta pesquisa, foi utilizada a metodologia apresentada no item 3.3 deste trabalho.

3.2 Classificação da pesquisa

De acordo com Silva e Menezes (2005), esta pesquisa classifica-se como:

Aplicada, de acordo com a natureza da mesma, pois tem como objetivo gerar conhecimentos para a aplicação prática, dirigidos à solução de problemas específicos. A classificação Aplicada se justifica pelo fato de que as análises envolveram informações reais, cujos interesses são úteis à empresa de distribuição de energia elétrica, já que todas são

cobradas pela ANEEL acerca de indicadores de qualidade no fornecimento aos consumidores finais.

Quantitativa, pois as informações, alvo da análise deste trabalho, foram quantificadas, o que significa que é possível traduzir em números as opiniões e informações para classificá-las e analisá-las. Exemplo são os valores referentes às compensações pagas.

Explicativa, visto que identifica os fatores relacionados aos eventos que causam falta de energia para os consumidores e que determinam ou contribuem para a ocorrência dos fenômenos, aprofundando o conhecimento da realidade, e procura explicar a razão, o porquê das coisas. Foi a análise destes fenômenos que resultou nos direcionadores para este trabalho.

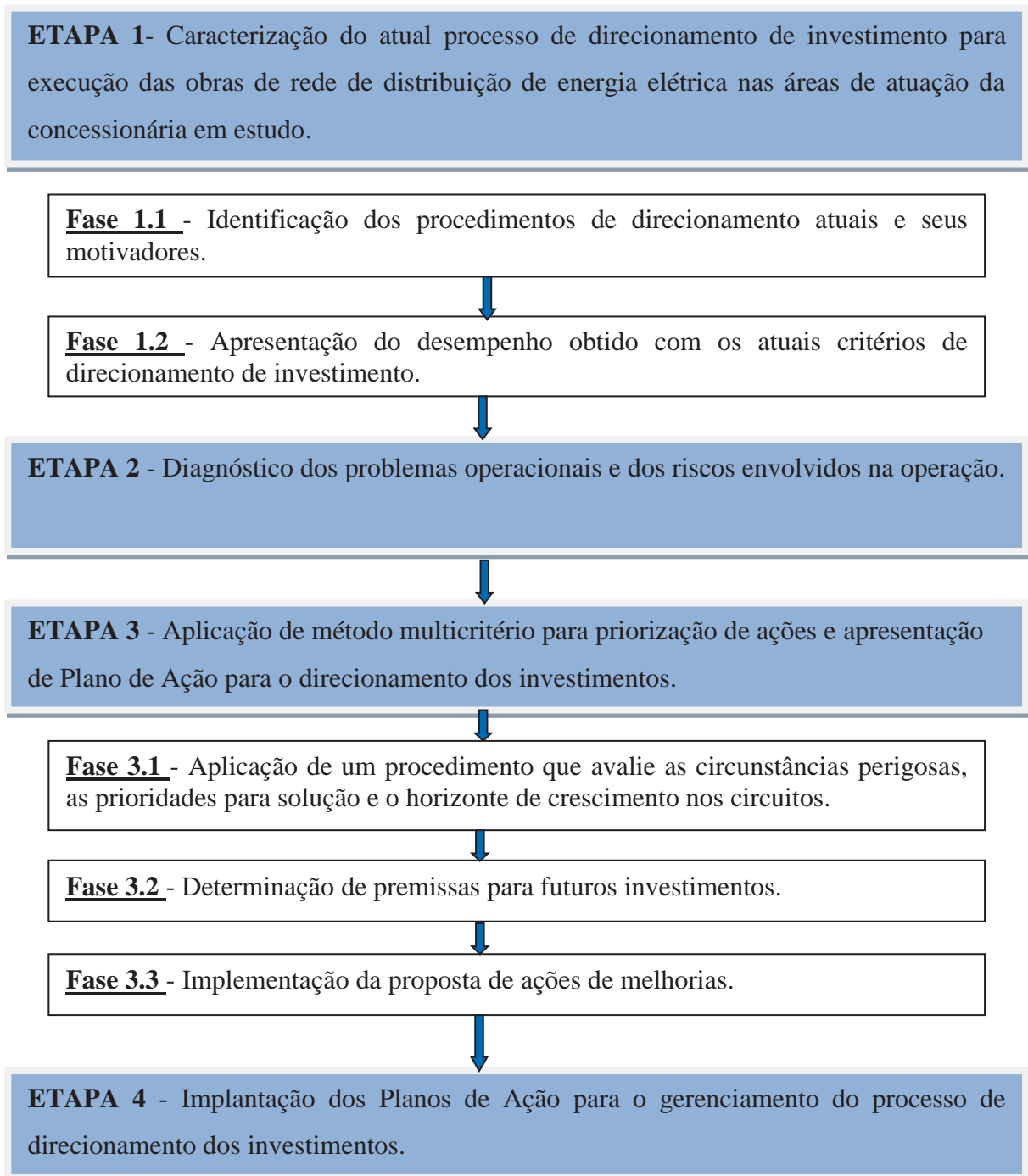
Experimental, pois determinou um objeto de estudo, onde se selecionaram as variáveis que foram capazes de influenciá-lo, definem-se as formas de controle e de observação dos efeitos que a variável produz no objeto. No contexto deste trabalho foram direcionados investimentos em um conjunto elétrico alvo deste trabalho e será feito o acompanhamento do desempenho do mesmo, buscando provar que mesmo os investimentos de menor valor, desde que feitos no ponto adequado, melhoram os indicadores operacionais do conjunto.

3.3 Procedimentos e Métodos

O desenvolvimento desta pesquisa foi realizado em quatro etapas. Cada uma delas com as respectivas ações que foram desenvolvidas para o alcance de cada objetivo específico.

As etapas estão subdivididas em fases, conforme a estrutura apresentada na Figura 12, que mostra os passos e a sequência lógica adotada para o desenvolvimento da pesquisa.

Figura 12: Estrutura metodológica do trabalho de pesquisa.



Fonte: a Autora, 2015.

A seguir encontra-se a descrição dos procedimentos adotados para o desenvolvimento da pesquisa, conforme a estrutura metodológica apresentada na Figura 12.

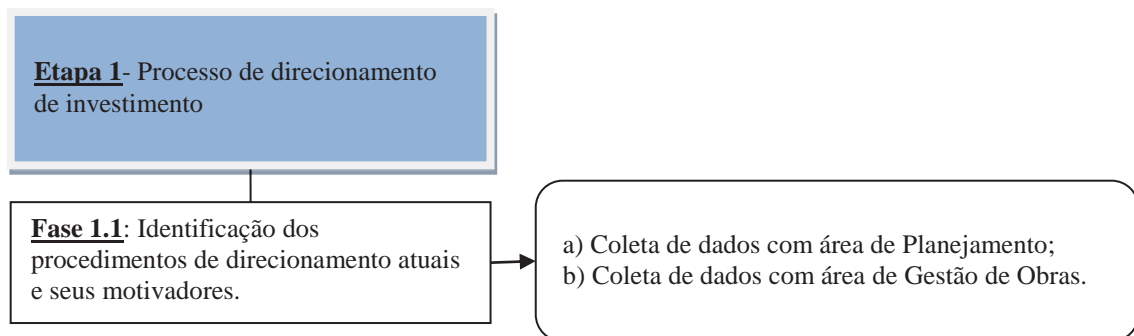
Etapa 1: Caracterização do atual processo de direcionamento de investimento para execução das obras de rede de distribuição de energia elétrica nas áreas de atuação da concessionária em estudo

Fase 1.1: Identificação dos procedimentos de direcionamento atuais e seus motivadores.

Nesta fase foram coletadas informações para verificar os fatores que direcionam os investimentos em obras de atendimento ao cliente, manutenção (troca de postes) e de melhoria (troca de cabo e de equipamentos).

Os dados coletados foram descritos e apresentados de forma textual, em quadros e em gráficos, utilizando como base as informações do ano de 2014. Na Figura 13 apresenta-se esquematicamente a estrutura do arranjo de informações utilizada nesta fase do trabalho.

Figura 13: Estrutura do arranjo de informações para caracterizar o direcionamento de investimento atual e seus motivadores.



Fonte: a Autora, 2015.

Para a realização da coleta de informações (em conjuntos específicos) foi utilizada uma lista de necessidades que foram levantadas para identificar informações referentes às características das obras que são executadas pela empresa em estudo:

- a) Número de obras executadas no ano de 2014;
- b) Classificação da obra (atendimento ao cliente, melhoria ou manutenção);
- c) Região de execução.

Fase 1.2: Apresentação do desempenho obtido com os atuais critérios de direcionamento de investimento.

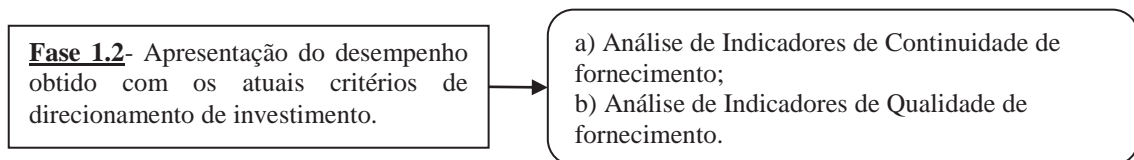
Nesta fase, coletaram-se informações de modo a verificar a eficiência da execução da obra nos indicadores operacionais da empresa.

A identificação foi realizada através de análise de informações da área operacional no que diz respeito aos indicadores de continuidade e qualidade no fornecimento de energia elétrica aos clientes.

A apresentação das informações foi descrita na forma de textos, apresentação de quadros comparativos e fluxogramas.

Na Figura 14 apresenta-se esquematicamente a estrutura do fluxo de informações utilizada nesta fase do trabalho.

Figura 14: Estrutura do fluxo de informações para a apresentação do desempenho obtido com os atuais critérios de direcionamento de investimentos.



Fonte: a Autora, 2015.

Para a realização da análise, foi utilizada uma lista de indicadores operacionais que interferem na continuidade e na qualidade do fornecimento de energia aos consumidores, tais como:

- a) Quantidade de horas que o cliente ficou sem fornecimento de energia elétrica no período (DEC);
- b) Quantidade de vezes que o cliente ficou sem fornecimento de energia elétrica no período (FEC);
- c) Valores pagos em compensação aos clientes, no período, por problemas relacionados a qualidade no fornecimento de energia elétrica.

Etapa 2: Diagnóstico dos problemas operacionais e dos riscos envolvidos na operação

Identificação das causas de defeitos nos circuitos

Nesta Etapa, foram coletadas informações referentes aos tipos de defeitos encontrados quando há atendimentos emergenciais na rede, de modo a identificar os principais fatores causadores das faltas de energia elétrica aos consumidores.

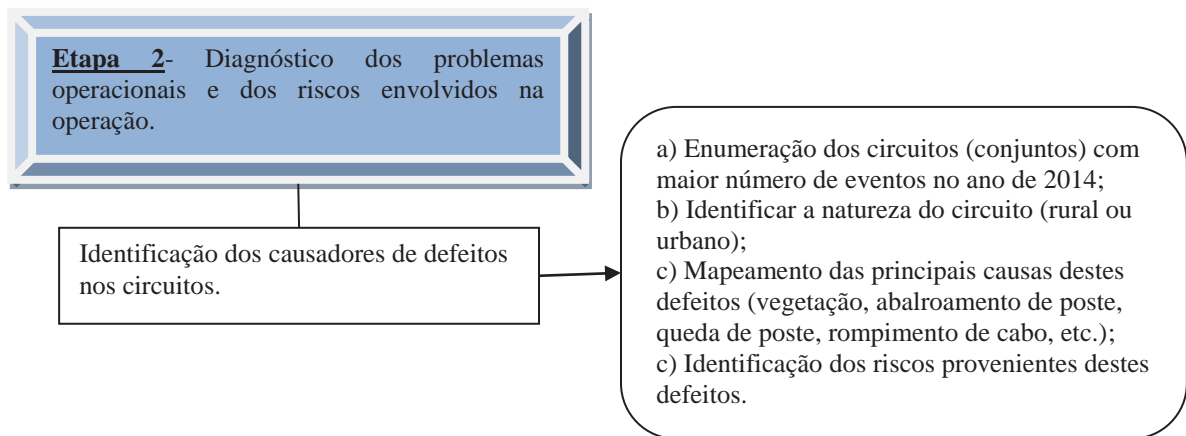
Esses defeitos podem causar riscos a população e, na próxima Etapa, auxiliar o tomador de decisão na ponderação de pesos.

Foi verificada a natureza dos defeitos ocorridos nas redes de distribuição de energia

elétrica, provenientes de eventos emergências no período de 2014, pela empresa em estudo.

Na Figura 15 apresenta-se esquematicamente a estrutura do fluxo de informações utilizada nesta Etapa do trabalho.

Figura 15: Estrutura do fluxo de informações para a identificação dos causadores de defeitos



Fonte: a Autora, 2015.

A coleta de informações foi realizada com a área responsável pelo atendimento destes eventos, denominada Centro de Operação (CO). Analisaram-se dados como: circuitos com maiores incidências de defeitos, natureza do circuito, causas dos defeitos, além de algumas informações técnicas do circuito, como extensão da rede e carregamento (carga elétrica).

Para a análise, serão considerados os seguintes aspectos:

- a) Número de clientes do circuito;
- b) Valor pago em compensações aos clientes deste circuito no ano de 2014;
- c) Extensão (em km) urbana e rural deste circuito;
- d) Tempo (em horas) os clientes deste circuito ficaram sem energia;
- e) Número de vezes os clientes deste circuito ficaram sem energia;
- f) Número de defeitos ocorreram neste circuito no ano de 2014;
- g) Causas destes defeitos;
- h) Local onde os defeitos acontecem.

Etapa 3: Aplicação de método multicritério para priorização de ações e apresentação de Plano de Ação para o direcionamento dos investimentos

Fase 3.1: Aplicação de um procedimento de análise das informações baseado nas

circunstâncias perigosas, prioridade para solução e horizonte de crescimento.

Com base na análise elaborada na Etapa 2, foi possível estruturar um procedimento levando em consideração os critérios de análise baseado nas circunstâncias perigosas ou gravidade, prioridade para solução ou urgência e horizonte de crescimento ou tendência.

Para este momento foi utilizada uma técnica de priorização chamada Matriz GUT (Gravidade, Urgência e Tendência). Esta técnica foi proposta por Charles Kepner e Benjamin Tregoe, em 1981 como uma ferramenta de qualidade, utilizada na Solução de Problemas, usada para definir prioridades dadas as diversas alternativas de ação. A matriz GUT foi utilizada para estipular pesos de cada critério frente as alternativas disponíveis.

Posteriormente, a Análise Multicritério foi aplicada. Para definição foi necessário encontrar um método no qual as preferências pudessem ser modificadas, em razão de novas informações que se incorporam ao longo do processo. Por exemplo, mudança de valor disponível para investimento, dando foco para ações mais simples de intervenção na rede.

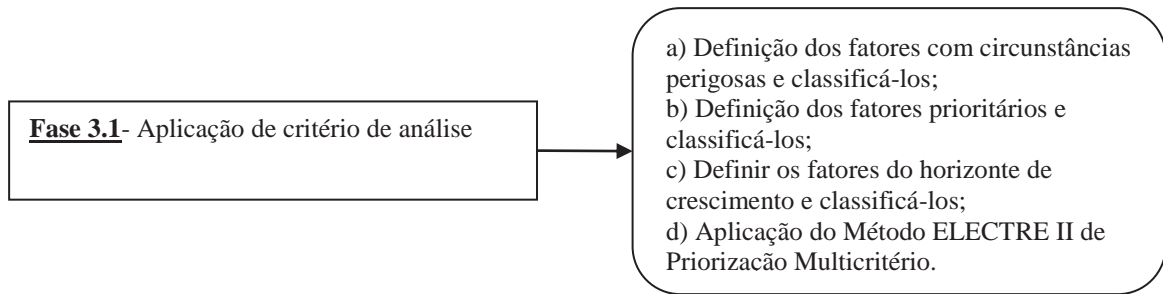
Portanto, seria necessário trabalhar com conceitos que possibilitassem a modelagem de novas situações, durante o processo decisório.

Por isso a utilização de um dos métodos ELECTRE, cuja ideia básica, nesta família de métodos, consiste numa ênfase na análise das relações de dominância, evitando hipóteses muito rígidas e questionamentos intrigantes ao Tomador de Decisão para aplicação de ordenação de alternativas, o método adequado é o ELECTRE II.

Com a aplicação deste procedimento, o objetivo foi de ordenar as ações de forma adequada em conjuntos elétricos, levando em consideração os aspectos analisados, permitindo a tomada de decisões e seleção de ações prioritárias para o processo.

A Figura 16 apresenta esquematicamente a estrutura do fluxo de informações utilizada nesta fase do trabalho, baseada nas ações definidas pela concessionária.

Figura 16: Estrutura do fluxo de informações para análise baseado nas circunstâncias perigosas, prioridade para solução e horizonte de crescimento.



Fonte: a Autora, 2015.

Para as situações nas quais houver risco de vida ou comprometimento da segurança da população, ou circunstâncias perigosas, esta será considerada grave, ou seja, ações imediatas devem ser tomadas para que não ocorram acidentes de nenhuma natureza com a população.

Os critérios adotados para os itens considerados Circunstâncias Perigosas são exemplificados no Quadro 2.

Quadro 2: Critérios para a análise metodológica de Circunstâncias Perigosas

| CIRCUNSTÂNCIAS PERIGOSAS – PROBLEMAS OPERACIONAIS QUE CAUSAM RISCO DE VIDA E SEGURANÇA À POPULAÇÃO - GRAVIDADE | |
|---|---|
| Pontos | CRITÉRIO |
| 5 | Providências imediatas a ser tomadas |
| 4 | Providências em curto prazo a ser tomadas |
| 3 | Providências em médio prazo a ser tomadas |
| 2 | Providências em longo prazo a ser tomadas |
| 1 | Não há prazo definido para tomar providências |

Fonte: a Autora, 2015.

A escala, linear, crescente e com incremento unitário, é utilizada para simplificar os cálculos, uma vez que não são necessárias grandes variações na mesma para tornar as alternativas mais expressivas.

Foram consideradas prioridades todas as falhas ou defeitos (independente da causa) que trouxeram prejuízos financeiros a empresa concessionária. Esta métrica foi estabelecida pelo fato de que todos os valores desta natureza são considerados como Despesa Operacional, sendo deduzidos do resultado financeiro da empresa.

Os critérios adotados para os itens considerados Prioridade são exemplificados no Quadro 3 que tem como fonte a análise de impacto em relação ao resultado de cada ação.

Quadro 3: Critérios para a análise metodológica de Prioridade

| PRIORIDADE - PROBLEMAS OPERACIONAIS COM PREJUÍZOS FINANCEIROS - URGÊNCIA | |
|---|------------------------------------|
| Pontos | CRITÉRIO |
| 5 | Prejudica gravemente o resultado |
| 4 | Prejudica bastante o resultado |
| 3 | Prejudica o resultado |
| 2 | Prejudica pouco o resultado |
| 1 | Quase sem efeito sobre o resultado |

Fonte: a Autora, 2015.

Já nos casos em que foram identificadas oportunidades de crescimento de mercado ou horizonte de crescimento para a empresa (aumento no número de clientes e atendimento a pedidos de aumento de carga – consumo) estes serão considerados como tendências, já que estas situações são passíveis de planejamento estruturado.

Os critérios adotados para os itens considerados Horizonte de Crescimento são exemplificados no Quadro 4.

Quadro 4: Critérios para a análise metodológica de Horizonte de Crescimento

| TENDÊNCIA - PROJEÇÃO DE CRESCIMENTO DE MERCADO - TENDÊNCIA | |
|---|---------------------------------------|
| Pontos | CRITÉRIO |
| 5 | A situação piorará bastante |
| 4 | A situação piorará |
| 3 | A situação poderá piorar |
| 2 | A situação vai manter-se como a atual |
| 1 | Resolver-se-á sem intervenção |

Fonte: a Autora, 2015.

Para os casos descritos nos Quadros 2, 3 e 4, o somatório de pontos para cada item foi utilizado para criação de um *ranking* de pontos prioritários de intervenção nos alimentadores, e será apresentado da elaboração da Etapa 3 deste trabalho.

O objetivo deste procedimento foi de priorizar as ações de forma adequada em conjuntos elétricos, levando em consideração os aspectos analisados, permitindo a tomada de

decisão e seleção de ações prioritárias que tragam maiores resultados com menores custos para o processo.

Esse processo de gestão de empreendimentos pode ser suportado por métodos de apoio multicritério a tomada de decisão, envolvendo o estudo dos aspectos críticos dos projetos, isto é, gerenciar as atividades em função de outros aspectos além do tempo, tais como priorizar atividades de baixa segurança, alto custo, dentre outros aspectos que sejam relevantes, a critério do gerente.

O estudo dos métodos multicritério para tratar o problema de priorização de atividades em projetos, é importante visto que se precisava de uma abordagem de fácil utilização e entendimento por parte dos tomadores de decisão.

Com base na análise elaborada na Etapa 2, estruturou-se um procedimento levando em consideração os critérios de análise, para possibilitar a implementação de um método de Análise Multicritério. Para tanto, com base nos critérios estabelecidos nos Quadros 4, 5 e 6, os seguintes indicadores operacionais serão utilizados para confrontar os critérios e as alternativas:

- a) Circunstâncias perigosas: quando envolve gravidade e risco à segurança da população;
- b) Compensações, número elevado de clientes e DEC (Duração Equivalente de Interrupção por Unidade Consumidora) elevado: será considerada Prioridade para solução;
- c) Aumento de demanda e de carga do circuito ou sobrecarga: serão consideradas como as necessidades prioritárias no Horizonte de Crescimento

Neste sentido, o método escolhido foi o ELECTRE II, que se caracteriza por utilizar o conceito francês de *súrclassente*, cuja tradução para o inglês é *outranking* e para o português é de superação, subordinação, superclassificação, prevalência e, até mesmo, dominação. O objetivo foi de ordenar as alternativas que trariam melhores retornos, de acordo com as decisões tomadas com o uso da Matriz GUT.

Nesta linha de raciocínio, uma alternativa genérica $a \in A$ (a pertence ao grupo A) domina uma outra alternativa genérica $b \in A$ (aSb – a supera b), se não existem argumentos suficientes para dizer que a é pior do que b .

Como princípio, nestes métodos consideram-se como dominadas as alternativas que "perdem" para as demais (ou são piores que as demais) em um maior número de critérios.

Para aplicação do Método ELECTRE II, foram seguidos os passos apresentados a seguir, de modo a estruturar a Matriz de Dominância confrontando Critérios e Alternativas, como segue.

Passo 1: Definição dos Critérios

Os Critérios foram definidos de acordo com os eventos identificados no circuito alvo deste trabalho, escolhidos devido:

- Ao tipo de ocorrências mapeadas;
- Aos prejuízos causados aos indicadores operacionais da concessionária, especialmente quanto aos valores pagos em compensação aos clientes (prejuízos).

Tais critérios, apresentados no Quadro 5, serão aplicados para análise de cada um dos Trechos do circuito alvo do trabalho.

Quadro 5: Critérios utilizados

| CRITÉRIO | CONDIÇÃO |
|-----------------|--|
| C1 | Eventos que tiveram como causador Árvores ou Vegetação na rede. |
| C2 | Eventos que tiveram como causa raiz Vento e causaram queda de postes ou estruturas na rede. |
| C3 | Eventos que tiveram como causa raiz Descargas Atmosféricas e causaram quebra de isoladores, desarme de dispositivos de proteção e queima de transformadores. |
| C4 | Eventos que tiveram como causa raiz Sobrecarga de condutores e causaram rompimento de condutores, desarme de dispositivos de proteção e queima de transformadores. |

Fonte: a Autora, 2015.

Mesmo não aparecendo neste mapeamento é importante destacar a possibilidade de que nestes, quando aplicados em outras concessionárias ou circuitos, outros critérios sejam identificados.

Esta observação se faz pertinente para situações em que o método possa ser aplicado em outros circuitos instalados em regiões diferentes, nas quais possam ocorrer faltas de energia ocasionadas pelos seguintes causadores:

a) Problemas de relevo

Deslizamentos ou erosões que podem causar queda de poste;

Situações que podem impedir acesso ou construção de rede, especialmente em desníveis ou inclinações;

b) Clima

Como exemplo, calores intensos que causam grandes dilatações nos condutores. Estes, podem ter contato com cabos telefônicos e causar faltas de energia;

Também o frio extremo, com incidência de neve, que acumulada nos cabos pode rompê-los (ou ocasionar quebra de cruzetas) por excesso de peso e provocar desarmes.

c) Extensão de circuito

Distância entre a fonte (subestação) e a última carga (consumidor) comprometendo níveis adequados de tensão de fornecimento e sem possibilidade de instalação de equipamentos (reguladores de tensão) que corrijam este problema.

d) Número de Clientes no Circuito e demanda consumida

Cada concessionária adota limites para número de clientes por conjunto ou alimentador ou equipamento. Isso ocorre em função das características de consumo dos clientes atendidos pelo circuito. Caso sejam identificadas faltas de energia por sobrecarga de consumo, a possibilidade de divisão de circuitos deve ser considerada.

e) Fauna

Em algumas regiões, é comum a existência de aves de porte maior, que no voo, fazem contato acidental com dois pontos distintos do circuito, causando desarmes.

Há também situações nas quais a construção de ninhos junto aos isoladores criam caminhos elétricos de fuga, também causando faltas de energia.

Passo 2: Definição das Alternativas

Para as alternativas, foram consideradas as ações previstas na Norma Técnica 2818 da concessionária, que prevê uma série de tipos de intervenções na rede para casos de manutenção ou melhoria, que vão desde ações emergenciais (que não se enquadram neste trabalho) até as aqui utilizadas (CPFL, 2015).

Assim, de acordo com a filosofia adotada pela concessionária alvo deste estudo, as ações planejadas exequíveis na rede de distribuição se limitam à nove alternativas relacionadas e apresentadas no Quadro 6:

Quadro 6: Alternativas utilizadas

| ALTERNATIVAS | DESCRIÇÃO |
|---------------------|---|
| A1 | Deve ser realizada manutenção preventiva no circuito, com troca de cruzetas, isoladores, regulagem e amarração de condutores. |
| A2 | Deve ser priorizada poda na vegetação próxima a rede de distribuição |
| A3 | Manutenção Preditiva, com uso do Termovisor para identificação e correção de pontos quentes na troncal do circuito. |
| A4 | Deverão ser instalados Para-raios no circuito |
| A5 | Providenciar manutenção de rede (troca de postes) |
| A6 | Providenciar melhorias na rede (troca de condutores e/ou instalação de novos transformadores) |
| A7 | Construção de novo circuito alimentador |
| A8 | Instalação de Reguladores de Tensão |
| A9 | Instalação de equipamentos Religadores |

Fonte: a Autora, 2015.

Mesmo não aparecendo neste mapeamento é importante destacar a possibilidade de que nestes, outras alternativas possam ser adotadas.

Esta observação se faz pertinente para situações em que o método possa ser aplicado em outros circuitos, instalados em regiões diferentes, nas quais possam surgir como alternativas situações como:

- Construção de estruturas com altura e fundações diferenciadas (torres por exemplo) especialmente em terrenos íngremes ou com incidência de erosão ou deslizamentos;
- Construção de rede com vãos menores entre os postes, especificamente para locais com grande variação de temperatura e, conseqüentemente, dilatação de condutores;
- Construção de novas subestações para diminuir extensão total entre a fonte e a última carga (para casos de comprometimento de níveis de tensão por exemplo);

- Instalação de afastadores de pássaros nas cruzetas, para impedir a construção de ninhos próximos aos isoladores.

Passo 3: Matriz de Avaliação

Com base nos quadros 5 e 6, é possível definir a matriz de avaliação por trechos e Alternativas atribuindo valores para cada alternativa *versus* critério, considerando também os fatores definidos nos Quadros 2, 3 e 4.

Para este trabalho, o circuito escolhido foi dividido em três trechos, limitados por equipamentos. Esta divisão permitiu a análise entre pontos.

Assim, o trabalho apresenta a aplicação para um trecho do alimentador (Trecho 1), considerando para cada Critério *versus* Alternativa o somatório das pontuações do Quadro 7 para Circunstâncias Perigosas (Risco de vida e segurança para a população), Prioridades (onde há algum tipo de prejuízo financeiro para a empresa) e Horizonte de Crescimento (para casos em que foram identificadas oportunidades de crescimento de mercado).

Quadro 7: Pontuação atribuída para Critérios *versus* Alternativas

| Pontos | CIRCUNSTÂNCIAS PERIGOSAS | PRIORIDADE | HORIZONTE DE CRESCIMENTO |
|--------|-----------------------------|------------------------------------|---------------------------------------|
| 5 | Providências imediatas | Prejudica gravemente o resultado | A situação piorará bastante |
| 4 | Providências em curto prazo | Prejudica bastante o resultado | A situação piorará |
| 3 | Providências em médio prazo | Prejudica o resultado | A situação poderá piorar |
| 2 | Providências em longo prazo | Prejudica pouco o resultado | A situação vai manter-se como a atual |
| 1 | Não há prazo definido | Quase sem efeito sobre o resultado | Resolver-se-á sem intervenção |

Fonte: a Autora, 2015.

Para imediato, entende-se ação em 24 horas. Para curto prazo, 30 dias. Já o médio prazo, um período de 120 dias. Longo prazo, 12 meses.

O método ELECTRE II prevê que os elementos da Matriz de Avaliação podem ser determinados pelo Tomador de Decisão, em escalas de qualquer natureza. Então, foi possível adotar a avaliação de Perigo, Prioridade e Crescimento para cada uma das Alternativas e

Critérios, tendo como resultado a Matriz de Avaliação, cujo exemplo de composição dos fatores pode ser observado na Tabela 3.

Tabela 3: Matriz de Avaliação dos atributos para cada Alternativa *versus* Critério

| Trecho | Critério | | | | |
|----------------|----------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| | C1 | C2 | C3 | C4 | |
| | A1 | C ₁₁ | C ₁₂ | C ₁₃ | C ₁₄ |
| | A2 | C ₂₁ | C ₂₂ | C ₂₃ | C ₂₄ |
| | A3 | C ₃₁ | C ₃₂ | C ₃₃ | C ₃₄ |
| | A4 | C ₄₁ | C ₄₂ | C ₄₃ | C ₄₄ |
| 1 | A5 | C ₅₁ | C ₅₂ | C ₅₃ | C ₅₄ |
| | A6 | C ₆₁ | C ₆₂ | C ₆₃ | C ₆₄ |
| | A7 | C ₇₁ | C ₇₂ | C ₇₃ | C ₇₄ |
| | A8 | C ₈₁ | C ₈₂ | C ₈₃ | C ₈₄ |
| | A9 | C ₉₁ | C ₉₂ | C ₉₃ | C ₉₄ |
| Pesos | - | | | | |
| (δ) | | | | | |
| W | | | | | |
| (Normalizados) | | | | | |

Fonte: a Autora, 2015.

Também na Tabela 3 é possível identificar os fatores que foram atribuídos para Peso, determinados pelo Tomador de Decisão.

Os valores da variação δ , são calculados pela máxima diferença entre os elementos da coluna (maior valor menos o menor valor), e o valor W que é o peso Normalizado, calculado de acordo com a Equação 1.

$$W_1 = \frac{w_1}{(w_1 + w_2 + \dots + w_n)} \quad (1)$$

Passo 4: Cálculo dos índices de concordância

A Matriz de Concordância considera a análise dos critérios comparando a alternativa *a* (fracamente) preferível à *b*.

Para cada um dos elementos da Matriz de Concordância deve-se fazer uma relação de superação. Para a superação deve-se somar o fator normalizado, conforme a Equação 2

$$Clk = \sum_{j: a \succ j} w_j \quad (2)$$

Portanto, se o elemento da linha l supera o elemento da linha k , deve-se somar o valor da normalizada. Isso se repete para cada uma das colunas.

Para todos os elementos da Matriz de Concordância, o mesmo método é aplicado.

Passo 5: Cálculo dos índices de discordância

A Matriz de Discordância ocorre quando não há critérios em que a intensidade da preferência da alternativa b em relação à a ultrapasse um limite inaceitável.

Para cada um dos elementos da Matriz de Discordância deve-se calcular a máxima diferença elemento a elemento das avaliações A_{ij} , sendo da linha A_j menos a avaliação da linha A_i , dividindo o valor por δ . Portanto, com a aplicação do método, obtêm-se então para o elemento C_{ij} da Matriz de concordância a Equação 3.

$$Dlk = \max_{\text{positivo}} \frac{[A_{2j} - A_{1j}]}{\delta} \quad (3)$$

Para todos os elementos da Matriz de Discordância, o mesmo método é aplicado.

Passo 6: Cálculo dos Testes de Dominância

Com o propósito de identificar as Dominâncias entre os termos, é necessário calcular parâmetros para comparação chamados de limiares:

- p é o limiar de preferência e se define como o valor maior ou igual à média das concordâncias;
- q é o limiar de indiferença e se define como o valor menor ou igual à média das discordâncias.

Para calcular o limiar de preferência p da matriz de Concordância deve-se encontrar o valor próximo maior ou igual à média \bar{p} dos termos da matriz.

O mesmo acontece para o limiar de indiferença q que é determinado com o valor imediatamente menor da média \bar{q} dos termos da matriz de Discordância.

Passo 7: Determinação da Matriz de Superação

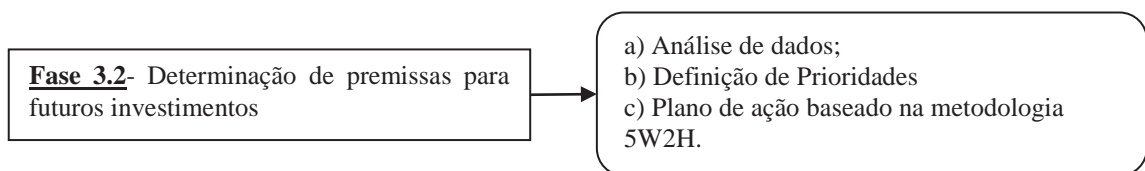
Ao se comparar as tabelas de Concordância e Discordância utilizando os limiares de comparação determinados no Passo 6, é possível determinar as preferências entre as alternativas em método booleano (0 ou 1). Esta lista também é denominada como *ranking* ou priorização de alternativas. Deve-se ordená-las de acordo com o maior número de dominâncias por linha e o menor número de dominâncias por coluna. Assim, fica em primeiro lugar a que domina as demais e nenhuma a domina.

Analisando as dominâncias por linha e por coluna é possível identificar quais alternativas mais aparecem em cada análise.

Fase 3.2: Determinação de premissas para futuros investimentos

Nesta fase foram analisadas as informações das etapas anteriores, as quais foram ranqueadas de acordo com a análise de critérios de circunstâncias perigosas, prioridade para solução e horizonte de crescimento (Matriz GUT), para que sejam identificadas intervenções prioritárias nas redes de distribuição. A proposta metodológica utilizada para desenvolvimento desta etapa é apresentada na Figura 17.

Figura 17: Estrutura do arranjo de informações utilizada para proposta de ações de melhorias



Fonte: a Autora, 2015.

A fim de auxiliar na implementação da proposta será utilizada a o método 5W2H, que é uma técnica de auxílio na solução de problemas, para realização de atividades com efeitos corretivos e preventivos, e na elaboração de planos de ação.

O método 5W2H recebeu o nome em referência à primeira letra das palavras em inglês, e permite assegurar que as informações básicas e fundamentais sobre o assunto sejam claramente definidas, ou seja, funciona como uma lista de verificação.

A metodologia consiste em responder as questões como as abaixo descritas, elaboradas com base nos procedimentos adotados pela concessionária de energia RGE, onde o estudo foi realizado. Posterior, cada uma das questões tem atividades propostas no Quadro 8.

Quadro 8: Resumo das atividades alvo de análise desta Fase

| | |
|--|--|
| <p>What (O que deve ser feito)</p> | Devem ser feitas poda na vegetação? |
| | Deve ser feita inspeção da rede (identificação de pontos quentes, emendas defeituosas, e troca de isoladores)? |
| | Devem ser instalados Para-raios no circuito? |
| | Providenciar instalação de chaves para aumentar as possibilidades de manobra e minimização da área de defeito? |
| | Devem ser recalculadas as proteções dos circuitos? |
| | Devem ser instalados equipamentos Religadores de Tensão? |
| | Devem ser instalados equipamentos Reguladores de Tensão? |
| | Providenciar manutenção de rede (troca de postes)? |
| | Providenciar melhorias na rede (troca de condutores e/ou instalação de novos transformadores)? |
| | Providenciar construção de novos alimentadores para dividir o circuito? |
| | Providenciar construção de novas subestações? |
| <p>Who (Quem deve fazer)</p> | Engenharia. |
| | Fiscais de Rede. |
| | Equipes emergenciais. |
| | Equipes de obra. |
| <p>When (Quando deve ser feito)</p> | Providência imediata. |
| | Providência a curto prazo. |
| | Providência a médio prazo |
| | Providência a longo prazo. |
| | Não há prioridade. |
| <p>Where (Onde)</p> | Na área urbana do circuito. |
| | Na área rural do circuito. |
| | Entre pontos específicos do circuito. |
| | Em todo o circuito. |
| <p>Why (Por que deve ser feito)</p> | Compromete o DEC do conjunto. |
| | Elevam Compensações pagas. |
| | Possuem número elevado de clientes no circuito. |
| | Há um número elevado de ocorrências (defeitos) no circuito. |
| | Há problemas de qualidade de fornecimento de energia aos consumidores do circuito. |

| | |
|--|---|
| How (Como deve ser feito) | Ações operacionais (manobras de equipamentos). |
| | Ações planejadas (obras). |
| How Much (Quanto irá custar) | Elaborar anteprojeto para definir os investimentos necessários para a ação. |

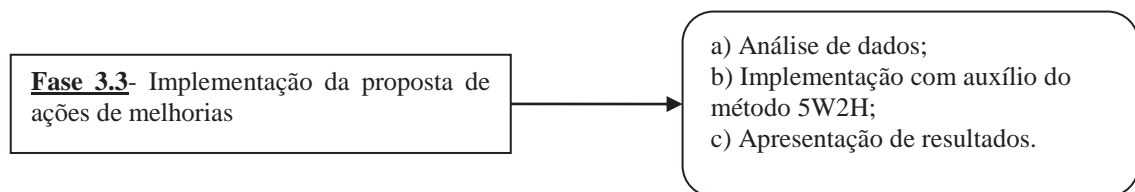
Fonte: a Autora, 2015.

Fase 3.3: Implementação da proposta de ações de melhorias.

A fim de implementar a proposta de ações estruturadas de melhoria na construção de obras de redes de distribuição de energia elétrica, foram realizadas as atividades apresentadas no arranjo da Figura 18

Nesta fase, foram analisadas as informações das etapas anteriores, para servirem de base para a proposta de ações na empresa prestadora de serviços em estudo com o auxílio da método 5W2H.

Figura 18: Estrutura do arranjo de informações utilizada na implementação da proposta de ações de melhorias.



Fonte: a Autora, 2015.

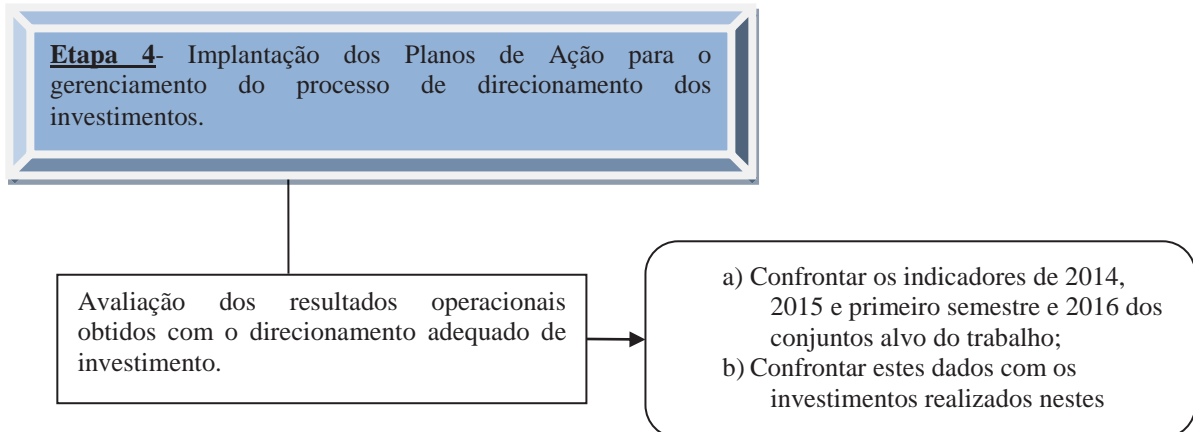
Assim, foi possível identificar o circuito prioritário a ser trabalhado, bem como as intervenções que trariam resultados imediatos ao desempenho dos mesmos, de modo a direcionar de forma otimizada os investimentos na rede de distribuição. Os resultados são apresentados no Capítulo 4.

Etapa 4: Implantação dos Planos de Ação para o gerenciamento do processo de direcionamento dos investimentos.

Nesta fase foram analisados os resultados obtidos com o direcionamento otimizado dos investimentos, trazendo os valores atualizados de DEC, Compensações e Ocorrências do circuito alvo deste trabalho.

A proposta metodológica para desenvolvimento desta etapa é apresentada na Figura 19.

Figura 19: Estrutura metodológica para a análise dos resultados



Fonte: a Autora, 2015.

Para o planejamento das atividades de manutenção nas redes de distribuição de energia elétrica das concessionárias brasileiras, o foco principal é satisfazer os requisitos de confiabilidade, atendendo os níveis de qualidade de suprimento, mesmo com limitações orçamentárias. Este planejamento deve garantir o desempenho do sistema, apresentando e hierarquizando alternativas viáveis ao tomador de decisão, levando em consideração aspectos como:

- Seleção de cenários de investimento otimizados e que atendam também situações futuras, considerando o crescimento do mercado;
- A análise da estrutura dos circuitos em toda sua extensão, avaliando pontos específicos para as ações de manutenção;
- Escolha de tecnologias e ações exequíveis.

Levando em conta os aspectos apresentados acima, este trabalho apresenta a aplicação de uma metodologia multicritério na gestão de ações de manutenção e melhoria em redes de distribuição de energia elétrica. O método utilizado mensura a relevância de cada alternativa possível para um determinado circuito, buscando melhorar indicadores de desempenho do circuito, tais como:

- Compensações pagas aos clientes devido ao volume de faltas de energia;
- Número de horas que os clientes permaneceram sem energia elétrica acumulados no ano;

- Número de eventos de falta de energia registrados no período.

Na Fase 3.3, onde intervenções que trariam resultados imediatos ao desempenho dos circuitos foram identificadas e aplicadas, de modo a direcionar de forma otimizada os investimentos na rede de distribuição. Os resultados são apresentados no Capítulo 4.

A fim de avaliar os resultados obtidos com o direcionamento de investimento, foram confrontadas as informações dos indicadores operacionais dos anos de 2014, 2015 e do primeiro semestre de 2016, além dos valores investidos nos conjuntos alvo deste trabalho.

4. RESULTADOS

RESTRITO

5. CONCLUSÕES

O presente estudo avaliou, segundo múltiplos critérios, diferentes alternativas de intervenção na rede de distribuição de energia elétrica, dadas as diversas dimensões que estas ações podem impactar, especialmente em termos financeiros.

A questão que foi levantada para o início da pesquisa questionava uma maneira para sistematizar a tomada de decisão no direcionamento de investimentos em uma concessionária de energia elétrica. Como propósito, o estudo de um procedimento para definição de Planos de Ação para o gerenciamento do processo de execução das obras de manutenção e melhoria nas redes de distribuição de energia elétrica.

A expansão da matriz elétrica mundial vem considerando, majoritariamente, aspectos de aumento de consumo. No entanto, a questão técnica relacionada em direcionar de forma otimizada recursos para manutenções e melhoria vem ganhando importância dada a crescente preocupação com os indicadores operacionais das concessionárias e as pesadas multas aplicadas quando das violações destes.

Desta forma, a problemática de que mesmo investimentos menores, como podas, tornam-se relevantes para que seja possível estabelecer uma discussão sobre quais ações devem ser priorizadas considerando uma diversidade maior critérios.

5.1 Conclusões da Pesquisa

Com relação ao primeiro objetivo específico proposto, a pesquisa descrita neste trabalho iniciou com a caracterização do então processo de direcionamento de investimentos, mostrando que as obras de manutenção e melhoria executadas no ano de 2014 não foi expressivo. Frente a esse número de obras, os indicadores operacionais no circuito resultaram em 753 ocorrências e cerca de R\$ 57.000,00 pagos em compensação direta aos consumidores.

Num segundo momento, para o segundo objetivo específico proposto, o diagnóstico demonstrou as causas dos 753 eventos que resultaram em faltas de energia, destacando que as causas mais frequentes estavam relacionadas à vegetação e a queda de postes em função do vento.

Com base nestes dados, foi possível desenvolver a proposta do terceiro objetivo específico, que se propunha a avaliar um método de decisão para o tratamento das

informações, adotando o método ELECTRE II, com interferências na Matriz GUT, para ranquear ações e direcionar atividades.

O resultado obtido com a implantação dos Planos de Ação, proposto no quarto objetivo específico, se mostrou positivo, em função dos percentuais significativos de redução tanto no número de ocorrências quanto do indicador DEC e das compensações pagas.

A abordagem mostra que o uso do Método Multicritério ELECTRE II pode tornar o trabalho relevante para outras concessionárias de distribuição de energia elétrica do país, pois o procedimento de análise desenvolvida pode tratar dados provenientes de qualquer conjunto elétrico e considerar a especificidade de critérios adotados por cada concessionária.

O trabalho trouxe um exemplo prático no qual o direcionamento de investimento adequado definiu qual intervenção (alternativa) um determinado trecho de circuito necessitava para melhorar seus indicadores operacionais, além da aplicação e avaliação de resultado prático.

Para tanto, iniciou-se com a apresentação da modelagem do método ELECTRE II, buscando responder à questão que foi levantada para o início da pesquisa, que questionava uma maneira para sistematizar a tomada de decisão no direcionamento de investimentos em uma concessionária de energia elétrica com retornos em qualidade. Como propósito, o estudo de um procedimento para definição de Planos de Ação para o gerenciamento do processo de execução das obras de manutenção e melhoria nas redes de distribuição de energia elétrica.

O estudo iniciou com a análise das informações do ano de 2014, referente às obras executadas pela concessionária, foi possível identificar que o perfil de execução de obras e o número de equipes por base responsáveis por esta demanda não direcionava obras em número suficiente para atendimento a manutenções planejadas e melhorias nos circuitos.

Até então, o orçamento para execução de obras era limitado à necessidade de obras de atendimento ao cliente, não sendo possível direcionar recursos necessários para o desenvolvimento de ações de manutenção programada e melhoria na rede.

Segundo os gestores consultados nesta pesquisa, as poucas obras de manutenção e melhoria que foram executadas, não tiveram motivadores técnicos e sim motivadores externos. Parte, vindos das análises parciais das lideranças regionais ou de demandas específicas, vindas do apelo de comunidades. Parte, de estatísticas de desempenho ultrapassadas, baseadas apenas no número de desarmes de equipamentos.

Este direcionamento comprovadamente não assegurou nem a correta manutenção, quanto menos a melhoria efetiva da rede com reflexo nos indicadores operacionais de qualidade do serviço e do produto, o que pôde ser evidenciados nos 753 defeitos no Alimentador A11 ocorridos no ano de 2014.

Porém, quando se trata de direcionamento de investimentos, as Gerências Regionais devem ter autonomia para propor projetos e para decidir como aplicar, em suas áreas operacionais, partes do orçamento corporativo disponível. Entretanto, tal modelo de distribuição orçamentária por área, era baseada em montantes históricos, não assegurando a alocação eficiente dos recursos, pois não considerava os impactos de cada projeto no resultado operacional corporativo.

Esta autonomia precisava de embasamento técnico para direcionamento. Este direcionamento, utilizando métodos de priorização, como a utilizada neste trabalho (que trouxe a metodologia multicritério ELECTRE II como solução matemática para indicação de ações, baseadas em critérios operacionais) trouxeram melhorias perceptíveis nos indicadores operacionais do circuito alvo do trabalho.

Uma importante vantagem das metodologias para priorização de projetos está na otimização do portfólio em nível sistêmico. Neste, os benefícios são obtidos de forma que os recursos sejam alocados às unidades que proponham projetos com maior potencial de valor para o portfólio da distribuidora. Um modelo de análise multicritério, focado na maximização do valor do portfólio, permite reduzir a subjetividade nas decisões e alinhar os critérios decisórios locais aos objetivos globais da empresa.

O método ELECTRE II procura selecionar uma alternativa A_i que seja considerada a mais atrativa de acordo com a categorização estabelecida pelo Tomador de Decisão. Neste caso, a expertise técnica deste profissional é fundamental para a aplicação do método. O único momento em que o Tomador de Decisão alimenta a planilha para determinação das ações é na Matriz de Avaliação. O restante dos passos do método foi calculado matematicamente

A atribuição de pesos significa que o critério com maior valor é considerado mais importante que os demais, pois é considerado crítico pelo Tomador de Decisão, baseado no direcionamento que cada concessionária dá para as opções disponíveis (tornando o procedimento aplicável às demais empresas do ramo).

Cabe destacar que, no desenvolvimento deste estudo, foi possível perceber a complexidade envolvida na elaboração da formulação matemática necessária para aplicar

técnicas de análise multicritério com foco no problema de minimização de índices de confiabilidade de alimentadores.

Quanto à disponibilidade orçamentária para atividades desta natureza, a empresa estimulou trabalhos neste sentido, a partir do final de 2014, para direcionar o orçamento disponível para o período. Isto é visível pelo considerável aumento no número de projetos entre 2014 e 2015, o que demonstra o interesse em investir em obras de melhoria e manutenção, e não somente em obras de atendimento ao cliente (reguladas).

Analisando os resultados do método, foi possível observar que as alternativas de Manutenção preventiva e Troca de postes tiveram dominância sobre as demais pois apareceram cinco vezes na análise, enquanto que a alternativa Poda na Vegetação próxima à rede de distribuição e Obra de Melhoria na rede (troca de condutores e/ou instalação de novos transformadores) apareceram 4 vezes, porém, também foram consideradas relevantes para o circuito.

Estas análises buscavam demonstrar como verdadeira a hipótese de que mesmo as obras de menor investimento, desde que feitas no ponto correto, podem trazer resultados expressivos para os indicadores da concessionária, o que foi confirmado.

Deve-se ressaltar ainda que tal análise não é estática no tempo uma vez que outros critérios podem alterar substancialmente todas as dimensões analisadas. O incentivo financeiro disponível no orçamento da distribuidora pode, por exemplo, funcionar como inibidor de alternativas (ações). Já o desenvolvimento tecnológico pode interferir nas preferências do decisor e conseqüentemente no ordenamento das atividades no longo prazo. Este ponto mostra a flexibilidade para aplicação de métodos como o ELECTRE II para outras empresas do ramo.

Esta proposta é válida já que as distribuidoras precisam planejar os investimentos previstos no Fator X durante os cinco anos do Ciclo de Revisão Tarifária da ANEEL. Como podem haver diferenças significativas para cada um dos períodos do Ciclo, o procedimento é aplicável, já que critérios de valor podem ser considerados para as ponderações iniciais necessárias para aplicação do método.

Finalizando, o maior beneficiado com a melhoria dos indicadores é o cliente, que costuma sofrer as conseqüências das faltas de energia não programadas, e é a razão de existir de qualquer empresa do ramo de distribuição de energia elétrica.

5.2 Recomendações para trabalhos futuros

A aplicação de Métodos Multicritério para tomada de decisão focado na maximização do valor do portfólio de empresas de distribuição, permite minimizar a subjetividade nas decisões e alinhar os critérios decisórios locais aos objetivos globais das empresas.

Como alvo de pesquisa para trabalhos futuros a este, fica a indicação para a aplicação da metodologia proposta em um volume maior de dados, considerando, por exemplo, todos os circuitos de uma empresa, porém, com vistas a aplicação de metodologias de otimização.

Como segunda sugestão para futuras pesquisas, o desenvolvimento de um procedimento que automaticamente busque nos sistemas utilizados para armazenamento de dados de desempenho, as informações iniciais para a metodologia. Posterior, com poucas intervenções de cenários e critérios, rapidamente alternativas sejam ranqueadas para direcionar ações para os circuitos.

REFERÊNCIAS

- AFONSO, J. R. R. ARAÚJO, E. A. BIASOTO JÚNIOR, G. Fiscal space and public sector investments in infrastructure: a Brazilian case-study. 2005.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (BRASIL). **Atlas de energia elétrica do Brasil** / Agência Nacional de Energia Elétrica. Ed. Brasília: Aneel, 2008.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (BRASIL). **Resolução Normativa Nº. 24.** (2000).
- AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (BRASIL). **Resolução Normativa Nº. 414.** (2010).
- AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (BRASIL). **Resolução Normativa Nº. 505.** (2001).
- ARAÚJO, J. L. A questão do investimento no setor elétrico brasileiro: reforma e crise. Nova Economia| Belo Horizonte, 2001.
- ARMSTRONG, Mark; COWAN, Simon; VICKERS, John. Regulatory reform: economic analysis and British experience. MIT press, 1994.
- ASCHAUER, D. Is public expenditure productive? Journal of Monetary Economics, v. 23, p. 177-200, 1989.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT, **NBR ISO 9001:2000: Sistemas de gestão da qualidade – Requisitos.** Rio de Janeiro: 2000.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT, **NBR 5460: Sistemas elétricos de potência.** Rio de Janeiro: 1992.
- _____. **NBR 15688: Redes de distribuição aérea de energia elétrica com condutores nus.** Rio de Janeiro: 2009
- BANA E COSTA, C. Introdução geral às abordagens multicritério de apoio à tomada de decisão. Investigação Operacional, 1988.
- BANA E COSTA, C.; STEWART, T. J.; VANSNICK, J. Multicriteria decision analysis: some thoughts on the tutorial and discussion sessions of the ESIGMA meetings. European Journal of Operational Research, 1997.
- BELTON, V.; STEWART, T. J. Multiple criteria decision analysis: an integrated approach. Norwell: Kluwer Academic Publishers, 2001.
- BRASIL. ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica. “Resolução Normativa Nº 414, de 9 de setembro de 2010”.
- BROWN, R.E. & M. MARSHALL (2000). **Budget constrained planning to optimize power system reliability.** IEEE Transactions on Power Systems, v. 15, n. 2.
- BARRETO, G. A. **Estudo de viabilidade de um sistema de monitoramento de baixo custo para os sistemas de distribuição reticulados subterrâneos.** São Paulo, 2010.

CAMARGO, I. M. D. T. **Noções básicas de engenharia econômica: aplicações ao setor elétrico.** Brasília, Finatec, (1998).

CAMPOS, V. R. Modelo de Apoio a decisão multicritério para priorização de projetos em saneamento. 2011. Tese de Doutorado. Escola de Engenharia de São Carlos.

CPFL Energia. **Gestão Eletrônica de Documentos – Norma Técnica 2818.** (2015)

COSTA, H. G., Motta, S. S., GUTIERREZ, R. H. (2006). Avaliação da produção docente: abordagem multicritério pelo método ELECTRE II. ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO-ENEGEP, 26.

ELETRORBRAS. **História do Setor de Energia Elétrica no Brasil.** Disponível em <<http://www.memoria.eletrorbras.com.br/historia.asp>>

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA, EPE-. "Balanço Energético Nacional – Relatório Síntese ano base 2015." (2016).

FRISCHTAK, C. Infraestrutura e desenvolvimento no Brasil. In: FERREIRA, P.C.; GIAMBIAGI, F.; PESSÔA, S.; VELOSO, F. (Org.). Desenvolvimento Econômico: uma perspectiva brasileira. Rio de Janeiro: Elsevier, 2013.

FRISCHTAK, C. R.O Investimento em Infra-Estrutura no Brasil: Histórico Recente e Perspectivas. Pesquisa e Planejamento Econômico, v. 38, n. 2, p. 307-348, 2008.

FERREIRA, G. D. ; Cardoso Jr., G. ; Morais, A. P. ; Mariotto, L. ; Müller, F. M. . **Seleção e Alocação Otimizada de Dispositivos de Proteção Contra Sobrecorrentes em Sistemas Elétricos de Distribuição.** 2008. (Apresentação de Trabalho/Congresso).

FERREIRA, T. T.;AZZONI, C. R. Arranjos institucionais e investimento em infraestrutura no Brasil. Revista do BNDES, n. 35, p. 37-86, jun. 2010.

GIL, A. C. **Métodos e técnicas de pesquisa social.** . 5.ed. São Paulo: Atlas, 1999.

GOMES, A., C. D. ABARCA, et al. (2002). **O Setor Elétrico. BNDES 50 Anos: Histórias Setoriais.** São Paulo, 2002: Disponível em: < http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/export/sites/default/bndes_pt/Galerias/Arquivos/conhecimento/livro_setorial/setorial14.pdf >.

GOMES, H. J. **Estudos de viabilidade das redes de distribuição compactas no sistema elétrico da COELCE.** Goiânia 2010: Disponível em: < http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/export/sites/default/bndes_pt/Galerias/Arquivos/conhecimento/livro_setorial/setorial14.pdf >.

GUTH, T. F. **Avaliação da implantação de sistemas de recomposição automática em redes de distribuição de energia elétrica.** (Tese de Mestrado, 2013, Universidade Federal de Sergipe).

GIULIANO, G. Multi Criteria Method for Transportation Investment Planning. Transpostation Research, Elsevier, 1985.

HASSIN, E. S. **Continuidade dos serviços de distribuição de energia elétrica: análise regulatória, correlação dos indicadores e metodologia de compensação ao consumidor.** (Tese de Doutorado, 2003, Universidade Federal de Itajubá).

- HJALMARSSON, L. **From Club-regulation to Market Competition in the Scandinavian Electricity Supply Industry**. In: GILBERT, R. J.; KAHN, E. P. International comparisons of electricity regulation. New York: Cambridge University Press, 1996. p. 126-178.
- KARDEC, A.; NASCIF, J. *Manutenção-Função Estratégica*. Editora Qualitymark (2001).
- LEMES, A. A. Reform of the electrical sector in Brazil, Argentina and Mexico: contrasts and perspectives in debate. *Revista de Sociologia e Política*, v. 17, n. 33, p. 97-121, 2009.
- MONTES, Gabriel C.; REIS, Artur F. Investimento público em infraestrutura no período pós-privatizações. *Economia e Sociedade*, v. 20, n. 1, p. 167-194, 2011.
- MOTA, C. M. D. M. ALMEIDA, A. T. D. (2007). Método multicritério ELECTRE IV-H para priorização de atividades em projetos. *Pesquisa Operacional*, 27(2), 247-269.
- NIST Framework and Report the Smart Grid Interoperability Standarts, Realese 1.0. EUA, 2010, Disponível em: <http://www.nist.gov/public_affairs/>. Acesso em: 27 de junho de 2015.
- PAGLIARDI, Odail, José Celso SOBREIRO DIAS. *Evolução Do Setor Elétrico: Uma Breve Reflexão*. Interciência e Sociedade. (2011).
- REIS, Lineu Belico dos; SILVEIRA, Semida. **Energia Elétrica para o Desenvolvimento Sustentável**. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2000.
- RGE – Rio Grande Energia S.A.. Disponível em: <<http://www.rge-rs.com.br>>. Acesso em: 17 de maio de 2015.
- ROY, B. *Multicriteria methodology for decision aiding*. Netherland: Kluwer academic publishers, 1996.
- ROY, B.; HUGONNARD, J. C. Ranking of suburban line extension projects on the ParisMetro system by a multicriteria method. *Transportation Research* , v. 16, n. 4, p. 301- 312, 1982.
- SILVA, E. L. da; MENEZES, E.M. **Metodologia da pesquisa e elaboração de dissertação**. 4. ed. rev. atual. Florianópolis: UFSC, 2005. 138p.
- _____. **CCM – Construção e Manutenção de Redes de Distribuição Aéreas**. Especificação Técnica, Manual, versão 1.12, 2010.
- SCHWARTSMAN, H. O apagar de uma era ou o Iluminismo de FHC. *Pensata*, Folha Online, 17/05/2001.
- TOLMASQUIM, M. T. Perspectivas e planejamento do setor energético no Brasil. *Estudos Avançados*, v. 26 (24), 2012.
- TSOUKIÀS, A. From decision theory to decision aiding methodology. *European Journal of Operational Research*, v. 187, p. 138–161, 2008.
- VINCKE, P. Analysis of multicriteria decision aid in Europe. *European Journal of Operational Research*, v. 25, p. 160-168, 1986.
- VINCKE, P. *Multi Criteria Decision-Aid*. New York: John Wiley, 1992.
- VIZIOLI, T. R. *Infraestrutura energética e crescimento econômico: o caso brasileiro de 2000 a 2012*. 2014 UnB, Brasília, 2014.