



UNIVERSIDADE FEDERAL FLUMINENSE
ESCOLA DE ENGENHARIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA E DE
TELECOMUNICAÇÕES

BRUNO ALMEIDA DA SILVA

**Mobilização de equipes mais assertiva para
aumento da confiabilidade do indicador de
qualidade do fornecimento de energia aplicando
modelagem e multicritérios**

Niterói-RJ
Junho, 2024

BRUNO ALMEIDA DA SILVA

**Mobilização de equipes de assertiva para aumento
da confiabilidade do indicador de qualidade do
fornecimento de energia aplicando modelagem e
multicritérios**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa
de Pós-Graduação Engenharia Elétrica e de
Telecomunicações (PPGEET) da Universidade
Federal Fluminense como requisito parcial para a
obtenção do título de Mestre em Engenharia
Elétrica e de Telecomunicações.

Orientador: Prof. DSc Henrique de Oliveira Henriques

Niterói-RJ

Junho, 2024

BRUNO ALMEIDA DA SILVA

MOBILIZAÇÃO DE EQUIPES MAIS ASSERTIVA PARA AUMENTO DA
CONFIABILIDADE DO INDICADOR DE QUALIDADE DO FORNECIMENTO DE
ENERGIA

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós Graduação em Engenharia Elétrica e de Telecomunicações da Universidade Federal Fluminense como requisito parcial para a Obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Elétrica e de Telecomunicações.

Área de concentração: Sistemas de Energia Elétrica.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Henrique de Oliveira Henriques - Orientador
Universidade Federal Fluminense - UFF

Prof. Dr. Marcio Zamboti Fortes
Universidade Federal Fluminense - UFF

Prof. Dr. Renan Silva Maciel
Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR

Niterói
Junho/2024

Dedicatória

Dedico este trabalho a minha esposa que sempre me apoiou e deu suporte em todos os momentos da minha jornada acadêmica.

Agradecimentos

Primeiro a Deus, por ser o meu refúgio e fortaleza e por estar presente nas dificuldades nas glórias, nos dando a sabedoria para nos incentivar, perseverança a superar as adversidades e resiliência para realização de mais uma conquista acadêmica.

Aos meus pais, Maria da Glória e Gilson por todo aconselhamento, dedicação, esforço, garra e todo amor para que meus irmãos e eu pudéssemos alcançar nossos objetivos.

À minha esposa Michele e meus filhos Breno e Lavínia, pela compreensão, amor, carinho, incentivo, paciência, companheirismo, por entender meus momentos de estresse e ansiedade nesse período de Mestrado e por estar sempre torcendo por mim.

Aos meus amigos de longa data que tiveram paciência e compreensão, e que os momentos em que estive ausente foram por um objetivo maior e que hoje estou conseguindo realizar.

Aos colegas de trabalho, em especial, Gustavo Vilarinho, e Leonardo Bersot por todo apoio, disponibilidade e paciência em ajudar com a parte de desenvolvimento computacional, pois sem a ajuda deles com certeza minha luta teria sido bem mais árdua.

Ao professor Henrique Henriques por ser um exemplo de profissional, uma grande referência técnica, sempre presente no auxílio contínuo, e por ter me dado todo o suporte necessário para realização desse trabalho, a paciência e a sabedoria agregada a sua experiência que fizeram acreditar que eu conseguiria realizar essa pesquisa, pois sem a ajuda dele tenho certeza de que esse trabalho não seria viável.

A Universidade Federal Fluminense – UFF, pela base acadêmica e pela oportunidade de aprendizado e crescimento profissional em uma instituição de grande renome de referência acadêmica.

“A gente tudo pode naquele que nos fortalece, basta acreditar que a vitória é certa!”

Maria da Glória

Resumo

A qualidade do fornecimento de energia é crucial para o funcionamento da sociedade moderna. Para garantir essa qualidade, governos em todo o mundo criaram órgãos reguladores que monitoram e fiscalizam as distribuidoras de energia. No Brasil, essa função é exercida pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL, 24). As distribuidoras, sejam estatais ou privadas, têm a responsabilidade de fornecer energia de forma confiável e dentro dos padrões de qualidade estabelecidos. Para alcançar esse objetivo, elas adotam medidas de manutenção preventiva e corretiva, buscando mitigar falhas e interrupções no fornecimento. Este trabalho propõe um método para otimizar a composição das equipes de manutenção em redes elétricas. O objetivo é aumentar a confiabilidade do fornecimento de energia, a satisfação dos clientes e a lucratividade da empresa. O método utiliza modelagens matemáticas e analíticas para analisar dados históricos da rede de distribuição. Através da análise de diferentes cenários, o estudo identifica a composição ideal das equipes de manutenção, considerando indicadores como a frequência de interrupções e o custo das operações. O estudo de caso apresentado demonstra o potencial da otimização das equipes de manutenção para aprimorar o fornecimento de energia e gerar benefícios para todos os envolvidos: distribuidoras, clientes e sociedade em geral. A implementação do método proposto pode contribuir para a construção de um sistema elétrico mais confiável, eficiente e sustentável.

Palavras-chave: Qualidade de Energia, Manutenção Preventiva, Otimização de Equipes, Distribuição de Energia, Confiabilidade, Satisfação do Cliente, Lucratividade.

Abstract

The quality of power supply is crucial for the functioning of modern society. To ensure this quality, governments around the world have created regulatory bodies that monitor and supervise power distributors. In Brazil, this function is performed by the Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL). Distributors, whether state-owned or private, have the responsibility of providing energy reliably and within established quality standards. To achieve this goal, they adopt preventive and corrective maintenance measures, seeking to mitigate failures and interruptions in the supply. This study proposes a method to optimize the composition of maintenance teams in electricity grids. The objective is to increase the reliability of power supply, customer satisfaction, and company profitability. The method uses mathematical and analytical modeling to analyze historical data from the distribution network. Through the analysis of different scenarios, the study identifies the ideal composition of maintenance teams, considering indicators such as the frequency of interruptions and the cost of operations. The presented case study demonstrates the potential of optimizing maintenance teams to improve power supply and generate benefits for all involved: distributors, customers, and society in general. The implementation of the proposed method can contribute to the construction of a more reliable, efficient, and sustainable electricity system.

Keywords: Power Quality, Preventive Maintenance, Team Optimization, Power Distribution, Reliability, Customer Satisfaction, Profitability

Lista de tabelas

Tabela 1 - Grupo-Causas Interrupções. Fonte ANEEL (2021).	187
Tabela 2 - Classificação dos Bens. Fonte: MCSE ,2022.	2121
Tabela 3 - Importância do Critério. Autoria Própria.	355
Tabela 4 - Indicadores FEC Estudo. Autoria Própria.	40
Tabela 5 - Dados Degradação. Autoria Própria.....	4141
Tabela 6 - Dados Meio Ambiente. Autoria Própria.....	41
Tabela 7 - Teste Coeficiente R2 das Retas. Autoria Própria.	4444
Tabela 8 - Coeficientes Reta Degradação. Autoria Própria.....	444
Tabela 9 - Coeficientes Reta Meio Ambiente. Autoria Própria.....	446
Tabela 10 - Simulação Projeção FEC. Autoria Própria.	459
Tabela 11 - Projeção FEC Meio Ambiente. Autoria Própria.....	499
Tabela 12 - Projeção FEC Degradação. Autoria Própria.....	499
Tabela 13 - Projeção Final. Autoria Própria.	499
Tabela 14 - Cenários de Mobilização. Autoria Própria.	499
Tabela 15 - Matriz Prioridade Critérios. Autoria Própria.....	50

Lista de figuras

Figura 1 - Arranjo de Rede Radial Simples. Autoria Própria.	122
Figura 2 - Exemplo Sistema Reticulado. Acervo do Autor.	133
Figura 3 - Indicadores de Qualidade Brasil. Fonte ANEEL (2024).	155
Figura 4 - Exemplo de Indicador x Causa. Própria Autoria.	199
Figura 5 - Atuação Equipe Linha Viva. Autoria Própria.	3030
Figura 6 - Impacto %FEC. Fonte: Gois, p. 34, 2022.	311
Figura 7 - Atuação de equipe de Poda. Autoria Própria.	311
Figura 8 - Estrutura AHP. Autoria Própria.	355
Figura 9 - Análise Indicador FEC. Autoria Própria.	400
Figura 10 - Simulação Reta Meio Ambiente. Autoria Própria.	466
Figura 11 - Simulação Reta Degradação. Autoria Própria.	466
Figura 12 - Exemplo de Priorização AHP. Autoria Própria.	488
Figura 13 - Ranking e Consistência AHP. Autoria Própria.	500
Figura 14 - Matriz de Prioridades das Alternativas. Autoria Própria.	511
Figura 15 - Ranking Final AHP. Autoria Própria.	511
Figura 16 - Interface de cadastro do Visual PROMETHEE. Autoria Própria.	522
Figura 17 - Gráfico de Ranking Visual PROMETHEE. Autoria Própria.	533
Figura 18 - Tabela de Ranking Visual PROMETHEE. Autoria Própria.	533

Lista de equações

Equação 1 - Equações Indicadores de Qualidade. Autoria Própria.	177
Equação 2 - Equação Genérica Regressão Multilinear. Autoria Própria.....	333
Equação 3 - Consistência AHP. Autoria Própria.	366
Equação 4 - Gradualidade PROMETHEE. Autoria Própria.....	377
Equação 5 - Equação FEC Projetado. Autoria Própria.	422
Equação 6 - Projeção FEC Degradação. Autoria Própria.	444
Equação 7 - Projeção FEC Meio Ambiente. Autoria Própria.	444
Equação 8 - Média Absoluta Residual Reta Degradação. Própria Autoria.	455
Equação 9 - Média Absoluta Residual Reta Meio Ambiente. Própria Autoria.	455

Sumário

1 Introdução	5
1.1 Objetivos	7
1.2 Motivação e justificativa	7
1.3 Sequência metodológica	8
1.4 Estrutura da dissertação	8
2 Fundamentos dos Sistemas de Distribuição	9
2.1 Sistema Elétrico de Distribuição.....	9
2.2 Qualidade de Energia Elétrica	133
2.2.1 Indicadores de Qualidade.....	155
2.3 Base de Remuneração Regulatória – BRR	199
2.3.1 Investimentos – CAPEX e OPEX.....	211
2.4 Manutenção em Redes de Distribuição Aéreas	233
2.4.1 Degradação	299
2.4.2 Poda de Árvore	300
3 Fundamentos dos Processos Utilizados no Dimensionamento de Turmas.....	322
3.1 Regressão Multilinear	322
3.2 Análise Multicritérios	333
3.2.1 Analytic Hierarchy Process – AHP	344
3.2.2 PROMETHEE	366
3.3 Linguagem de Programação	377
3.3.1 Python	377
3.3.2 Linguagem R.....	388
4 Métodos e Ferramentas de Pesquisa	388
4.1 Objetivo do estudo	388
4.2 Procedimentos de Coleta de Dados	399

4.2.1 Frequência de Desarmes	399
4.2.2 Manutenção e Custos Operacionais.....	400
4.3 Procedimentos de Análise de Dados.....	411
4.4 Método do Cálculo da Regressão Multilinear	422
4.5 Ferramentas Computacional	422
4.6 Equacionamento e Simulação da Regressão Multilinear.....	433
4.7 Elaboração dos Cenários.....	477
4.8 Método de Multicritérios	488
5 Análise dos Resultados	488
5.1 Cenários de Mobilização	499
5.2 Análise AHP	500
5.3 Análise PROMETHEE	511
5.4 Resultado	533
6 Conclusão	544
Referências bibliográficas	555
Apêndices A.....	599
Apêndices B.....	666

1 Introdução

No Brasil, o sistema elétrico regulado e fiscalizado pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), envolvendo inclusive a questão da qualidade do fornecimento de energia, no qual, nos últimos tempos vem sendo pauta pela necessidade de melhorias exigidos pela população. Dessa forma, as distribuidoras de energia elétrica têm se especializado e focado a cada dia em técnicas de manutenção preditiva e preventiva, com a necessidade de assertividade dos recursos de equipes e tecnologias aplicados, visando a redução de falhas em seu sistema de distribuição. A regulamentação dos indicadores de qualidade de energia, acompanhada pela ANEEL, segue a documentação normativa descrita no módulo 8 dos Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional (PRODIST).

No âmbito de normatização de Qualidade de Energia Elétrica - QEE, temos uma tendência natural e constante em rediscutir as normas nacionais que são por muitas vezes bem específicas. As iniciativas, nesse sentido, de forma histórica também vêm dos órgãos que vem sendo meio de interface e suportado a maior parte da documentação normativa como pilar dos aspectos de qualidade, como o Institute of electrical and Eletronics Engineers - IEEE, nos Estados Unidos e o Conselho Internacional de Grandes Sistemas Elétricos – CIGRÉ, na Europa. A convergência das melhorias no Brasil está em discussão através das proposições no decreto 12.068/2024 que prevê as diretrizes de renovação de concessões de distribuição, que serão regidos pela Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL. No Brasil, temos lacunas em algumas questões voltadas principalmente a questão da qualidade do fornecimento de energia, ou seja, nas normativas 1000, 956, estabelecidas pela agência regulamentadora não prevê todos os aspectos técnicos que correspondem as responsabilidades das distribuidoras, bem como, dos próprios usuários, que são os clientes nas suas respectivas unidades consumidoras. Como exemplo, um tema que está latente é o da geração distribuída, os próprios clientes geradores de energia, podem em muitas ocasiões, gerar distúrbios, poluições no sistema de distribuição de energia da concessionária, e isso é bem complexo e de difícil gestão para constatação e aplicações de regras e sanções para ambas as partes.

A cada período de revisão tarifária há a definição de metas que são pilares para uma concessão no que tange a qualidade do fornecimento de energia atrelados ao frequência

equivalente de interrupção os clientes (FEC) e duração equivalente aos clientes (DEC), e também envolvendo por grupos de subestações e alimentadores, denominados conjuntos elétricos, dos indicadores a serem mantidos ou alcançados, a fim de evitar multas por compensações financeiras, reclamações, insatisfação dos clientes e manter a concessão da área adquirida junto ao órgão regulador. Para se alcançar tais metas estipuladas, a distribuidora deve investir um capital no sistema de distribuição, para realizar serviços de recondutoramento de circuitos, trocar equipamentos de proteção, e para realizar manutenções preventivas, corretivas envolvendo a degradação da rede e seus componentes e as podas de árvores torna-se fundamental a assertividade da mão de obra dessas equipes que darão resultado para evitar as interrupções do sistema elétrico.

A manutenção do sistema elétrico é uma atividade imprescindível e necessária para que haja uma performance eficiente na distribuição de energia e que a Qualidade de Energia Elétrica (QEE) de uma concessionária esteja em níveis satisfatórios para seus clientes. Segundo (SILVA, SOUZA, FORTES, HENRIQUES, 2020), a QEE é mensurada através de parâmetros técnicos referente à energia elétrica. Para a qualidade do produto, temos a definição da terminologia e indicadores, onde se estabelece os limites ou valores de referência, medição e conformidades da tensão em regime permanente, bem como as perturbações em forma de onda de tensão para fins de tratativas ao sistema elétrico de distribuição. Na qualidade do fornecimento está atrelado diretamente aos indicadores de continuidade e dos tempos de atendimento definido por padrões e responsabilidades.

As exigências pela qualidade e entrega do produto da energia e evolução das normas visando o aumento da necessidade de melhoria dos indicadores de qualidade de serviço por parte das concessionárias de energia elétrica, cada vez mais os clientes devem ter menos impactos com as interrupções de energia, e quando há uma falha no sistema elétrico há uma necessidade para focar em ações no restabelecimento em tempos menores. Assim, as distribuidoras de energia elétrica têm se especializado e direcionado seus esforços a cada dia em técnicas de manutenção preditiva e preventiva, realizando estudos de mobilização de equipes próprias, visando o aumento do requinte e qualidade dos serviços e consequentemente a redução de ocorrências de falta de energia buscando também a satisfação dos clientes pelo bem essencial do serviço prestado a sociedade, bem como, mitigar violações e compensações financeiras elevadas, que despendem alguns milhões de reais ao longo de um ano gerando prejuízo financeiro a concessionária.

Mediante levantamento histórico de ocorrências e com a base de dados dos diagnósticos das causas das interrupções, esta dissertação procura realizar uma análise comparativa dos recursos de equipes a serem empregados pela distribuidora para melhorar a confiabilidade do indicador de continuidade ou manter dentro dos limites dos indicadores de confiabilidade, verificando qual o valor gasto pela distribuidora na tentativa de alcançar ou se manter nas metas estipuladas pela ANEEL para a tomada de decisão da melhor estratégia a ser concebida.

1.1 Objetivos

O presente estudo busca apresentar um método analítico para a mobilização assertiva de recursos de manutenção em redes de distribuição, com relação aos serviços executados em campo e o indicador de continuidade FEC, definido pela ANEEL. Além de viabilizar uma análise de mobilização de equipes para os indicadores de continuidade, a abrangência deste trabalho pode viabilizar resultados para se almejar Tempo Médio de Atendimento TMA, pode ser adotado para clusterizações específicas de regionais de uma concessionária, violações de prazos regulatórios de atendimento ao cliente, enfim, parâmetros semelhantes de análise e aplicação de cenários para melhor tomada de decisão para o objetivo traçado pela empresa.

1.2 Motivação e justificativa

A motivação para a realização deste estudo de dissertação de mestrado é oriunda da necessidade de avaliar os recursos disponíveis para a manutenção dos circuitos de média tensão no propósito de mobilizar de maneira mais assertiva as quantidades de equipes e os investimentos, a fim de alcançar o indicador de continuidade FEC escolhido pela empresa.

O planejamento é uma etapa fundamental para o funcionamento de qualquer companhia e para sua saúde financeira. Para as distribuidoras de energia elétrica, o desafio de administrar os recursos e a definição de quanto investir em melhorias tornam-se tarefas cada vez mais complicadas, onde a complexidade se dá em determinar a melhor viabilidade técnico-econômica na preservação e segurança dos seus ativos, visando a continuidade da concessão atrelada aos indicadores regulatórios.

Dessa maneira, a relevância desse trabalho é expor uma metodologia que possa auxiliar as concessionárias no momento de definição de recursos de manutenção, visando o capital aplicado e o indicador de continuidade FEC almejado.

1.3 Sequência metodológica

O trabalho foi estruturado com base na necessidade de mobilizar recursos de equipes de maneira mais assertiva, visando a redução do indicador FEC e a saúde financeira da empresa. Como etapas, analisou-se nos históricos de indicadores, as quantidades de reparos efetuados nas redes de média tensão e mobilização de equipes. Em seguida, aplicaram-se os métodos matemáticos de Regressão Multilinear para elaborar a projeção do indicador, bem como, os testes estatísticos para validar o equacionamento. Por fim, utilizaram-se métodos de multicritérios para apoiar na decisão da melhor mobilização de equipes.

1.4 Estrutura da dissertação

Esta dissertação é composta por seis capítulos, sendo que, no primeiro capítulo refere-se à introdução, onde são apresentados aspectos gerais e contextualização sobre o tema. Os demais capítulos estão dispostos da seguinte forma:

O Capítulo 2 relata a fundamentação teórica sobre o sistema de distribuição de energia elétrica, apresentando conceitos e métodos que serão aplicados no desenvolvimento do estudo.

O Capítulo 3 aborda sobre as modelagens matemáticas que serão aplicadas para desenvolver a equação da projeção do indicador de qualidade, bem como os conceitos de análises de multicritérios.

O Capítulo 4 apresenta como as informações bases para o desenvolvimento foram levantadas, bem como apresenta a modelagem matemática e computacional utilizadas para o desenvolvimento do trabalho.

O Capítulo 5 apresenta as análises de multicritérios utilizadas para definir qual seria o melhor cenário para a empresa, visando os aspectos financeiros e os objetivos da companhia.

Por fim, o Capítulo 6 finaliza a dissertação com as considerações finais e melhorias que possam ser feitas em trabalhos futuros.

2 Fundamentos dos Sistemas de Distribuição

No presente capítulo são apresentados os fundamentos mais relevantes e pertinentes à realização deste trabalho.

2.1 Sistema Elétrico de Distribuição

A Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), descreve que a distribuição é o segmento responsável por conectar e rebaixar as tensões do sistema de transmissão, a fim de fornecer energia elétrica aos consumidores finais, sob responsabilidade das concessionárias. Neste tema, existem diferentes formas nas quais são caracterizados os níveis de tensão para a distribuição de energia.

A Associação Brasileira de Distribuidores de Energia Elétrica (ABRADEE), descreve o sistema de distribuição de energia sendo aquele em que a rede de energia elétrica acaba se confundindo com a topografia das cidades, as ramificações ao longo de ruas e avenidas para realizar a conexão com o sistema elétrico. A composição do sistema de distribuição pode ser descrita por equipamentos diversos de medição, controle e por redes elétricas.

O sistema de distribuição é composto pelas redes elétricas que operam em níveis de alta tensão (superior a 69 kV e inferior a 230 kV), média tensão (superior a 1 kV e inferior a 69 kV) e baixa tensão (igual ou inferior a 1 kV). Os tipos de rede de distribuição podem ser divididos em aéreos (redes convencionais, redes compactas e redes isoladas) e subterrâneos (ABRADEE, 2021).

Baseado nos dados da ABRADEE, dentre os grupos do Setor Elétrico Brasileiro, a distribuição é o que tem o maior grau de regulação e fiscalização através das condições, responsabilidades e penalidades relativas à conexão, planejamento e expansão, operação e medição da energia elétrica (ABRADEE, 2021).

A Resolução Normativa ANEEL nº 956/2021, estabelece na seção 1.1, onde consta nos Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional (PRODIST), as referências das classes de tensão de fornecimento da rede de distribuição de

energia, onde define-se como alta tensão de distribuição – AT: tensão entre fases cujo valor eficaz é igual ou superior a 69 kV e inferior a 230 kV, ou instalações em tensão igual ou superior a 230 kV quando especificamente definidas, e baixa tensão de distribuição – BT: tensão entre fases cujo valor eficaz é inferior a 2,3 kV.

Para grande maioria das concessionárias existe uma diferença na classificação dos níveis de tensão, onde a definição das classes de tensão do sistema de distribuição que atende a maior capilaridade dos clientes denominados de forma que rede de média tensão – MT estão os circuitos acima de um kV, normalmente temos alimentadores em 7kV em áreas rurais, e 11, 13, 25, e 34kV em áreas com características urbanas. Neste caso, especificamente, o sistema de distribuição de 25kV e 13kV são denominados como média tensão da concessionária referência deste estudo. Em regiões urbanas esse sistema é restrito ao atendimento de consumidores de média tensão e excepcionalmente a Subestações de Distribuição (SED), enquanto em regiões semiurbanas e rurais, sua característica é de suprir energia a todos os tipos de consumidores. O sistema de distribuição em baixa tensão – BT, possui o nível de tensão em 220V/127V é a três fios com neutro de baixa tensão contínuo.

Responsável por determinar processos e normativas, a ANEEL é o órgão regulador das concessionárias de distribuição. Como (BRANCHER, 2008) a descreve, a agência mensura a QEE, englobando a qualidade do produto, que está relacionado ao fenômeno elétrico e as conformidades, e a qualidade do serviço, atrelado com a confiabilidade do sistema.

Para o adequado dimensionamento das redes de distribuição de energia elétrica, é de fundamental importância o estudo das características das cargas a serem atendidas e a avaliação das suas respectivas demandas.

O fornecimento de energia elétrica é realizado até o ponto de entrega das instalações de entrada, das unidades consumidoras caracterizadas por um sistema de seccionamento, medição e proteção, que deve ser construído pelo interessado em conformidade com a regulamentação e com as normas de segurança e com as normas técnicas brasileiras atinentes.

Os procedimentos de conhecimento e avaliação das cargas devem levar em consideração os seguintes aspectos principais:

- Minimizar o investimento de capital;
- Minimizar as perdas elétricas anuais;
- Evitar o obsolescimento prematuro;
- Avaliar os custos das substituições dos componentes de redes;
- Manter a qualidade do serviço com uma boa regulação de tensão;
- Evitar ou diminuir os riscos de superaquecimento dos equipamentos e possíveis riscos à segurança.

Além disso, deve-se considerar o crescimento vegetativo da demanda de rede em função, única e exclusivamente, da forma individual do cliente no uso da energia elétrica, seja pela aquisição de novos equipamentos elétricos que o mercado possa oferecer (evoluções tecnológicas), seja pela racionalização da energia com a utilização de equipamentos de maior eficiência, sem perda de rendimento na sua função principal. Portanto, este tipo de crescimento da carga poderá ser positivo ou negativo. O crescimento expansivo da demanda de rede, nesse caso sempre positivo, é em função de novas construções na região de projeto, seja em razão do espaço físico disponível (terrenos vazios), seja pela especulação imobiliária de uma região valorizada (demolição de construções antigas, substituídas por novas edificações de maior porte).

Em função das características de uma dada região de atendimento, que nasce, originalmente em sua maioria, de forma simples e com crescimento expansivo lento ou muito baixo, o sistema de distribuição de energia elétrica, naturalmente aplicado a essas regiões, é o sistema aéreo; seja pelas questões econômicas, seja pelas questões ligadas a facilidade de expansão da rede com o menor custo possível. Extensões de redes, acréscimo de unidades de transformação ou até mesmo a substituição de um transformador por outro de maior potência, são condições que o sistema aéreo permite de forma fácil, rápida e econômica.

Entretanto, essas regiões, que nasceram inicialmente com baixa densidade de carga, tendem a crescer, se expandir e, em alguns casos, em função de vários incentivos (industriais, comerciais, turísticos, religiosos, residenciais, governamentais) apresentam taxas de crescimento bastante elevadas. Assim, são importantes as avaliações de planejamento que devem mostrar em horizontes de curto, médio e longo prazo, a tendência de crescimento da carga e, nesse sentido, o sistema de distribuição mais adequado e economicamente aplicável.

Portanto, quando a concentração de carga atinge valores elevados, onde os congestionamentos das redes aéreas mostram impossibilidade de continuar com esse tipo de

rede, ou ainda, quando os índices de qualidade estejam constantemente sendo violados com prejuízos para a concessionária não só por multas do órgão regulador e fiscalizador, mas também por ações judiciais movidas por consumidores em função de prejuízos pelas falhas no fornecimento, surgem motivos verdadeiramente técnicos que só podem ser resolvidos através da conversão para as redes subterrâneas, por exemplo.

O sistema de distribuição mais simples é o Radial Simples, onde um único alimentador derivado a partir de uma Subestação de Transmissão Abaixadora (SETD), percorre uma região de atendimento, do qual são derivados tanto ramais de rede, quanto ramais de ligação de consumidores atendidos em média tensão e, também, os transformadores de distribuição que formam as chamadas “zonas de transformação” com redes de distribuição em baixa tensão. O sistema radial simples não disponibiliza nenhum tipo de recurso, a não ser, em alguns casos, sistemas de religamento automático através dos religadores de proteção, a fim de reduzir as interrupções transitórias, em geral por ocorrências climáticas associadas a condições ambientais (chuvas, ventos, árvores sob a rede etc.). A figura (1) mostra o referido arranjo.

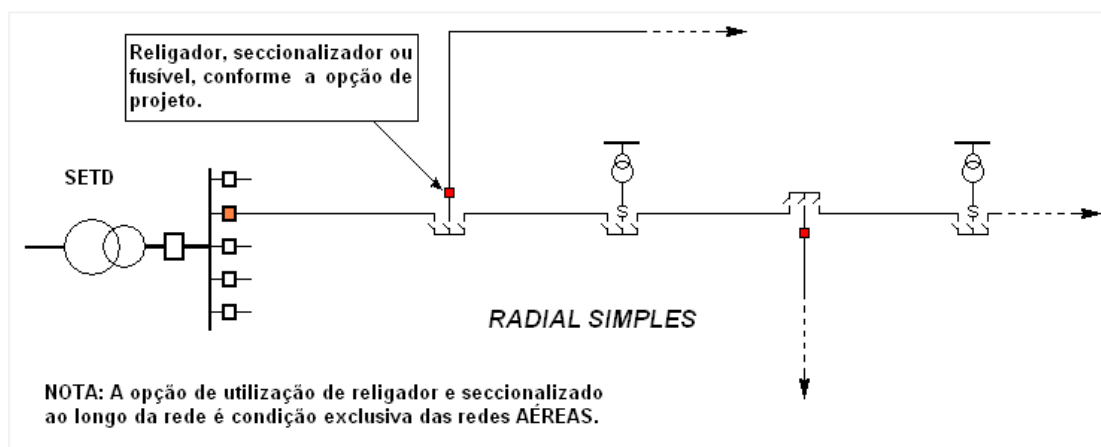


Figura 1 - Arranjo de Rede Radial Simples. Autoria Própria.

Além do arranjo radial simples, o sistema de distribuição possui outros padrões construtivos, que podem ser aplicados tanto em redes aéreas, quanto em redes subterrâneas, como por exemplo o sistema Radial com primário em Anel, possibilitando recursos entre circuitos e flexibilizando manobras com menores tempos, e os Sistemas Reticulados, no qual a rede secundária é interligada entre si, formando malhas de energia, com a principal característica de continuidade no fornecimento, mesmo com falta em qualquer ponto do

sistema. A figura 2 ilustra um exemplo de Sistema Reticulado, também chamado de Sistema Network.

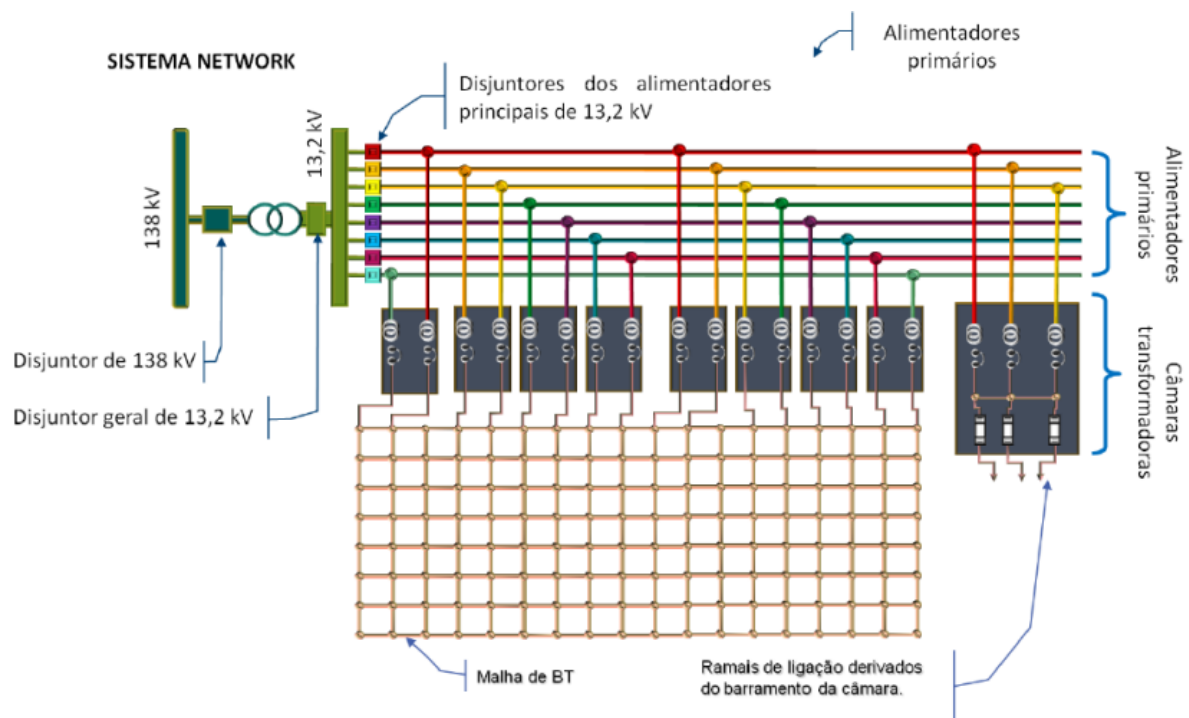


Figura 2 - Exemplo Sistema Reticulado. Acervo do Autor.

2.2 Qualidade de Energia Elétrica

A eletricidade é vital para a sociedade, estando presente em todos os setores sociais e econômicos. Buscando retratar um pouco mais sobre a Qualidade de Energia Elétrica, temos como pilares básicos contidos no PRODIST pela Resolução Normativa N° 956 de 7 de dezembro de 2021, através da seção VIII, no módulo 8, a fim de estabelecer procedimentos, conceitos, e processos para garantir a distribuição de energia elétrica em níveis satisfatórios para o consumidor final. Desta forma, seguem abaixo os itens voltados a qualidade:

- Qualidade do produto: define a terminologia, caracteriza os fenômenos, estabelece os indicadores e limites ou valores de referência, além de definir a metodologia de medição e a gestão das reclamações relativas à conformidade de tensão em regime permanente e transitório;

- Qualidade do serviço: define os conjuntos de unidades consumidoras, estabelece as definições, os limites e os procedimentos relativos aos indicadores de continuidade e de atendimento às ocorrências emergenciais, definindo padrões e responsabilidades;
- Qualidade comercial: define os procedimentos para a apuração dos indicadores de reclamações, de atendimento telefônico e de cumprimentos dos prazos, e estabelece a metodologia para estabelecimento dos limites do indicador FER;
- Segurança do trabalho e instalações: estabelece as condições de acompanhamento da segurança do trabalho e das instalações;

No que tange a linha do tempo, sistema evolui dadas as características da ocasião, tais como: desde o início do século XX até o ano de 1970, tem-se um setor em permanente expansão e sem grandes problemas de qualidade, com um requinte de muitos blocos de cargas, demanda de cargas robustas e pouco poluidoras que são injetadas para a rede de distribuição das concessionárias. Após a década de 70, surgiu o transistor e a eletrônica de potência, proliferação de cargas não lineares altamente poluidoras, cargas simultaneamente mais sensíveis e mais perturbadoras da qualidade de energia, fato esse que dificulta uma tratativa específica das concessionárias e na grande maioria das vezes os próprios clientes são os causadores desses distúrbios que são agregados a rede elétrica das distribuidoras. As mudanças das naturezas das cargas ocorrem até hoje e são absolutamente normais ao que vem ocorrendo devido ao perfil de consumo, atrelado às evoluções tecnológicas. As cargas atuais são baseadas em dispositivos eletrônicos sensíveis. Estes elementos vieram permitir o uso mais eficiente da eletricidade e o controle mais preciso sobre os processos elétricos. Simultaneamente, trouxeram perturbações muito significativas à qualidade de energia. Esses novos dispositivos são um dos principais causadores de muitos problemas e ofensores para a questão da qualidade. Temos então que nas últimas décadas a qualidade passa a ser altamente crítica para as empresas com tecnologias mais avançadas, maior exigência no mercado de energia com clientes com perfis diferentes e necessidades muito específicas.

A exigência de energia elétrica com qualidade constitui um fator importante para a competitividade e sobrevivência de muitos setores produtivos, aumentando muito os desafios das concessionárias.

No entanto, não basta apenas o simples fornecimento de energia elétrica, a qualidade do produto e do serviço são fundamentais para garantir o funcionamento eficiente, confiável e seguro das instalações e dos equipamentos.

O PRODIST é formado por onze módulos, padronizando as atividades técnicas referentes ao funcionamento e desempenho da distribuição, prestada pelas concessionárias. O módulo oito conceitua a Qualidade de Energia Elétrica com o intuito de manter em níveis que garantam benefícios para todos os envolvidos, a agência reguladora estipulou indicadores e limites, que devem ser seguidos pelas concessionárias de distribuição, como as variações de tensão em regime permanente, controle do fator de potência, tempo médio de atendimento a emergências e duração e frequência de interrupções. Como parâmetros de monitoramento, fiscalização, a ANEEL estabelece alguns indicadores de qualidade que são postos como base para a concessão de uma distribuidora. A figura 3 apresenta o histórico dos principais indicadores de fornecimento de energia elétrica, tais como a Duração Equivalente de Interrupção por Unidade Consumidora (DEC) e a Frequência Equivalente de Interrupção por Unidade Consumidora (FEC).

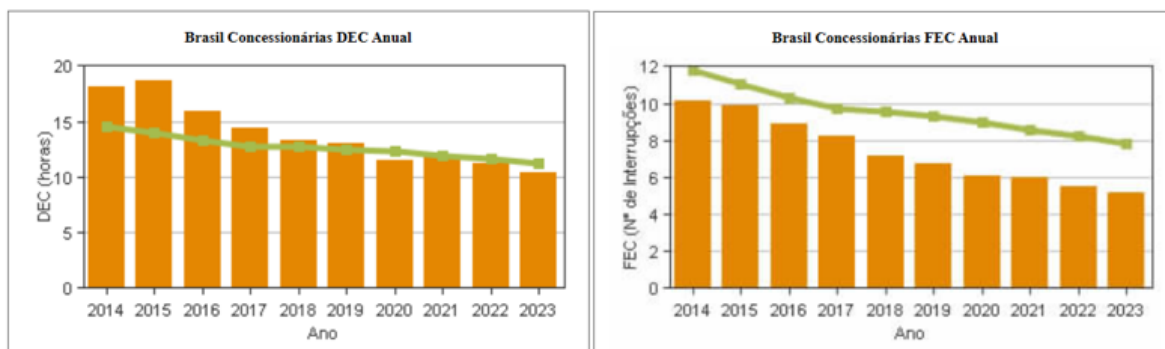


Figura 3 - Indicadores de Qualidade Brasil. Fonte ANEEL (2024).

2.2.1 Indicadores de Qualidade

A continuidade no fornecimento de energia elétrica é um aspecto fundamental para o cotidiano da sociedade. De maneira geral, complementando sobre o detalhamento sobre a qualidade de energia prestada aos clientes, a ANEEL basicamente se refere à capacidade de fornecimento de energia elétrica aos consumidores, sem que haja interrupção e com qualidade em níveis satisfatórios. Para isso, a ANEEL definiu os indicadores de continuidade do fornecimento da distribuição de energia elétrica, a fim de mensurar a qualidade do serviço prestado pelas concessionárias através do controle das interrupções e da apuração dos indicadores de continuidade de serviço, as distribuidoras, os consumidores, as centrais geradoras e a ANEEL podem avaliar a qualidade do serviço prestado e o desempenho do sistema elétrico. Os indicadores de continuidade do serviço de distribuição de energia elétrica

são estabelecidos quanto à duração e frequência das interrupções. De praxe, esses indicadores são apurados mensalmente, considerando o mês civil, com exceção do indicador DICRI, que deve ser apurado por interrupção ocorrida em Dia Crítico. Os indicadores de continuidade individuais, a seguir discriminados, devem ser apurados para todas as unidades consumidoras, centrais geradoras ou por ponto de conexão. Dentre os indicadores, conforme definido no PRODIST (ANEEL, 2021), destacam-se:

- DIC: Duração de Interrupção Individual por Unidade Consumidora ou por Ponto de Conexão – detalhado na fórmula (a) da equação descrita no quadro da equação 1;
- FIC: Frequência de Interrupção Individual por Unidade Consumidora ou por Ponto de Conexão – detalhado na fórmula (b) da equação descrita no quadro da equação 1;
- DMIC: Duração Máxima de Interrupção Contínua por Unidade Consumidora ou por Ponto de Conexão – detalhado na fórmula (c) da equação descrita no quadro da equação 1;
- DEC: Duração Equivalente de Interrupção por Unidade Consumidora – detalhado na fórmula (d) da equação descrita no quadro da equação 1;
- FEC: Frequência Equivalente de Interrupção por Unidade Consumidora – detalhado na fórmula (e) da equação descrita no quadro da equação 1.

Detalhando as variáveis e fórmulas a seguir:

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

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

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

$t(i)_{max}$ = valor correspondente ao tempo da máxima duração de interrupção contínua (i), no período de apuração, verificada na unidade consumidora ou no ponto de conexão considerado, expresso em horas e centésimos de horas (PRODIST, 2021).

As formas de obtenção dos indicadores estão descritas em 1:

fórmula (a)	fórmula (b)	fórmula (c)	fórmula (d)	fórmula (e)
$DIC = \sum_{i=1}^n t(i)$	$FIC = n$	$DMIC = t(i) \max$	$DEC = \frac{\sum_{i=1}^{C_c} DIC(i)}{C_c}$	$FEC = \frac{\sum_{i=1}^{C_c} FIC(i)}{C_c}$

Equação 2 - Equações Indicadores de Qualidade. Autoria Própria.

Conforme (PESSANHA, SOUZA e LAURENCEL, 2007) descrevem, o DEC e o FEC são indicadores coletivos, de suma importância para as empresas e acompanhados pela agência reguladora que, por sua vez, criou os limites como mecanismo para incentivar a melhoria progressiva da continuidade do fornecimento, atrelando os indicadores às metas para a revisões tarifárias.

Tendo em vista que os indicadores de qualidade estão diretamente relacionados com a interrupção no fornecimento de energia elétrica, a ANEEL definiu no módulo oito do PRODIST as classificações de causas de falhas, a fim de analisar detalhadamente os problemas das concessionárias. Assim, a tabela (1) retrata os grupos-causas de interrupções.

Causa	Detalhe
Alteração	Para melhoria
	Para ampliação
Manutenção	Corretiva
	Preventiva
Meio ambiente	Poluição
	Corrosão
	Queima ou Incêndio
	Inundação
	Erosão
	Árvore ou Vegetação
	Descarga Atmosférica
	Animais
	Vento
Terceiros	Vandalismo
	Abalroamento

	Roubo
	Acidente
	Objeto na Rede
	Defeito cliente afetando outros
	Ligação Clandestina
	Empresas de serviços públicos ou suas contratadas
	Defeito interno não afetando outras unidades consumidoras
	Interferência de terceiros
Falha operacional	Erro de operação
	Serviço mal executado
	Acidente
Próprias do sistema	Subtensão
	Sobretensão
	Sobrecarga
	Desligamento para manutenção emergencial
	Desligamento por segurança
	Falha de material ou equipamento
	Atuação de Sistema Especial de Proteção (SEP)
	Não identificada
Alívio de carga	-
Não classificada	-
-	-
Próprias do Sistema	Atuação de Sistema Especial de Proteção (SEP)
Não classificada	-

Tabela 1 - Grupo-Causas Interrupções. Fonte ANEEL (2021).

Com as classificações das ocorrências de falhas de acordo com a definição da agência, torna-se primordial as análises dos principais impactos, a fim de direcionar os investimentos e as mãos-de-obra para os locais mais impactantes. A exemplificação de uma análise simples

de indicador, destrinchando ao longo do ano os principais causadores de interrupções no fornecimento podem ser identificados na figura 4.

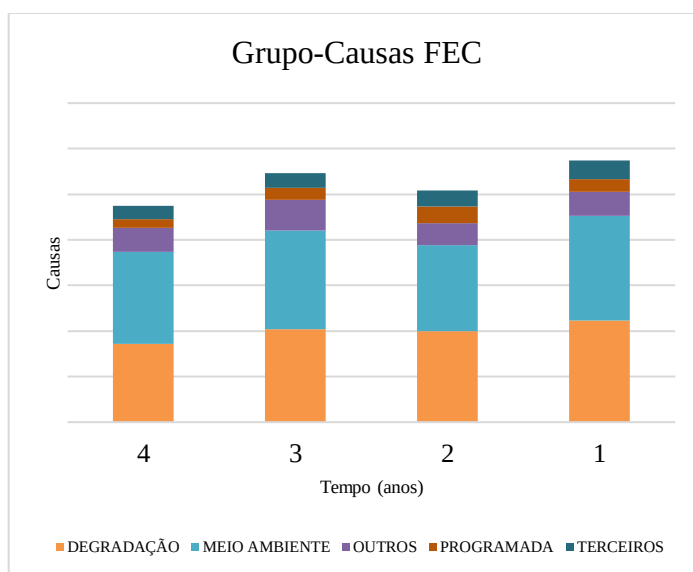


Figura 4 - Exemplo de Indicador x Causa. Própria Autoria.

2.3 Base de Remuneração Regulatória – BRR

A base de remuneração é avaliada e realizada por todas as distribuidoras, considerando-se, fundamentalmente, os resultados de inspeções de campo com o objetivo de verificar as características e as condições operacionais dos ativos. Os procedimentos de avaliação devem observar obrigatoriamente as instruções do Manual de Contabilidade do Setor Elétrico – MCSE e do Manual de Controle Patrimonial do Setor Elétrico – MCPSE (PRORET, 2022).

O objetivo do manual de contabilidade é de padronizar os procedimentos contábeis adotados pelas Outorgadas do serviço público de energia elétrica, viabilizando o controle e o acompanhamento das respectivas atividades, objeto da concessão e permissão, pelo agente regulador, visa também atender aos preceitos da legislação comercial brasileira, além da legislação específica do Serviço Público de Energia Elétrica, bem como a plena observância dos princípios fundamentais de contabilidade, contribuindo para a avaliação do equilíbrio econômico-financeiro da concessão atribuída pela União Federal. Tem a função de viabilizar a elaboração das Demonstrações Contábeis regulatórias e correspondentes notas explicativas e das informações complementares que necessitem de divulgação para atendimento de dispositivos da legislação aplicável ao setor de energia elétrica. Permite também a adequada

apuração do resultado das atividades de Geração, Transmissão, Distribuição, Administração Central e Atividades não vinculadas à concessão do serviço público de energia elétrica.

Por diversas ocasiões, a ANEEL manifestou seu entendimento sobre a necessidade de uma atenção especial quanto à correta definição da base de remuneração, para que os objetivos da revisão tarifária possam ser alcançados a contento.

A base de remuneração gerada é regulatória e sua avaliação, homologada pela ANEEL, deverá ser registrada contabilmente, sem atualização, no Ativo Imobilizado em Serviço – AIS, bem como seus efeitos nas Obrigações Vinculadas ao Serviço Público de Energia Elétrica – Obrigações Especiais, até o segundo mês subsequente à aprovação do resultado da revisão tarifária pela Diretoria Colegiada da ANEEL. (MCSE, 2022).

A seleção do método mais apropriado para a definição da base de remuneração é complexa e envolve diversos aspectos, sendo uma questão crítica a definição do que é o investimento. Assim, é preciso definir se o “investimento” a ser remunerado está ou não relacionado com os ativos existentes e necessários para a prestação do serviço regulado, pois a opção resultará num valor diferente para a base de remuneração e, conseqüentemente, em valores diferentes para as tarifas que serão cobradas dos consumidores. Outro ponto a considerar diz respeito à definição do que é “investimento prudente”. As preocupações fundamentais do órgão regulador são:

- zelar pelo equilíbrio nas relações entre consumidores e concessionárias;
- garantir tarifas justas;
- garantir a continuidade da prestação dos serviços;
- zelar pela qualidade do serviço;
- atrair novos investimentos.

Sendo assim, dada a estrutura de composição da demanda social e um conjunto de recursos produtivos, ou seja, mão de obra, recursos naturais, máquinas, edifícios, infraestrutura, afirma-se que a alocação dos recursos entre as atividades produtivas é eficiente se a demanda é atendida ao menor custo possível. Esses custos são avaliados para a identificar a coerência de custos, aquisições, empregados pela concessionária, pois precisam estar nos parâmetros regulatórios de forma prudente.

Para se realizar obras de expansão, melhorias na rede de distribuição, manutenções, existe um banco de preços referenciais estruturado de forma modular, em que se associa um módulo a cada equipamento principal, devendo este estar codificado de acordo com o MCPSE. Os parâmetros dos bens são avaliados para a identificar a coerência de custos, aquisições, empregados pela concessionária, mas que precisam estar nos parâmetros regulatórios de forma prudente. Os bens são classificados em Essenciais, Acessórios e de Infraestrutura, conforme a tabela seguinte, sendo que os módulos são atribuídos apenas aos bens essenciais e acessórios. A tabela (2) ilustra as classificações mencionadas.

Bens Essenciais	Bens Acessórios	Bens de Infraestrutura
• Estrutura • Condutor • Transformador de distribuição • Transformador de Força • Medidores	• Equipamentos de rede • Equipamentos de linha • Equipamentos de subestações • Equipamentos de sistemas de medição	• Sistemas diversos • Imóveis operacionais • Equipamentos não modularizáveis

Tabela 2 - Classificação dos Bens. Fonte: MCSE ,2022.

2.3.1 Investimentos – CAPEX e OPEX

São as diversas contas relacionadas com os custos durante a construção de um ativo imobilizado, que indicam a natureza do gasto referente ao projeto em execução. Estes custos, segregados em Equipamento principal (Unidade de adição e retirada – UAR), Componente Menores – COM e Custos Adicionais – CA, irão formar AIS.

O Ativo Imobilizado são bens e direitos necessários a consecução e manutenção das atividades da Empresa, e que geram benefícios futuros por mais de um ano. Estes bens têm como característica principal a permanência prolongada no empreendimento, não sendo adquiridos ou construídos com a finalidade de venda. No setor elétrico o imobilizado é dividido em duas partes: imobilizado em serviço e imobilizado em curso.

O Imobilizado em Serviço registra os bens instalados, energizados que geram receitas à empresa. Todos os itens do imobilizado em serviço são classificados em Unidades de Cadastro – UC ou Unidade de Adição e Retirada – UAR.

O Imobilizado em Curso registra os gastos com mão-de-obra – MDO, material, terrenos, edificações etc. em fase de construção/instalação do ativo imobilizado. Todos esses

gastos são alocados em ordens e projetos abertos para executar o serviço de construção e/ou instalação de equipamentos.

Segundo (LAABASSI E MAAROUF, 2020), a confiabilidade do sistema de distribuição de energia elétrica não está relacionado apenas com o reestabelecimento de energia, mas também com a frequências de falhas e operações submetidas aos ativos de rede. Assim, a renovação dos ativos das redes de distribuição é uma etapa nas quais as concessionárias precisam realizar, tendo em vista a necessidade de aumento das demandas, redução das falhas e melhoria no fornecimento de eletricidade para seus consumidores.

Nesse sentido, o entendimento econômico da companhia pelas distribuidoras, juntamente com a ANEEL, é fundamental para o funcionamento do sistema e sua saúde financeira, considerando a base de remuneração tarifária. Deste modo, as concessionárias gerenciam dois tipos principais de custos: CAPEX (Despesas de Capital) e OPEX (Despesas Operacionais)

O CAPEX, também conhecido como Orçamento de Investimento, representa os investimentos realizados em projetos que buscam adquirir ou melhorar os bens ativos da companhia, aumentando a capacidade de atendimento, reduzindo as perdas de energia, melhorando a confiabilidade do sistema e valorando a companhia no cenário socioeconômico. Essa classe de investimento é a base para a concessionária pleitear o reajuste na Base de Remuneração Regulatório (LIGHT, 2012).

O CAPEX deve ser utilizado para compra/instalação e todos os custos necessários para colocar o sistema elétrico com seus ativos em funcionamento (energizada). Ex.: Compra de computadores, mesa, edificações, compra e instalação de poste, transformador, condutor etc. Gastos com melhorias e reformas só podem ser capitalizados quando forem relevantes em relação ao valor do equipamento principal que está sendo reformado e através do procedimento de revitalização/manutenção.

A sigla OPEX correspondem aos gastos com manutenção e reparos, são aqueles incorridos para manter ou recolocar os ativos em condições normais de uso, contudo, sem aumentar sua capacidade de produção ou sua vida útil. Estes devem ser atribuídos ao Orçamento de Operação. Estes custos são incorridos no dia a dia para operar e manter a rede elétrica funcionando, como mão de obra, materiais de consumo, impostos e taxas. De maneira geral, são considerados despesas e registrados no resultado do exercício no período em que

são incorridos, reduzindo o lucro da empresa, porém não impactam diretamente o valor patrimonial, e devem ser atribuídos ao orçamento de operação da companhia. (LIGHT, 2012), tais como exemplos as manutenções pontuais em equipamentos; pinturas de equipamentos; inspeções, cortes e ligações sem instalação ramais e/ou medidores; reformas em edificações; alterações de layout de departamentos; poda de árvore, nivelamento de rede, substituição de conectores, recuperação de postes, sinalização de redes, remanejamento de postes, troca de óleo de transformadores; registro de materiais de escritório; registro de materiais de EPI acima do aceitável para obra; entre outros.

2.4 Manutenção em Redes de Distribuição Aéreas

Na distribuição de energia a manutenção é questão de sobrevivência para as concessionárias, pois estão ligadas diretamente aos indicadores de qualidade do fornecimento de energia e de satisfação direta pelos clientes são atendidos. Além disso, para as empresas, é sempre um desafio pela busca do máximo retorno financeiro sobre os ativos das instalações elétricas, através do aumento da disponibilidade para a entrega da energia com custos coerentes de manutenção.

Esta busca constante pela maior disponibilidade em prol da entrega do produto que é a energia elétrica, exige da manutenção uma área de Engenharia de Planejamento mais aderente e eficaz, com a função de avaliar todas as bases de ocorrências, estudar as causas, desdobrar no direcionamento onde todas as etapas de execução dos serviços de forma que haja assertividade nas programações de forma cirúrgica quanto à necessidade da ótima alocação dos recursos.

Nas últimas décadas, foram realizadas não somente inovações nos sistemas organizacionais de forma a viabilizar a integração de pessoas, recursos, e tarefas, como houve também uma crescente evolução de diversos sistemas de planejamento, monitoramento e controle das atividades de uma gerência de manutenção.

A manutenção de redes de distribuição de energia elétrica é crucial para garantir o fornecimento confiável e seguro de energia para consumidores. Através de atividades planejadas e preventivas, busca-se minimizar falhas, prolongar a vida útil dos equipamentos e garantir a qualidade do serviço prestado. Nesse intuito, o Plano de Manutenção Preventivo é um direcionamento estratégico de inspeções das redes aéreas, que visa mapear possíveis

pontos de defeitos no sistema, e que dentro de determinados prazos devem ser sanados para que não haja falha no sistema (LIGHT, 2017).

Atrelado ao plano de manutenção, há o Plano de Resultados, que determina pontos de robustez de rede, adequações e instalações de equipamentos de manobra e proteção, mirando uma melhor seletividade e flexibilidade operativa.

O desempenho de um sistema de distribuição está intimamente relacionado à sua concepção, à construção e à qualidade dos equipamentos e materiais empregados (incluindo as naturais deteriorações no decorrer do tempo), às condições ambientais e aos danos causados por terceiros. Dentre esses fatores, as descargas atmosféricas, queimadas e os objetos estranhos à rede, como pipa, manifestam-se periodicamente com predominância em determinadas áreas e épocas do ano (dada as características de cada distribuidora). Porém, todos estes fatores, periódicos ou não, provocam elevado número de interrupções nos sistemas de distribuição.

Para a plena manutenção em redes aéreas a premissa é conhecer os padrões construtivos e suas respectivas aplicações. A rede compacta, com espaçadores, é o padrão mais utilizado, com a observação da necessidade de afastado mínimo de 500 metros da orla marítima. Para o padrão de rede multiplexada a aplicabilidade é pertinente para áreas densamente arborizadas, locais com exigência de alta confiabilidade, estruturas congestionadas, impossibilidade de atender aos afastamentos mínimos de segurança da rede, posturas municipais em função da proibição de poda, e a condicionante de se ter até 500 metros da orla marítima. Para a rede convencional com cabos nus é necessário atentar aos aspectos de extensão da rede de 13kV existente (por exemplo) com trechos inferiores a três vãos e da rede de 34kV em qualquer extensão, desde que não contenha arborização e respeite os afastamentos mínimos de segurança, bem como em situações de travessias de comprimentos de longos vãos de rede.

Um grande desafio para as concessionárias é equalizar, nivelar conhecimento e estabelecer o critério para a inspeção e programação da manutenção preventiva dos circuitos aéreos de distribuição de forma a minimizar a ocorrência de falhas com interrupções no fornecimento de energia elétrica, promovendo a melhoria contínua da satisfação dos clientes, a otimização dos custos operacionais e melhores condições de segurança das instalações elétricas

A inspeção preventiva objetiva identificar as irregularidades e anomalias existentes no sistema de distribuição, que se não corrigidas a tempo resultarão em falhas e interrupções no fornecimento de energia elétrica.

Existem diferentes formas para a realização das inspeções na rede, destacamos as seguintes:

Inspeção Visual - inspeção realizada a olho nu ou com auxílio de binóculo com o objetivo de se detectar isoladores partidos, condutores serrilhados, rede desnivelada, conexões em mau estado, transformadores vazando óleo, postes e estruturas em mau estado, estruturas e equipamentos sem identificação, necessidades de poda e limpeza de rede etc.

Inspeção com Instrumento - inspeção realizada com termovisor, com o objetivo de se detectar pontos sobreaquecidos indicativos de conexões em mau estado e/ou de sobrecarga, ou com ultrassom, visando à identificação de fugas em isoladores. Normalmente, é realizada nos circuitos em sobrecarga, com interrupções frequentes em curto prazo sem causa identificada ou com incidência elevada de condutor partido ou falhas em conexão ou emenda. Constituem pontos críticos a serem verificados durante a inspeção, todos os componentes da rede sujeitos a apertos tais como: grampo, conector, luva de emenda, amarrações, terminais de chaves e de buchas, contatos de chaves e outros. No caso da inspeção termográfica o horário ideal para sua realização é no período de carregamento máximo, podendo ser realizada a partir de 70% dele.

Na busca constante de melhorias e aprimoramentos das inspeções, destacamos também alguns métodos para facilitar na assertividade do diagnóstico do defeito, anomalia existente que podem ser realizados através da Linha Viva, com a rede energizada, sendo realizada a olho nu com os mesmos objetivos da inspeção visual, porém mais detalhada por ser feita com utilização de cesto aéreo e com maior proximidade da rede. Além disso, permite que os defeitos localizados sejam prontamente corrigidos. E como outra opção já atrelado a novas tecnologias, temos a inspeção com a utilização de drone, sendo realizada em áreas em que a inspeção visual se torna de difícil acesso e há necessidade de uma visão mais detalhada da rede e equipamentos localizados principalmente em morros, áreas rurais, de plantações, locais com alta densidade de árvores e/ou de difícil visualização.

É comum as distribuidoras terem alguns procedimentos normativos com relação a realização da inspeção, onde normalmente e preferencialmente ela ocorre em dupla de

técnicos, poste a poste, caminhando preferivelmente a pé sob a linha, observando, caso necessário, com binóculo e analisando cuidadosamente todos os componentes da rede de média tensão, e de baixa tensão quando houver ou for alertado a necessidade.

Todas as irregularidades e anormalidades observadas em campo são registradas em sistema de controle específico de cada empresa, mesmo que não ofereçam risco imediato ao desempenho do circuito.

Os ativos de rede elétrica e seus componentes mais comuns registrados em inspeção são constatados e avaliados da seguinte forma:

Poste da rede - no qual é fundamental observar o estado geral de conservação, sua identificação, a existência de erosão em sua base, se está fletido, fora de alinhamento ou de prumo e se sua posição oferece risco de abalroamento para que seja providenciada sua relocação. Se for de concreto, verificar a existência de ferragens expostas ou rachaduras que comprometam a sua integridade, bem como se existe concreto estufado indicando o seu desprendimento das ferragens. Se for de madeira, verificar se está oco ou se tem rachaduras pronunciadas, além da existência de material combustível próximo à base para que seja providenciado o aceiro.

Condutor - se foi empregado com o nivelamento entre fases, a correta distância ao solo, o correto afastamento de construções, a presença de objetos estranhos, sinais de deterioração, tentos partidos, excesso de emendas e a correta amarração aos isoladores. Observar ainda se as estruturas instaladas nas deflexões de rede estão compatíveis com as mesmas.

Conexão - se torna imprescindível avaliar a adequação do conector ao tipo de rede e a existência de pontos quentes através do termovisor. Verificar ainda os pontos de derivação onde haja conector de aperto tipo parafuso, que deverá ser substituído, se necessário, por conector adequado. Da mesma forma, conector emendando cabo em vão de rede (reparo provisório) deverá ser substituído por luva de emenda de tração adequada ao tipo de cabo.

Para-raios - reparar em seu estado de conservação, se o disparador está atuado, se está corretamente ligado ao sistema de aterramento, se possui trincas, rachaduras ou queimado e se está firmemente fixado ao equipamento ou à estrutura e ligado à rede.

Componente Cruzeta - que se faz necessário apurar se estão inclinadas ou deslocadas da posição normal por falta de mão-francesa ou por outro motivo, se estão queimadas, estufadas, rachadas, lascadas, com sinais de apodrecimento e se possuem objetos estranhos como pipa, ninho de pássaro ou casa de João-de-Barro, etc.

Componente Isolador – no qual é preciso constatar se está trincado, lascado, quebrado, sujo, chamuscado ou com pino torto.

A partir das inspeções, a programação para a execução dos serviços de manutenção deve ser feita considerando o uso de equipes apropriadas, especificamente as de linha viva e as de poda.

Por envolver custos elevados, os trabalhos em linha-viva deverão ser executados, preferencialmente, em troncos de circuitos e em circuitos que atendem consumidores sensíveis ou áreas importantes em termos de densidade de carga, número de consumidores e consumo.

Se tratando de manutenção pesada, envolvendo obra de robustecimento é prudente em determinar o tipo de projeto a ser elaborado e sua finalidade, tais como:

Extensão de Rede – Projeto para atendimento a consumidores (novos ou alteração de carga) que envolve extensão ou modificação da rede.

Aumento de capacidade do sistema – Projeto que melhora as condições de qualidade de fornecimento com aumento na capacidade de suprimento de energia.

Remoção de rede e poste – Necessidade de intervenção na rede elétrica para a eliminação de situações de riscos de segurança (rede sobre edificações, afastamento vertical e horizontal insuficientes a edificações e altura inadequada do condutor em relação ao solo) além de postes em frente a garagem.

Robustez – Projeto que melhora as condições de continuidade de fornecimento sem aumento da capacidade de suprimento de energia, como por exemplo a substituição de rede convencional aberta, nua, por uma rede compacta e cabos semi-isolados.

Um dos pontos de suma importância para a manutenção consiste na avaliação da área e na obtenção de informações que irão direcionar na escolha da melhor solução para o local

e possibilitar a elaboração do projeto. Para tal, cabe destacar a identificação dos seguintes pontos:

- Possibilidade de acesso a caminhões guindautos;
- Existência e tipo de arborização;
- Existência e largura de calçadas;
- Afastamento das edificações ao limite de propriedade;
- Existência de projeções das edificações sobre a via pública (segundo pavimento, terraços, coberturas/telhados, marquises);
- Largura da rua;
- Características das edificações (altura em relação à rede);
- Área de proteção ambiental (nesse caso é necessário a apresentação da licença de construção do órgão responsável pela APA - municipal, estadual ou federal).

No Brasil, as concessionárias são fiscalizadas e auditadas pela ANEEL. Nesse sentido, a rastreabilidade das informações além de ser um requisito regulatório é também parte integrante da estratégia de manutenção. Toda e qualquer ocorrência gerada e registrada em sistema pelas concessionárias, seja sua abrangência individual ou coletiva, é utilizada como fonte de análise das áreas de Engenharia e Planejamento da Manutenção, onde as análises de todo o banco de dados dessas ocorrências são desdobradas às causas raízes para o diagnóstico mais fidedigno da anomalia existente no sistema elétrico de distribuição para que de forma mais coerente seja direcionado a realização da manutenção na rede de distribuição de energia. Desta forma, o modelo de gestão de planejamento, controle, ação, fiscalização se dão em torno das inspeções, programações e execuções dos serviços de manutenção.

Para os objetivos serem alcançados nesse estudo, serão abordados dois tipos de serviços relacionados a manutenção na rede elétrica de distribuição, sendo elas: Degradação de componentes de rede e Podas de árvores. Esses são grandes fatores no qual as distribuidoras visam proporcionar para que a manutenção produza trabalhos, reparos, adoção de recursos confiáveis, a tempo e hora necessária, usando uma organização correta, um planejamento adequado e medido e avaliado e fiscalizado por indicadores.

2.4.1 Degradação

A degradação dos equipamentos de rede é um processo natural que ocorre nos sistemas de distribuição, devido a diversos fatores, como exposição às condições climáticas e quantidades de operações. Manter os equipamentos, principalmente sem interromper o fornecimento de energia é de suma importância. Dessa forma, a técnica de trabalho com a Linha Energizada, também chamado de Linha Viva, foi desenvolvido no EUA, com o intuito de reparar os componentes da rede, sem que houvesse o desligamento do circuito. Conforme relata (CANDIA, BELL e ELIZONDO, 2012), os serviços com a rede energizada para *upgrades* são cada vez mais comuns no mundo.

Os principais serviços executados pelas equipes de Linha Viva são:

- Substituição de estrutura em mal estado;
- Instalação e substituição de equipamentos de proteção;
- Reparos de conexões e terminais degradados;
- Instalação e substituição de equipamentos de manobra;
- Reparo em condutores.

Para a realização dos serviços, torna-se necessário seguir procedimentos e normativas que instruem a atividade, além do emprego de Equipamentos de Proteção Individuais – EPI e dos Equipamentos de Proteção Coletiva – EPC. A figura 5 representa uma equipe atuando em serviço com a rede de média tensão energizada.



Figura 5 - Atuação Equipe Linha Viva. Autoria Própria.

2.4.2 Poda de Árvore

Como (RAMOS, 2021) comenta em seu estudo, “a realização de podas pelas distribuidoras de energia, em trechos de redes aéreas, é um importante aliado para a redução do indicador de qualidade”. Considerando o crescimento urbano e da falta de cortes dos objetos arbóreos, as redes aéreas sofrem riscos de serem atingidas pelo contato da vegetação, causando pontos de defeitos e, conseqüentemente, falhas no sistema.

(GOIS, 2022) relata que as interferências do meio ambiente representam cerca de 20% no indicador DEC e 23% no indicador FEC de uma concessionária de distribuição, conforme a figura (6) representa. Sendo assim, é fundamental que ocorra a manutenção preventiva de corte de árvores.

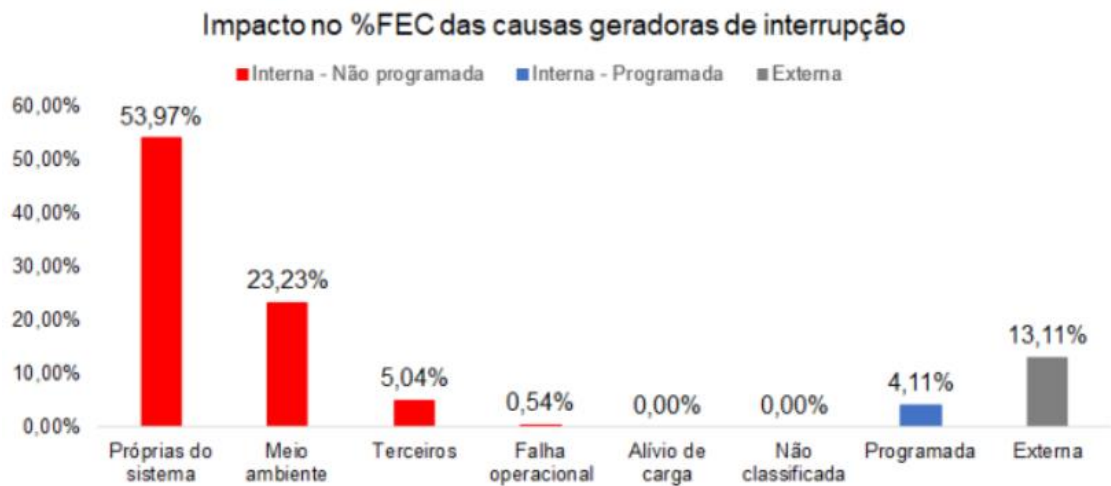


Figura 6 - Impacto %FEC. Fonte: GOIS, 2022.

Essa atividade é realizada pelas equipes de poda com Linha Viva, no qual realizam o serviço também com a rede energizada, seguindo requisitos técnicos e normativos, além das barreiras de segurança necessárias. A figura 7, representa a atividade de uma equipe de poda.



Figura 7 - Atuação de equipe de Poda. Autoria Própria.

3 Fundamentos dos Processos Utilizados no Dimensionamento de Turmas

Neste capítulo, será abordado conceitos matemáticos e analíticos que serão aplicados no presente estudo, a fim de idealizar a curva de projeção do indicador de qualidade relacionado a frequência de interrupção e para propor escolhas fundamentadas no critério analítico.

3.1 Regressão Multilinear

A Regressão Multilinear, também conhecida como Regressão Linear Múltipla, é um modelo matemático prático para verificar a relação de algumas variáveis através de uma equação (FRANÇA, MELO, VARGAS, 2021). De acordo com (ALMEIDA, 2014), a regressão é o “estudo da dependência de uma variável explicativa (Y) que se tenha interesse em conhecer seu comportamento em relação a uma ou mais variáveis ($X_1, X_2, \dots, X_k$), com o objetivo de estimar e/ou prever valores para Y”. De forma geral, trata-se de uma técnica usada para entender a relação entre diversas variáveis independentes e uma variável dependente contínua. Para construir o equacionamento da regressão, precisamos de alguns passos:

- Coletar, preparar e analisar os dados, explorando dos dados graficamente e estaticamente;
- Ajustar o modelo da equação, escolhendo a melhor equação para representar a relação entre as variáveis
- Avaliar e testar o modelo, submetendo a verificações de precisão e confiança.

A técnica matemática auxilia em algumas questões, como a desvendar as influências e relevar como cada variável impacta no resultado, previsões mais precisas e explicações mais completas, mostrando as percepções entre as variáveis. Porém, há também limitações no que tange a precisão dos dados fornecidos, bem como as relações lineares entre as componentes da equação. Uma forma simplificada de ilustrar o equacionamento da regressão está exposta na equação 2:

$$Y(k) = \alpha + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_k X_k$$

Equação 3 - Equação Genérica Regressão Multilinear. Autoria Própria.

para $k = 1, 2, \dots, n$, onde n é o tamanho da amostra. O coeficiente α representa a parcela constante do modelo, e β_k os coeficientes angulares da equação.

3.2 Análise Multicritérios

Nos complexos cenários de tomada de decisão, no qual torna-se necessário estruturar e analisar os problemas com diversos critérios e divergências, a Análise de Multicritérios aparece como uma solução. A metodologia oferece uma estrutura para lidar com essa complexidade, fornecendo ao decisor uma visão completa e embasada para a escolha da melhor alternativa.

Como menciona (AYLA e FRANK, 2013), a função do método “é ajudar ao tomador de decisão a organizar e sintetizar a informação de modo a adotar uma decisão com maior segurança e clareza, explicitando e administrando a subjetividade envolvida”.

A Análise de Multicritérios possui diversos métodos analíticos, conforme (LONGARAY, 2016), exemplifica: *Analytic Hierarchy Process* (AHP), *Measuring Attractiveness by a Categorical Based Evaluation Technique* (MACBETH); *Technique for Order Preference by Smilarity to Ideal Solution* (TOPSIS); *Preference Ranking Organization Method for Enrichment of Evaluations* (PROMETHEE) e outros.

No presente estudo, aplicaremos como métodos o AHP e o PROMETHEE para analisar os valores e cálculos desenvolvidos, a fim de encontrar os cenários ideais para a melhor mobilização de equipes visando o indicador FEC. A escolha do primeiro método está relacionada com a clareza na estrutura hierárquica do processo, dividindo em níveis específicos, além das comparações par a par e das escalas de prioridades, conceitos que serão abordados no próximo capítulo. O PROMETHEE será aplicado no estudo porque nele há a priorização das opções com base em suas preferências, a facilidade de interpretação e comunicação e software disponível para agilizar a análise.

3.2.1 *Analytic Hierarchy Process* – AHP

O fundamento do *Analytic Hierarchy Process*, AHP consiste na decomposição e síntese das relações entre os critérios até que se chegue a uma priorização dos seus indicadores, aproximando-se de uma melhor resposta de medição única de desempenho (SAATY, 1991). De maneira geral, AHP é a teoria e a metodologia para medição relativa. Na medição relativa, não se está interessado na exata medição de algumas quantidades, mas sim nas proporções entre elas. A ideia central é a redução do estudo de sistemas a uma sequência de comparações aos pares.

O método de multicritério possui grandes aplicações em problemas que necessitam de decisões complexas. É um processo hierárquico, estruturado em níveis que facilita na avaliação dos critérios e alternativas para encontrar a solução (MARIS, SIVA e BARROS, 2009). Conforme (MATSUMOTA, 2018) explica, “a essência AHP considera os julgamentos humanos e as informações numéricas, pois converte os julgamentos em valores numéricos”. Como estrutura, o AHP possui três elementos como base para o método, sendo eles:

Construção de hierarquias: Destrinchar o problema em partes menores o torna mais compreensível e facilita análises individualizadas. Um problema complexo geralmente requer a estruturação dos critérios em uma hierarquia, por ser um procedimento natural do raciocínio humano. O método AHP permite a estruturação dos critérios, sendo a estruturação em árvore a mais utilizada, na qual o critério de mais alto nível é decomposto a níveis mais detalhados.

Elementos da hierarquia (definição de prioridades): Seja palpável ou abstrato, está conectado aos elementos do problema a ser solucionado. Tais prioridades são definidas a partir de comparações par a par dos elementos, à luz de determinado critério

Avaliação (consistência lógica): Analisar as decisões de forma organizada, levando em conta seus componentes e comparando-os entre si. As informações podem ser precisas ou baseadas no julgamento da importância dos elementos. Um peso ou prioridade é atribuído a cada elemento da hierarquia. O método permite, por meio da proposição de índices, avaliar a consistência da definição de prioridades, ou seja, é capaz de verificar a consistência dos julgamentos. Cotidianamente, as pessoas têm maior facilidade para expressar preferência entre critérios utilizando julgamentos verbais do que valores

numéricos. Desta forma, relações entre números e termos linguísticos foram propostas como forma de apoiar os tomadores de decisão no processo de definição das prioridades. E como exemplificação, a figura 8 representa a hierarquia do procedimento.

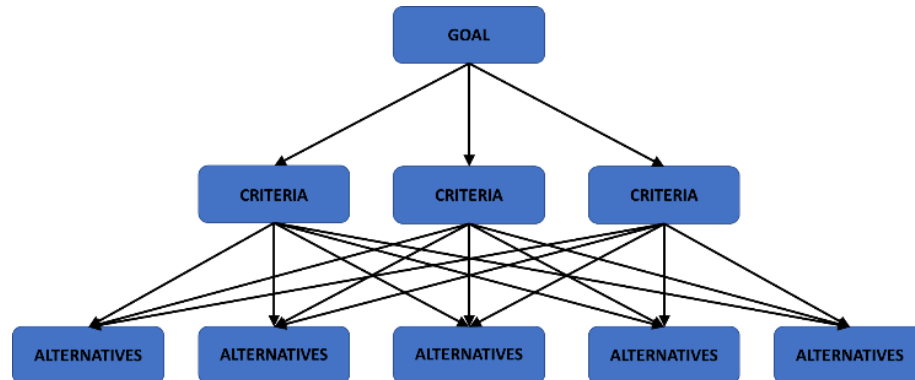


Figura 8 - Estrutura AHP. Autoria Própria.

A partir da análise dos dados, é possível determinar a ordem de importância de cada alternativa. Para isso, podem ser utilizados métodos quantitativos e qualitativos para comparar os critérios e definir seus pesos e prioridades. Por fim, com base no julgamento humano, identificamos os critérios mais importantes (MATSUMOTA, 2018). O autor finaliza comentando sobre o *Pairwise Comparison* (comparação paritária ou par a par), que relaciona os pesos dos critérios, levando em consideração a relação ao outro. A tabela 3 apresenta a comparação.

Escala	Definição
1	Igualmente preferida
3	Moderadamente preferida
5	Fortemente preferida
7	Muito Fortemente preferida
9	Extremamente preferida

Tabela 3 - Importância do Critério. Autoria Própria.

A quantidade de linhas e colunas da matriz depende da quantidade de critérios e alternativas, mas por ser um julgamento paritário, o elemento a_{ij} sempre será o inverso do elemento a_{ji} , ou seja, $a_{ij} = \frac{1}{a_{ji}}$, visto que são recíprocos. A partir da matriz elaborada, o próximo passo é a normalização da matriz, somando cada coluna e dividindo os elementos por este valor, seguindo pelo cálculo das médias locais, que são as médias de cada linha normalizada e o cálculo das propriedades globais (MARIS, SIVA e BARROS, 2009). Por

fim, há o cálculo da consistência lógica, definido pela equação 3, onde, $\lambda_{m\acute{a}x}$ é a média das médias calculadas, n é a ordem da matriz e RI são valores tabelados que variam com n . (SAATY, 2008).

Detalhando as variáveis e fórmulas a seguir:

CR = resultado da consistência;

RI = índice de Consistência Randômico obtido para uma matriz recíproca de ordem n (tabelado, variável de acordo com a ordem da matriz);

n = ordem da matriz de comparações (número de critérios);

λ_{max} = autovalor máximo da matriz de comparações.

$$CR = \frac{CI}{RI} \text{ e } CI = (\lambda_{m\acute{a}x} - n)/(n - 1)$$

Equação 4 - Consistência AHP. Autoria Própria.

Caso o resultado do cálculo da consistência dê maior ou igual a 0.1, a matriz está inconsistente e devemos avaliar os julgamentos.

No presente estudo, elaboramos um script em Python para realizar todos os passos mencionados, e aplicar o conceito do AHP na análise dos cenários que serão elaborados, visando encontrar a melhor mobilização de equipes.

3.2.2 PROMETHEE

O *PROMETHEE - Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluation* é uma ferramenta usada para auxiliar na tomada de decisão diante de cenários com múltiplos critérios, “operando na ordenação, classificação e seleção de alternativas segundo critérios pré-estabelecidos” (MOREIRA, SANTOS e GOMES2019).

O método envolve conceitos e propriedades, os quais têm interpretações físicas ou econômicas, apresentando resultados plausíveis e sendo aplicado em diversas áreas socioeconômicas (ALMEIDA e COSTA, 2002) explicam que se deve atribuir um peso para cada critério e calcular “gradualidade de suplantação” para cada par de ação, como na expressão (4):

$$A(a, b) = P \sum P_j * H_j(a, b)$$

Equação 5 - Gradualidade PROMETHEE. Autoria Própria

no qual, $\sum P_j = 1$ e $H_j(a, b)$ são seis tipos de funções que se podem utilizar. Esse cálculo origina o valor chamado de fluxo Φ (Φ), variando entre 0 e 1.

Em nosso estudo, optamos na utilização do software *Visual PROMETHEE*, disponível para download na internet, que apresenta um layout simples e de fácil entendimento. O software possui funcionalidades gráficas, que serão utilizadas para representar os resultados

3.3 Linguagem de Programação

A programação computacional é uma habilidade essencial para o presente e o futuro, se estendendo para diversos aspectos, desde desenvolvimentos pessoais até impactos na sociedade como um todo. Através da programação, podemos criar softwares, aplicativos, websites, jogos e sistemas de inteligência artificial, moldando a tecnologia para atender às nossas necessidades.

De acordo com (FONSECA, 2007), “uma linguagem de programação torna-se assim, entre outras coisas, uma notação formal para a descrição de um algoritmo”, e o autor completa que a linguagem deve ser universal, e que qualquer solução possa ser encontrada através de um computador. Cada linguagem de programação é projetada para atender a um conjunto específico de necessidades, como para desenvolvimentos matemáticos, páginas de web, aplicativos e outros. Dessa forma, buscou-se encontrar, aplicando as linguagens Python e R, soluções para as problemáticas propostas, baseando-se em conceitos matemáticos e analíticos.

3.3.1 Python

O Python é uma linguagem de programação versátil e poderosa, usada para uma ampla variedade de aplicações, desde modelos matemáticos simples, a desenvolvimento web e automatização de processos. A linguagem é conhecida por ter uma sintaxe simples e intuitiva, sendo uma ótima opção para novos usuários, visto que conseguem alcançar resultados de forma rápida, como (RAMOS, 2021) relata. Além da sintaxe fácil, o Python

conta com uma enorme gama de bibliotecas, o que o torna uma ferramenta completa e que motiva sua utilização em aplicações como inteligência artificial, bancos de dados, aplicativos móveis e outras (MENEZES, 2010).

A fim de agilizar o processo de análise, principalmente na etapa de multicritérios, para esse estudo, foi escolhido a aplicação da linguagem Python para desenvolver a modelagem do método AHP, visto a facilidade de manipular os dados e possuir as bibliotecas básicas para o modelo.

3.3.2 Linguagem R

O estudo probabilístico é uma ferramenta poderosa para trabalhar com projeções e problemas que possam causar incertezas, além de direcionar na tomada de decisões com embasamento matemático. Observando esse cenário, a utilização da computação é fundamental para não apenas facilitar o desenvolvimento, mas também para refinar os resultados. No âmbito, a linguagem R, como (MARTINS, 2016) disserta em seu estudo, é uma ferramenta poderosa, permitindo a sua extensão em diversas áreas de exatas, sendo a teoria da probabilidade uma delas. Com o intuito de encontrar a melhor mobilização do FEC, bem como o equilíbrio financeiro, a linguagem de programação R será útil para projetar a equação que norteará o estudo, aplicando o conceito de regressão multilinear.

4 Métodos e Ferramentas de Pesquisa

4.1 Objetivo do estudo

O principal objetivo do estudo é elaborar cenários de mobilização de equipes de manutenção de redes de distribuição, visando reduzir o indicador FEC. Para isso, foi elaborado a projeção do indicador de qualidade, considerando os dados de cinco anos de uma companhia de distribuição do estado do Rio de Janeiro referentes a indicador, quantidade de equipes e manutenções realizadas.

4.2 Procedimentos de Coleta de Dados

Este estudo se concentra na tomada de decisão sobre a mobilização de equipes em uma grande concessionária de distribuição, baseados em desenvolvimentos matemáticos e analíticos. O objetivo da simulação é avaliar o melhor cenário de equipes, considerando os fatores referentes a manutenção de rede elétrica. Desta maneira, busca-se analisar os dados de frequência de desarmes, manutenções realizadas e disponibilidades de equipes que realizam poda e reparos em componentes da rede.

A amostragem dos dados engloba cinco anos de atividade da concessionária, e a utilização desse conjunto limitado é justificada por algumas situações, especialmente quando se considera a falta de padrões nos registros das informações no passado. Além disso, mesmo com um conjunto de dados reduzido, é possível identificar tendências, padrões relevantes e uma confiabilidade maior comparado a um grande conjunto de dados com inconsistências e erros. E, por fim, há o desejo de refletir a realidade construtiva das redes com uma visão mais recente no respeito a automatização e modernização dos componentes de flexibilidade do sistema.

4.2.1 Frequência de Desarmes

As análises sobre interrupções de desarmes é um componente fundamental para a avaliação da efetividade de sistemas de segurança e para a identificação de falhas e vulnerabilidades do sistema. Assim, empregando os grupo-causas de interrupções, na tabela 1, consegue-se classificar as ocorrências de faltas, e mapear os principais ofensores.

Para o presente estudo, foram analisados os indicadores do FEC de cinco anos consecutivos, separando por quatro grupos: Degradação, Meio Ambiente, Terceiros e Outros. A figura 9 representa a fração dos grupos nos dados aplicados.

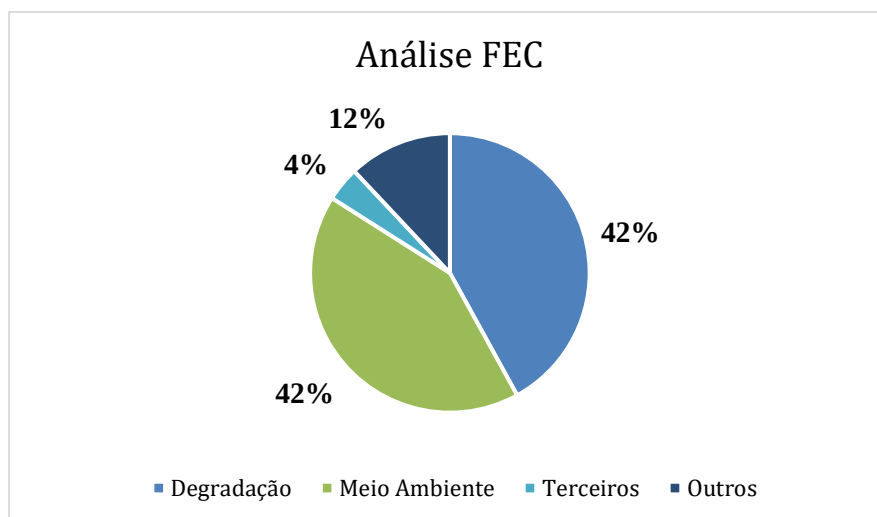


Figura 9 - Análise Indicador FEC. Autoria Própria.

Proveniente das análises nos dados, notou-se um padrão no comportamento dos indicadores referente a Degradação e o Meio Ambiente, no qual correspondem aproximadamente 84% do indicador ao longo dos anos. Dessa forma, atrelado aos conceitos de manutenção, adotou-se como premissa considerar o indicador projetado sendo o total das parcelas mencionadas. O pressuposto se justifica pelo fato dos impactos causados por depreciação dos componentes e a interação com o a vegetação estarem ligados diretamente a gestão da companhia, podendo ser reduzidos com uma boa gestão. A tabela 4, apresenta os valores de FEC que serão aplicados no equacionamento da regressão multilinear.

Ano	FEC Degradação	FEC Meio Ambiente
1	1,62	2,43
2	1,77	2,66
3	1,45	2,18
4	1,20	1,80
5	0,99	1,48

Tabela 4 - Indicadores FEC Estudo. Autoria Própria.

4.2.2 Manutenção e Custos Operacionais

A coleta e análise de dados de serviços executados e custos operacionais é uma prática essencial para empresas que buscam alcançar a excelência operacional e financeira. Para o estudo, reunimos os quantitativos de equipes e serviços realizados (produtividade), bem como os custos operacionais corrigidos pelo Índice de Preços ao Consumidor Amplo – IPCA, referente aos anos das demais variáveis. Os serviços de degradação e poda possuem mestres

de serviços que são padronizados pelos esforços e tempo de execução para sua precificação. Como estamos consolidando a base histórica dos serviços dos últimos cinco anos e nela contém um mix de trabalhos realizados, para o levantamento da tabela abaixo consideremos como produtividade os serviços realizados e custo operacional para contemplar o preço de todas as atividades realizadas. As tabelas 5 e 6 representam os valores.

Ano	Equipes Linha Viva	Produtividade (mil)	Custo Operacional (R\$ mil)
1	19	9,925	1.959,21
2	20	9,326	2.142,68
3	22	9,890	2.463,11
4	23	13,588	2.696,97
5	25	16,379	3.259,39

Tabela 5 - Dados Degradação. Autoria Própria.

Ano	Equipes Poda	Produtividade (mil)	Custo Operacional (R\$ mil)
1	21	87,205	2.475,05
2	22	69,543	2.693,93
3	24	89,369	3.071,20
4	26	89,530	3.484,64
5	27	95,444	4.023,42

Tabela 6 - Dados Meio Ambiente. Autoria Própria.

4.3 Procedimentos de Análise de Dados

Após o levantamento dos dados que são utilizados neste trabalho, foi elaborada o equacionamento da equação do FEC projetado, bem como os cenários para serem analisados com o método de multicritérios. Todos os dados foram extraídos da base de dados da concessionária, contemplando todas as ocorrências caracterizantes nos indicadores de FEC, e desta forma, segregamos as atividades fim com maior relação voltadas a este indicador de frequência de interrupções no sistema elétrico, ou seja, foi destacado na íntegra as causas de degradação da rede e da poda que são essenciais ao trabalho da manutenção da rede de distribuição dos alimentadores de 13kV e 25kV da respectiva distribuidora.

Para este caso foi utilizado o FEC projetado como critério preponderante para a base hierárquica na comparação dos demais critérios como o custo total e a produção total. As alternativas traduzidas pelos cenários como destaque foi objetivada no atingimento de ser a melhor concessionária do FEC a nível nacional, e também a opção de ficar no limiar do FEC regulatório.

4.4 Método do Cálculo da Regressão Multilinear

Como mencionado anteriormente, a Regressão Multilinear é o equacionamento utilizado para situações que envolvem mais de uma variável. E em nosso estudo, desejou-se encontrar a equação de projeção do indicador FEC, com base nas variações das três variáveis: quantidade de equipes, serviços executados e custos operacionais. A escolha das três vertentes se dá pelo fato de serem aspectos relacionados a manutenção das redes de distribuição, estando a cargo de estratégias bem-sucedidas para conter a interrupção nos sistemas. Além disso, as variáveis são independentes com relação ao FEC, visto que o sistema de rede está propício a sofrer impactos que estão fora da gestão da concessionária e a assertividade nas atividades de manutenção não garantem o fornecimento ininterrupto. A figura (6), apresentada no Capítulo 2 ilustra a relação de manutenção das vegetações com o indicador.

Nesse contexto, a equação desejada deverá ter a seguinte estrutura da equação (5):

$$FEC_{projetado} = \alpha + [(\beta_1 \times Qtd. Equipes) + (\beta_2 \times Produtividade) + (\beta_3 \times Custos Op.)]$$

Equação 6 - Equação FEC Projetado. Autoria Própria.

onde:

α = *coeficiente linear da reta;*

β_1 = *coeficiente angular relacionado a quantidade de equipes;*

β_2 = *coeficiente angular relacionado a produtividade;*

e β_3 = *coeficiente angular relacionado ao custo operacional.*

Os coeficientes serão calculados pela função *lm* presente na linguagem R, e através da ferramenta computacional e dos valores coletados, calcularemos os coeficientes da equação e elaboraremos os cenários de mobilização para serem aplicados nas análises de multicritérios.

4.5 Ferramentas Computacional

O desenvolvimento da ferramenta computacional constituiu em dois *scripts* de comandos, nas linguagens R e Python, para calcular a equação da projeção e aplicar o método

AHP, respectivamente. Para o cálculo da equação, utilizamos o compilador online, MyCompiler através do acesso por www.mycompiler.io/pt/online-r-compiler que é disponibilizado na web, que apresenta uma interface fácil e intuitiva, além de ser gratuito. No desenvolvimento do método AHP, utilizamos o ambiente de desenvolvimento integrado Spyder, que é uma multiplataforma de código aberto e gratuito. Os códigos elaborados serão apresentados no Apêndice do documento.

Para a aplicação do método PROMETHEE, optamos por utilizar o software *Visual Promethee*, que auxilia na tomada de decisões complexas, permitindo interação de critérios múltiplos, simulação e modelos gráficos de visualização dos resultados.

4.6 Equacionamento e Simulação da Regressão Multilinear

Como mencionado, para realizar a projeção de uma determinada meta ou indicador, é necessário desenvolver modelos matemáticos que avaliem dos dados de entrada e mensuram as relações para elaborar a equação fundamental da projeção. Nesse sentido, a escolha pela linguagem R nos permite a desenvolver uma equação de maneira fácil, através do input de dados e utilização da função *lm* da linguagem R.

Em nosso estudo, iremos detalhar duas equações que se complementam entre si para obtenção do indicador FEC projetado. A primeira equação será referente ao indicador relacionado com a degradação dos equipamentos de rede, como defeitos em estruturas, conexões, redes entre outros. A segunda equação estará relacionada com o impacto referente a vegetação, considerando as interrupções geradas por galhos de árvores e questões do meio ambiente. A divisão do equacionamento está sendo feita devido as equipes que atuam nos dois escopos de serviços serem diferentes, tendo particularidades e mobilizações distintas. Assim, o indicador projetado final será a soma dos resultados das duas equações.

A fim de entender de maneira matemática a relação entre as variáveis e a projeção do indicador, realizamos os testes de regressão multilinear apenas entre os indicadores apresentados na tabela 4 e cada uma das variáveis descritas nas tabelas 5 e 6. Como medida de referência entre as relações, consideramos o Coeficiente de Determinação R^2 , que é a soma dos quadrados dos erros da reta de regressão e calculado pela função *lm*. A tabela 7 apresenta os valores para cada uma das variáveis.

Variável	R2 – Reta Meio Ambiente	R2 – Reta Degradação
Qtd. Equipes	88,97%	88,39%
Produtividade	68,88%	90,35%
Custos Operacionais	90,97%	88,88%

Tabela 7 - Teste Coeficiente R2 das Retas. Autoria Própria.

Considerando os valores das tabelas 5 e 6, declaramos as variáveis de quantidade de equipes, produtividade e custos operacionais, classificando como variável *target* a quantidade de equipe, e as demais como variáveis *preditoras*. As tabelas 8 e 9 representam os pontos de interseção com relação as variáveis e as equações, bem como a equação de FEC Projetado que representam o equacionamento de fato.

Degradação	
Classe	Valor Interseção
Coeficiente Linear	4,8704504
Qtd. Equipes	-0,2168177
Produtividade	-0,0910575
Custo Operacional	0,0009339
Coeficiente R2	96,41%

Tabela 8 - Coeficientes Reta Degradação. Autoria Própria.

Equação (6) da projeção do indicador Degradação:

$$FEC\ Deg = 4,870454 + (-0,269177 \times Qtd.\ Equipes) + (-0,0910575 \times Produt.) + (0,0009339 \times Custo\ Oper.)$$

Equação 7 - Projeção FEC Degradação. Autoria Própria.

$$Fec_{Meio\ Ambiente} = 5,55402 + (-0,017913 \times Qtd.\ Equipes) + (-0,017535 \times Produtividade) + (-0,000477 \times Custo\ Operacional)$$

Meio Ambiente	
Classe	Valor Interseção
Coeficiente Linear	5,554032
Qtd. Equipes	-0,017913
Produtividade	-0,017535
Custo Operacional	-0,000477
Coeficiente R2	98,63%

Tabela 9 - Coeficientes Reta Meio Ambiente. Autoria Própria.

Equação 7 da projeção do indicador Meio Ambiente:

$$FEC\ meio\ amb. = 5,55402 + (-0,017913 \times Qtd.\ Equip.) + (-0,017535 \times Produt.) + (-0,000477 \times Custo\ Op)$$

Equação 8 - Projeção FEC Meio Ambiente. Autoria Própria.

Como análise, é possível identificar que a soma dos quadrados dos erros apresentou ótimos resultados em ambas as equações, com desvios inferiores a 5%. A fim de simular as equações anteriores, desenvolvemos computacionalmente as equações e plotamos gráficos considerando uma variação de equipes entre as quantidades de 19 até 29. A tabela (10) representa os valores obtidos.

Simulações Projeções FEC		
Qtd. Equipes	Meio Ambiente	Degradação
19	2,66	2,13
20	2,51	1,99
21	2,36	1,84
22	2,21	1,70
23	2,05	1,55
24	1,90	1,41
25	1,75	1,26
26	1,60	1,12
27	1,45	0,98
28	1,29	0,83
29	1,14	0,69

Tabela 10 - Simulação Projeção FEC. Autoria Própria.

Em ambos os cálculos, a função *lm* apresentou os erros residuais padrões das retas, o que pode auxiliar para identificar as margens de desvios que as equações possam gerar. Para a equação da projeção do meio de degradação, obtivemos como média absoluta o valor de $\Delta = 0,0477$ para os resíduos, e para a equação de meio ambiente o valor igual a $\Delta = 0,03781$. Essas médias absolutas resultaram nas margens de erros dos equacionamentos. As equações 8 e 9 demonstram os resultados.

$$\Delta_{degradação} = \frac{|0,05678 + 0,08416 + 0,05008 + 0,03507 + 0,01237|}{5} = 0,0477$$

Equação 9 - Média Absoluta Residual Reta Degradação. Própria Autoria.

$$\Delta_{meio ambiente} = \frac{|0,038205 + 0,0441 + 0,08783 + 0,056319 + 0,002282|}{5} = 0,03781$$

Equação 10 - Média Absoluta Residual Reta Meio Ambiente. Própria Autoria.

As figuras 10 e 11 representam os valores obtidos, bem como as curvas plotadas.

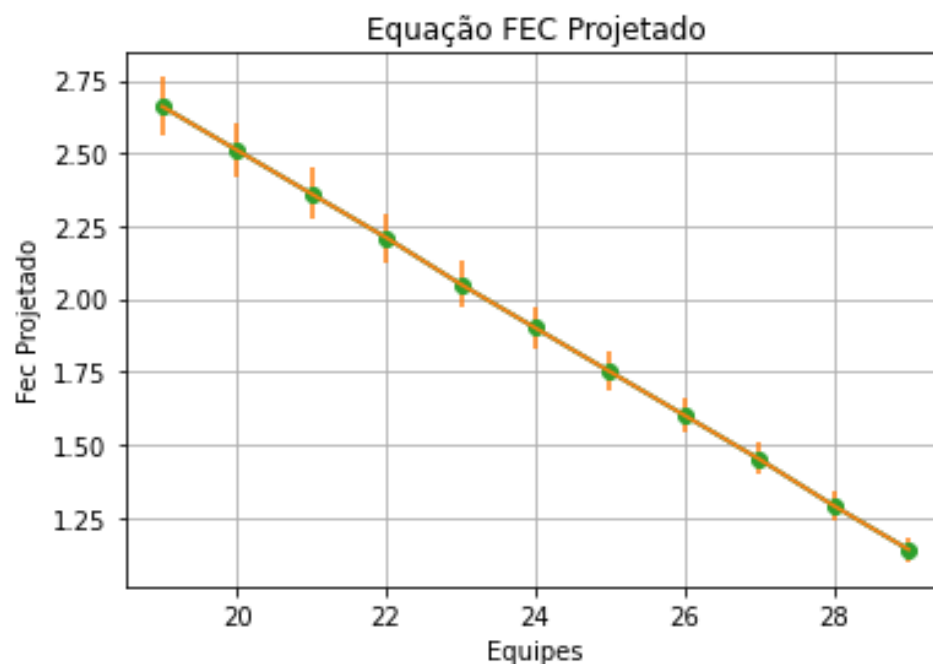


Figura 10 - Simulação Reta Meio Ambiente. Autoria Própria.

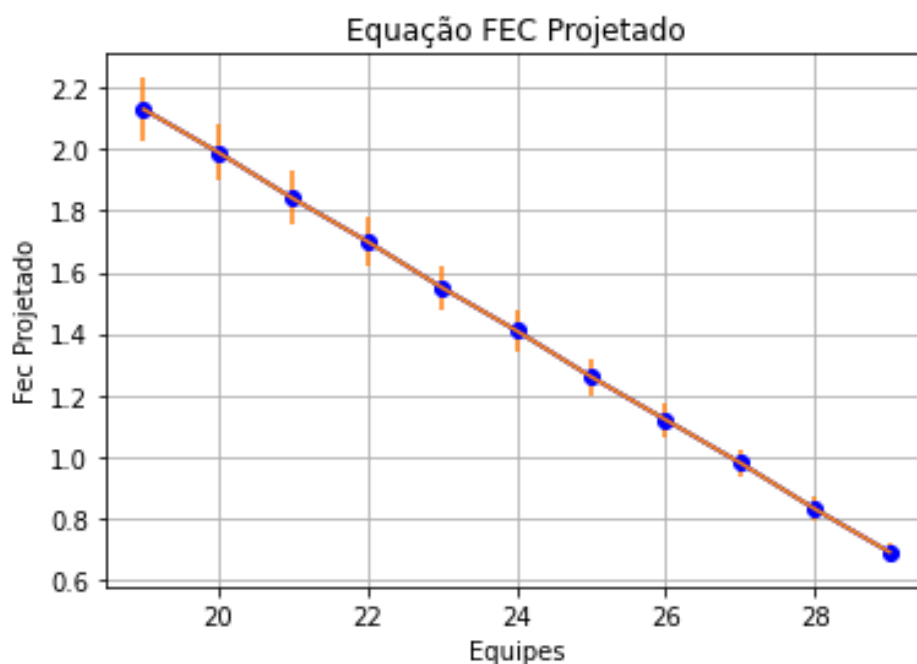


Figura 11 - Simulação Reta Degradação. Autoria Própria.

A fim de analisar os extremos das equações, realizaram-se testes que pudessem provocar resultados divergentes dos conceitos de indicadores de qualidade. Como primeira premissa, considerou-se o valor de equipes igual a zero, e essa combinação resultou em uma projeção de indicador FEC igual a 10,42. Este resultado é aceitável, visto que a inexistência

de equipe resulta em ter o sistema sem manutenção, o que elevaria o indicador de frequência consideravelmente. O segundo teste de erro foi feito aumentando ao máximo o número de equipes até alcançar o indicador negativo. Para isso, seria necessário a combinação de 36 equipes de poda e 34 equipes de linha viva, porém no contexto do estudo, não é possível ter interrupções de energia elétrica negativa, sendo este número sempre igual ou maior que zero.

Tendo as equações das projeções do indicador FEC e os testes realizados, podemos elaborar os cenários de mobilização de equipes, visando encontrar a melhor composição para a companhia.

4.7 Elaboração dos Cenários

Como (FERREIRA, OLIVEIRA, PINHO, HENRIQUES, FORTES, NUNES, POSE, OLIVEIRA, 2021) menciona em seu estudo, “garantir a gestão eficiente das despesas é vital para a rentabilidade das distribuidoras de energia elétrica”, além de contribuir na melhoria do serviço prestado pela concessionária. Neste viés, a elaboração de cenários para encontrar a mobilização que traga os resultados do indicador esperado, mas também a análise da composição financeira, que é de suma importância para todas as companhias.

No presente estudo, elaboramos três visões para realizar as análises de multicritérios e definir qual opção melhor se enquadra para a companhia. Os três cenários estão apresentados abaixo:

- Cenário 1: Composição de equipes que alcance o limite de superação do indicador FEC da companhia de estudo, no valor de 3,16.
- Cenário 2: Mobilização para alcançar o melhor resultado de indicador FEC das concessionárias que se enquadram na categoria de quantidades de clientes semelhantes à da empresa do estudo. O indicador desejado tem o valor de 2,80.
- Cenário 3: Arranjo de mão de obra voltada para atingir o indicador limite estipulado pela agência reguladora, com indicador igual a 4,50.

Com a definição dos cenários, iremos projetar os indicadores e encontrar as quantidades de equipes necessárias para atingir os objetivos, além de compor, principalmente, os custos operacionais, que será fundamental para as tomadas de decisões.

4.8 Método de Multicritérios

Na última etapa do desenvolvimento do trabalho, iremos aplicar os conceitos de multicritérios para comparar os cenários e determinar a modelagem ideal. Para o método PROMETHEE, utilizaremos a interface do *software* para indicar os valores dos cenários, e aplicar as funcionalidades, como peso entre as variáveis e função de preferência, iguais para todas.

No método AHP, efetuaremos as análises diretas entre as variáveis e os cenários, classificando-as com os valores de importâncias indicadas na tabela 1. Uma vez definida a estrutura hierárquica, faz-se a comparação par a par dos critérios com objetivo de definir a importância relativa dos critérios. A figura 12 exemplifica a matriz de comparação paritária entre os critérios específicos do critério global, representa como as avaliações serão feitas.

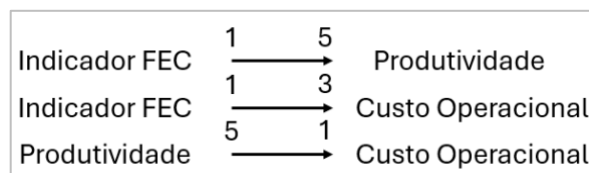


Figura 12 - Exemplo de Priorização AHP. Autoria Própria.

Uma vez definida a estrutura hierárquica, faz-se a comparação par a par dos critérios com objetivo de definir a importância relativa dos critérios. A matemática formulada é realizada no pareamento do FEC com a Produtividade, Produtividade com o Custo, e Custo com FEC. A matriz de comparação paritária entre os critérios específicos do critério global. Os resultados obtidos nas elaborações dos cenários, bem como as análises de multicritérios serão apresentadas no próximo capítulo. Além disso, serão realizadas as análises dos resultados e a indicação do modelo ideal de mobilização de equipes.

5 Análise dos Resultados

A seguir, serão mostrados os resultados obtidos na montagem dos cenários de mobilização, bem como as análises realizadas com o método de multicritérios.

5.1 Cenários de Mobilização

Como mencionado no capítulo 3, foram definidos três cenários de mobilização de equipes, em torno de valores de indicadores desejados. Tendo como base as definições dos valores na secção 4.7, encontramos os seguintes valores para as projeções, expostos nas tabelas 11 e 12 de projeção FEC Meio Ambiente e Degradação.

Cenários	Equipes Poda	Produtividade (por mil)	Custo Op. (R\$ por mil)	FEC Projetado
1	26	93,68	3874,52	1,60
2	28	100,88	4172,56	1,29
3	23	82,87	3427,46	2,05

Tabela 11 - Projeção FEC Meio Ambiente. Autoria Própria.

Cenários	Equipes LV	Produtividade (por mil)	Custo Op. (R\$ por mil)	FEC Projetado
1	23	12,42	2998,74	1,55
2	23	12,42	2998,74	1,55
3	17	9,18	2216,46	2,42

Tabela 12 - Projeção FEC Degradação. Autoria Própria.

De forma consolidada, a tabela 13 resume:

Cenários	Equipes Poda	Qtd. Equipes LV	FEC Projetado
1	26	23	3,15
2	28	23	2,85
3	23	17	4,47

Tabela 13 - Projeção Final. Autoria Própria.

E por fim, a tabela 14 apresenta o resumo dos cenários, considerando o indicador projetado, o somatório de produtividades e custos operacionais:

Cenários	FEC Projetado	Produtividade (por mil)	Custo Op. (R\$ por mil)
1	3,15	106,10	6873,26
2	2,85	113,30	7171,30
3	4,47	92,05	5643,92

Tabela 14 - Cenários de Mobilização. Autoria Própria.

5.2 Análise AHP

A análise AHP é um método hierárquico e baseado no julgamento dos critérios das alternativas. Para realizar a análise, elaboramos um script em Python que realiza todas as etapas de desenvolvimento, e ilustra o cenário ideal para a mobilização. Dessa forma, a primeira etapa é classificar e priorizar os critérios do estudo: FEC Projetado, Produtividade e Custo Operacional. Como os principais objetivos do estudo estão interligados com a redução do FEC e a saúde financeira da companhia, ambas variáveis tiveram peso maior na decisão em consideração a Produtividade. Assim, a ordem de priorização seria, respectivamente, FEC Projetado, Custo Operacional e Produtividade. A tabela (15) ilustra os critérios e as prioridades feitas.

	FEC Projetado	Produtividade	Custo Op.
FEC Projetado	1	5	3
Produtividade	1/5	1	1/5
Custo Op.	1/3	5	1

Tabela 15 - Matriz Prioridade Critérios. Autoria Própria.

As etapas seguintes do AHP resumem-se em realizar procedimentos matemáticos de soma, média, normalização e peso dos critérios, a fim de encontrar o ranking de prioridade entre os três critérios e a consistência das avaliações. A figura (13) representa as duas mensurações mencionadas, podendo ser observado que a variável FEC é a mais importante para a nossa mobilização e que o cálculo de consistência está dentro de padrões aceitáveis.

Ranking Critérios:	
	Prioridades (%)
FEC	60.7
Produtividade	9.0
Custo Op.	30.3

Cálculo de Consistência: 0.08	

Figura 13 - Ranking e Consistência AHP. Autoria Própria.

Seguindo no método, a primeira etapa são as avaliações entre as alternativas, que em nosso estudo são os cenários. Os procedimentos são semelhantes aos feitos na avaliação dos critérios, porém de maneira comparativa entre as alternativas dentro de cada critério. Ou seja, primeiramente será comparado os cenários, levando em consideração o critério FEC, e assim

por diante para os demais critérios. A figura 14 representa as comparações e prioridades que foram feitas no método.

Critério 1 - FEC:				
	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3	Prioridade
Cenário 1	1.0	0.3333	5.0	0.3033
Cenário 2	3.0	1.0000	5.0	0.6070
Cenário 3	0.2	0.2000	1.0	0.0896

Critério 2 - Produtividade:				
	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3	Prioridade
Cenário 1	1.0000	1.0000	3.0	0.4286
Cenário 2	1.0000	1.0000	3.0	0.4286
Cenário 3	0.3333	0.3333	1.0	0.1428

Critério 3 - Custos Operacionais:				
	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3	Prioridade
Cenário 1	1.0000	3.0	0.3333	0.2605
Cenário 2	0.3333	1.0	0.2000	0.1061
Cenário 3	3.0000	5.0	1.0000	0.6334

Figura 14 - Matriz de Prioridades das Alternativas. Autoria Própria.

E como resultado, a figura 15 ilustra que o Cenário 2 foi o mais indicado, seguido pelo Cenário 1 e Cenário 3, respectivamente.

Resultado:	
	Prioridade Final (%)
Cenário 1	30.16
Cenário 2	43.92
Cenário 3	25.92

Figura 15 - Ranking Final AHP. Autoria Própria.

5.3 Análise PROMETHEE

Para realizar a análise do método PROMETHEE foi utilizado o software *Visual PROMETHEE*. Os cenários da tabela 10 foram adicionados na interface de cadastro e os gráficos gerados automaticamente pelo sistema. A figura (16) mostra os valores de input e os parâmetros utilizados.

Mobilização		FEC	Produtividade	Custo Op.
Unit				
Cluster/Group				
Preferences				
Min/Max		min	max	min
Weight		1,00	1,00	1,00
Preference Fn.		Usual	Usual	Usual
Thresholds		absolute	absolute	absolute
- Q: Indifference		n/a	n/a	n/a
- P: Preference		n/a	n/a	n/a
- S: Gaussian		n/a	n/a	n/a
Statistics				
Minimum		2,85	92,05	5643,92
Maximum		4,47	113,30	7171,30
Average		3,49	103,82	6562,83
Standard Dev.		0,70	8,82	661,06
Evaluations				
Cenário 1		3,15	106,10	6873,26
Cenário 2		2,85	113,30	7171,30
Cenário 3		4,47	92,05	5643,92

Figura 16 - Interface de cadastro do Visual PROMETHEE. Autoria Própria.

A partir da inserção de valores, o software calculou e apresentou os resultados em forma gráfica e de tabela das figuras 17 e 18, respectivamente.

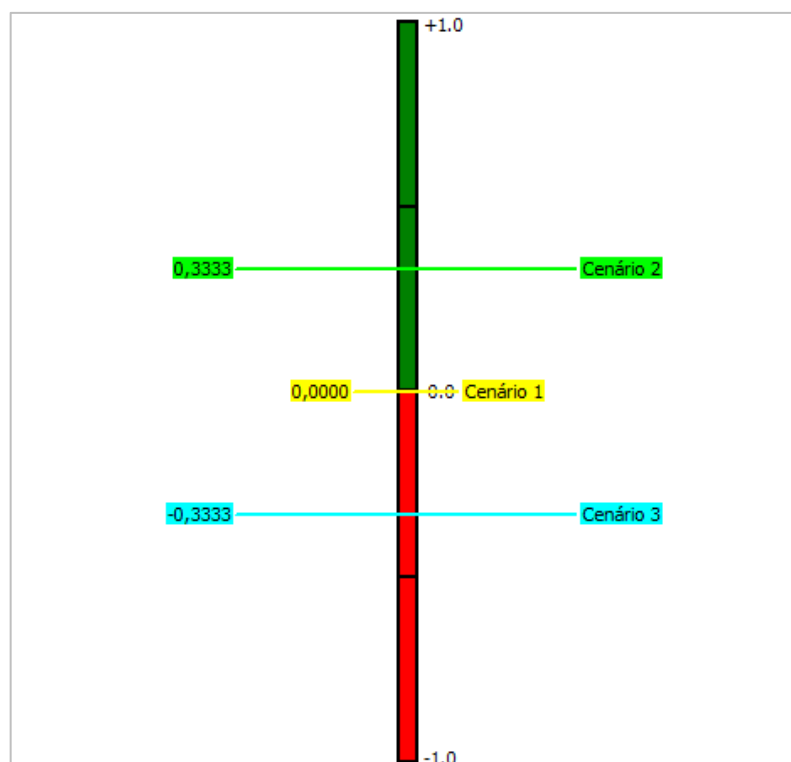


Figura 17 - Gráfico de Ranking Visual PROMETHEE. Autoria Própria.

Rank	Car		Phi	Phi+	Phi-
1	Cenário 2	●	0,3333	0,6667	0,3333
2	Cenário 1	■	0,0000	0,5000	0,5000
3	Cenário 3	■	-0,3333	0,3333	0,6667

Figura 18 - Tabela de Ranking Visual PROMETHEE. Autoria Própria.

Como podemos observar, o Cenário 2 apresentou o maior valor de *Phi*, sendo indicado como o melhor para a companhia.

5.4 Resultado

A aplicação do método de multicritérios é fundamental para direcionar na tomada de decisões, principalmente quando envolve resultados e indicadores primordiais para as companhias. Dessa forma, a aplicação dos métodos AHP e PROMETHEE foi essencial para o estudo, e em ambas as análises, o Cenário 2 foi indicado como o ideal para a mobilização de equipes.

6 Conclusão

A manutenção das redes de distribuição de energia elétrica ainda é um processo que possui obstáculos a serem alcançados, principalmente nos critérios de investimento, custos operacionais e assertividade nas execuções das atividades, visando o melhor rendimento e custo-benefício.

Dessa forma, objetivando atender os clientes com o melhor fornecimento, além de atender os níveis básicos estipulados pela ANEEL, faz-se necessário analisar e estudar os indicadores FEC e DEC, bem como relacionar as manutenções realizadas e os investimentos propostos.

O presente estudo apresentou uma modelagem matemática focada no indicador de frequência, que pode ser considerado um dos mais relevantes voltados a qualidade de energia para as concessionárias, visto que se não houver desarme, não há tempo de interrupção e/ou atendimento, ou seja, não havendo ocorrências de interrupções para o FEC não temos a contabilização do DEC, também não é contabilizado compensações financeiras, multas e demais violações de qualidade e continuidade para as distribuidoras. A metodologia aplicada, por sua vez, buscou encontrar o equacionamento ideal para projetar o FEC, visando as quantidades de equipes, as produtividades e os custos operacionais. Além disso, procurou-se por meio das análises de multicritérios, a idealização do melhor cenário de mobilização de equipes, visando não apenas o indicador, mas a saúde financeira da companhia. Cabe destacar que a escolha do FEC de forma mais assertiva para a mobilização de equipes agrega e contribui de forma direta e indireta com outros requisitos importantes, tais como alavancagem financeira, sustentabilidade de resultados voltados a qualidade do produto, mitigação de compensações financeiras, diminuições de reclamações nos canais de atendimento, e na elevação da satisfação dos consumidores atendidos.

Através das pesquisas e desenvolvimentos computacionais, foi possível identificar que a Regressão Multilinear pode ser empregada para projetar os indicadores, mesmo que possa conter erros que são considerados como controláveis, abaixo de 5%. E, mostrou que a aplicação de conceitos de multi-análises é fundamental para nortear em tomadas de decisões que envolvem variáveis distintas e importantes para a companhia. O estudo concluiu que a mobilização de equipes do Cenário 2 é a mais indicada para a concessionária, tendo em vista

que atenderia os limites de FEC estipulados pela agência reguladora, bem como não geraria o maior impacto financeiro em custos operacionais.

A análise é de extrema importância para se ter um balizador de até quanto é viável a companhia investir sem prejuízo, além de servir de base para outros estudos e trabalhos futuros envolvendo possíveis novos cenários de restrição orçamentária ou de alavancagem de investimentos, bem como para o foco em outros resultados com outras variáveis, como exemplo:

- Objetivo dos Conjuntos Elétricos do DEC;
- Projetar mobilização e indicador de forma clusterizada (regionalizada);
- Prever mais variáveis dos indicadores de continuidade;
- Melhorar satisfação dos clientes pelo Tempo Médio de Atendimento – TMA;
- Mitigar impactos de multas e compensações de violações de prazos regulatórios.

E, como complementação e aprimoramento contínuo deste trabalho, é plenamente pertinente e possível através do estudo realizado, buscar uma forma de calcular o valor de DEC e FEC mínimos para a Distribuidora realizar seus investimentos, utilizando a premissa de que após alcançado o valor limite a distribuidora poderá continuar investimento na rede de distribuição, no qual, haverá um momento em que esse valor não terá mais retorno em indicador. Dessa forma, a ideia seria simular esse valor para balizar as distribuidoras em até quanto podem investir, no âmbito da manutenção da rede, para terem retorno financeiro e o reconhecimento dos indicadores através dos serviços prestados.

Referências bibliográficas

ABRADEE. **Setor Elétrico.** www.abradee.org.br, 2021. Disponível em: <<https://www.abradee.org.br/setor-eletrico/redes-de-energia-eletrica/>>.

ALMEIDA, A. T.; COSTA, A. P. C. S. **Modelo de Decisão Multicritério para Priorização de Sistemas de Informação com Base no Método Promethee**. Gestão & Produção, v.9, n.2, p.201-214, 2002.

ALMEIDA, H. M. **Análise de Regressão Linear Múltipla com estudo relacionado a horas de máquinas paradas na linha de produção de uma indústria de calçados**. Universidade Estadual da Paraíba. Campina Grande, 32 p. 2014.

ANEEL, **Manual de Contabilidade do Setor Elétrico – MCSE**, 2022.

ANEEL. **Procedimento de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional – PRODIST**. Módulo 8 – Qualidade da Energia Elétrica, 2021.

ANEEL. **Procedimentos de Regulação Tarifária – PRORET**. Submódulo 2.3 – Base de Remuneração Regulatória, v. 2.0 C, 2022.

ANEEL. **Relatórios e Indicadores, 2024**. Disponível em: < <https://www.gov.br/aneel/pt-br/centrais-de-conteudos/relatorios-e-indicadores>>.

AYLA, N. F; FRANK, A. G. **Métodos de análise multicritério: uma revisão das forças e fraquezas**. XIII SEPROSUL – Semana de la Ingeniería de Producción Sudamericana, Gramado, 2013.

BRANCHER, D. L. **Monitoração da Qualidade de Energia Elétrica em Consumidores Industriais e Comerciais**. Dissertação de Mestrado da Universidade Federal de Santa Catarina, 2008.

CANDIA, H.; BELL, G.; ELIZONDO, D. **Executing Energized Re-Conductoring of Transmission Lines Projects**. Electrical Transmission and Substation Structures Conference 2012, Ohio – USA, 2012.

FERREIRA, V. H.; OLIVEIRA, L. B.; PINHO, A. C.; HENRIQUES, H. O.; FORTES, M. Z.; NUNES, F. A.; POSE, A. C. A.; OLIVEIRA, R. B. **Análise do Impacto das Ações de Manutenção nos Indicadores de Continuidade em Redes de Distribuição utilizando Machine Learning e Regressão com Dados em Painel**. Sociedade Brasileira de Automática, vol. 1, n. 1. 2021.

FONSECA FILHO, C. **História da Computação – O Caminho do Pensamento e da Tecnologia**. EDIPURCRS, p. 205. Porto Alegre, 2007.

FRANÇA, J. C. P; MELO, T. F. M; VARGAS, T. M. **Modelo de Regressão Linear Múltipla e Aplicações**. Brazilian Journal of Development, Curitiba, v.7, n.7, p. 74294-74313. 2021.

GOIS, L. B. B. **Poda de Árvores Urbanas: Análise da Interferência da Vegetação na Rede de Distribuição Elétrica**. Monografia apresentada no curso de Engenharia Elétrica. Universidade Veiga de Almeida, Rio de Janeiro, 2022.

LAABASSI H.; MAAROUFI M.. **System dynamics modelling method optimizing CAPEX/OPEX Performance in electrical distribution networks**. J. Electrical Systems 16-4: 550-568, 2020.

LIGHT S.E.S.A. **Manual do Ativo Imobilizado – MAI**. Rio de Janeiro, 2012.

LIGHT S.E.S.A. **PTL0389DT/17-R1 – Procedimento para Inspeção e Programação da Manutenção Preventiva de Redes Aéreas de Distribuição**. Rio de Janeiro, 2017.

LONGARAY, A. A.; MUNHOZ, P. R. S.; TONDOLO, V. A. G.; QUADRO, R. C. **Análise multicritério de decisão e sua aplicação na gestão da saúde: uma proposta de revisão sistemática da literatura**. Universidade Nove de Julho, Exacta, vol. 14, núm. 4, pp. 609-618. São Paulo, 2016.

MARIS, C. S.; SILVA, D. O.; BARROS, M. S. **O Uso do Método de Análise Hierárquica (AHP) na Tomada de Decisões Gerenciais – Um Estudo de Caso**. XLI SBPO 2009 - Pesquisa Operacional na Gestão do Conhecimento, 2009.

MARTINS, N. D. C. **Programação em R no Estudo de Probabilidades**. Dissertação de Mestrado em Estatística. Universidade do Minho, 2016.

MATSUMOTA, L. **Analytic Hierarchy Process (AHP) – Método de apoio a decisões complexas**. Digital Strategy And It Innovation, 2018.

MENEZES, N. N. C. **Introdução à Programação com Python - Algoritmos e lógica de programação para iniciantes**. Novatec Editora, p. 10. São Paulo, 2010.

MOREIRA, M. A. L.; SANTOS, M.; GOMES, C. F. S. **Desenvolvimento de Ferramenta Computacional em Python: implementação e estudo de caso dos métodos PROMETHEE I, II e III.** XIX Simpósio de Pesquisa Operacional e Logística da Marinha. Rio de Janeiro, 2019.

PESSANHA, J. F. M; SOUZA, R. C; LAURENCEL, L. C. **Um Modelo de Análise Envoltória de Dados para o Estabelecimento de Metas de Continuidade do Fornecimento de Energia Elétrica.** Pesquisa Operacional, v. 27, n. 1, p.51-83, 2007.

RAMOS, R. M. **Determinação da Meta dos Indicadores de Continuidade DEC e FEC Considerando Custos Operacionais e Investimentos na Rede de Distribuição.** Dissertação de Mestrado apresentada ao PPGEET da UFF, Niterói/RJ, 2021.

SAATY, T. L. **Decision making with the analytic hierarchy process.** Int. J. Services Sciences, vol. 1, nº. 1, pp.83–98, 2008.

SILVA, B. A.; SOUZA, D. C. R.; FORTES, M. Z.; HENRIQUES, H. D. O. **Power quality (PQ) analysis in a power feeder that supply different social class consumers.** International Journal of Emerging Electric Power Systems, 2020.

Apêndices A

Código desenvolvido em Python:

1) Retas das equações da projeção do FEC:

```
import numpy as np

import matplotlib.pyplot as plt

import pandas as pd

x = np.linspace(19, 29, 11)

# #Reta Meio Ambiente

b = 5.554032

a1 = -(0.017913)

a2 = -(0.017535)

a3 = -(0.000477)

prod = 3.603

custo = 149.02

prod_poda = x*prod

custo_poda = x*custo

reta = np.round(b + (a1*x) + (a2*prod*x) + (a3*custo*x),2)

reta_meioambiente = plt.plot(x, reta)

erro_padrao = 0.03781*reta;#print(erro_padrao)

resultado_meioambiente = pd.DataFrame(reta, columns=(['Projeção']))

print(resultado_meioambiente)
```

```

plt.errorbar(x, reta, yerr = erro_padrao)

plt.plot(x, reta, marker = 'o')

plt.xlabel("Equipes")

plt.ylabel('Fec Projetado')

plt.title('Equação FEC Projetado')

plt.grid(True)

plt.show()

#Reta Degradação

b = 4.8704504

a1 = -(0.2168177)

a2 = -(0.0910575)

a3 = (0.0009339)

prod = 0.540

custo = 130.38

prod_poda = x*prod

custo_poda = x*custo

reta = np.round(b + (a1*x) + (a2*prod*x) + (a3*custo*x),2)

reta_degradacao = plt.plot(x, reta)

erro_padrao = 0.0477*reta;#print(erro_padrao)

reta_degradacao = plt.plot(x, reta)

plt.errorbar(x, reta, yerr = erro_padrao)

plt.plot(x, reta, marker = 'o', color = 'b')

plt.xlabel("Equipes")

```

```
plt.ylabel('Fec Projetado')

plt.title('Equação FEC Projetado')

plt.grid(True)

plt.show()
```

2) Método AHP:

```
import numpy as np

import pandas as pd

print("") # Espaçamento

# Cálculo das prioridades dos critérios

tam_matrix = 3 # Ordem da Matriz de Critérios

# Definindo Nomes das Linhas e Colunas Aplicadas:

columns_names = ['FEC', 'Produtividade', 'Custo Op.']

columns_names2 = ['FEC', 'Produtividade', 'Custo Op.', 'Média']

columns_names3 = ['FEC', 'Produtividade', 'Custo Op.', 'Prioridade']

row_names1 = ['FEC', 'Produtividade', 'Custo Op.']

row_names2 = ['FEC', 'Produtividade', 'Custo Op.', 'Soma']

# Matriz Indicação de Critérios

crit = np.round(np.array([[1, 5, 3], [1/5, 1, 1/5], [1/3, 5, 1]]),4) # Matriz com as escolhas

matrix1 = pd.DataFrame(crit, columns = columns_names, index = row_names1)

print('Matriz Critérios:')

print(matrix1) # Matriz com os Valores de Prioridades

print('-----')

print("")
```

```

soma_row = np.sum(crit, axis = 0) # Soma das Colunas

add_soma = np.append(matrix1, [soma_row], axis = 0) # Inclui na Matriz 1

matrix2 = pd.DataFrame(add_soma, columns = columns_names, index = row_names2)

norm = np.round(crit/soma_row,3) # Normalização da Tabela

matrix3 = pd.DataFrame(norm, columns = columns_names, index = row_names1)

print('Matriz Normalizada:')

print(matrix3)

print('-----')

print("")

med = np.round(np.sum(norm, axis = 1)/3,3) # Média das Linhas Normalizadas

med_colum = np.hstack((matrix3, np.atleast_2d(med).T))

matrix4 = pd.DataFrame(med_colum, columns=columns_names2, index = row_names1)

print('Matriz Prioridade:')

print(matrix4) # Matriz com Média de cada Linha

print('-----')

print("")

peso_crit = np.round(med*crit,3)

soma_peso_row = np.sum(peso_crit, axis = 1)

matrix5 = pd.DataFrame(peso_crit, columns = columns_names, index = row_names1)

print('Matriz Peso:')

print(matrix5)

print('-----')

print("")

```

```

mlamb_max = np.round(np.matrix([soma_peso_row, med, soma_peso_row/med]),3).T
#matriz com a soma...

# das linhas da matriz 5, com as medias calculadas e o produtos entre os dois

matrix_lamb_max = pd.DataFrame(mlamb_max, columns = ['Soma Pesos', 'Peso Criterios',
'Soma Pesos/Peso Criterios'])

lamb_max = np.round(sum(soma_peso_row/med)/3,4) #soma da coluna resultado /

print('Matriz Pesos/Peso Unitário:')

print(matrix_lamb_max)

print('-----')

print("")

matrixprio = pd.DataFrame(med, columns = ["Prioridades (%)"], index = row_names1)

print('Ranking Critérios:')

print(matrixprio*100)

print('-----')

print("")

# Cálculo da Consistência:

CI = np.round((lamb_max - 3)/(3 - 1),4)

RI = 0.90

CR = np.round(CI/RI,2)

print('Cálculo de Consistência:', CR);

if abs(CR) > 0.1:

    print('Criterios Inconsistentes')

print('-----')

```



```

print("")

# # Cálculos das prioridades das alternativas

# Definindo Nomes das Linhas e Colunas Aplicadas:

columns_alt = ['Cenário 1', 'Cenário 2', 'Cenário 3', 'Prioridade']

row_alt = ['Cenário 1', 'Cenário 2', 'Cenário 3']

# 1) Critério 1 - FEC:

matriz1 = np.round(np.array([[1, 1/3, 5], [3, 1, 5], [1/5, 1/5, 1]]),4)

soma_m1 = np.sum(matriz1, axis = 0) # Soma Colunas Matriz 1

norm_m1 = np.round(matriz1/soma_m1,4) # Normalização Matriz 1

med_m1 = np.round(np.sum(norm_m1, axis = 1)/3,4) # Média Matriz 1

matrix_1 = pd.DataFrame(np.hstack((matriz1, np.atleast_2d(med_m1).T)), columns =
columns_alt, index = row_alt)

print('Critério 1 - FEC:')

print(matrix_1) # Matrix_alt1 = matriz da relação do criterio 1 com as alternativas

print('-----')

print("")

# 2) Critério 2 - Produtividade:

matriz2 = np.round(np.array([[1, 1, 3], [1, 1, 3], [1/3, 1/3, 1]]),4)

soma_m2 = np.sum(matriz2, axis = 0) # Soma Colunas Matriz 2

norm_m2 = np.round(matriz2/soma_m2,4) # Normalização Matriz 2

med_m2 = np.round(np.sum(norm_m2, axis = 1)/3,4) # Média Matriz 2

matrix_2 = pd.DataFrame(np.hstack((matriz2, np.atleast_2d(med_m2).T)), columns =
columns_alt, index = row_alt)

```

```

print('Critério 2 - Produtividade:')

print(matrix_2)

print('-----')

print("")

# 3) Critério 3 - Custos Operacionais:

matriz3 = np.round(np.array([[1, 3, 1/3], [1/3, 1, 1/5], [3, 5, 1]]),4)

soma_m3 = np.sum(matriz3, axis = 0) # Soma Colunas Matriz 3

norm_m3 = np.round(matriz3/soma_m3,4) # Normalização Matriz 3

med_m3 = np.round(np.sum(norm_m3, axis = 1)/3,4) # Média Matriz 3

matrix_3 = pd.DataFrame(np.hstack((matriz3, np.atleast_2d(med_m3).T)), columns =
columns_alt, index = row_alt)

print('Critério 3 - Custos Operacionais:')

print(matrix_3) # Matrix_alt1 = matriz da relação do criterio 1 com as alternativas

print('-----')

print("")

# Cálculo Matriz Prioridade Critério-Alternativa:

matrix_3crit = np.matrix([med_m1, med_m2, med_m3]).T

matrix_prioridades = pd.DataFrame(matrix_3crit, columns = columns_names, index =
row_alt)

matrix_prioridade_final = np.round(med*matrix_prioridades,6)

print('Matriz Critérios-Alternativas:')

print(matrix_prioridade_final)

print('-----')

```

```

print("")

# Resultados Finais:

soma_geral = np.sum(matrix_prioridade_final, axis = 1)

matrix_final = pd.DataFrame(np.hstack((matrix_prioridade_final,
np.atleast_2d(soma_geral).T)), columns = columns_names3, index = row_alt)

print('Matriz Prioridades Critérios-Alternativas:')

print(matrix_final)

print('-----')

print("")

prioridade_final = pd.DataFrame(np.round(soma_geral*100,2), columns= ['Prioridade Final
(%)'], index = row_alt)

print('Resultado:')

print(prioridade_final)

```

Apêndices B

Código desenvolvido em R:

```

ano <- c(2018, 2019, 2020, 2021, 2022)

ci_degrad <- c(1.62, 1.77, 1.45, 1.20, 0.99)

servico_rede_exec <- c(9.925, 9.326, 9.890, 13.588, 16.379)

equipes_lv <- c(19, 20, 22, 23, 25)

custo_op_lv <- c(1959.21, 2142.68, 2463.11, 2696.97, 3259.39)

dados_lv <- data.frame(ano, ci_degrad, servico_rede_exec, equipes_lv, custo_op_lv)

print(dados_lv )

```

```
regr_degr <- lm(ci_degrad ~servico_rede_exec+equipes_lv + custo_op_lv)

summary(regr_degr)

plot(regr_degr)

ci_amb <- c(2.43, 2.66, 2.18, 1.80, 1.48)

poda_exec <- c(87.205, 69.543, 89.369, 89.530, 95.444)

equipes_poda <- c(21, 22, 24, 26, 27)

custo_op_poda <- c(2475.05, 2693.93, 3071.20, 3484.64, 4023.42)

dados_amb <- data.frame(ano, ci_amb, poda_exec, equipes_poda, custo_op_poda)

print(dados_amb)

regr_amb <- lm(ci_amb ~poda_exec + equipes_poda + custo_op_poda)

summary(regr_amb)

plot(regr_amb)
```