

PROJETO DE REDE DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA PARA DIMINUIR DEC

ELECTRICAL POWER DISTRIBUTION NETWORK PROJECT TO REDUCEDEC

Gabriel Dutra Moura*
Lucas Da Silva Palha**
Luiz Gustavo Schroder e Braga***

RESUMO

Interrupções frequentes e prolongadas de energia elétrica causam impactos econômicos e sociais significativos. Empresas e indústrias enfrentam prejuízos devido à interrupção de operações, perda de dados e danos a equipamentos, além de aumento nos custos operacionais e na manutenção preventiva. O comércio e serviços, como supermercados e restaurantes, sofrem com a conservação inadequada de alimentos e a impossibilidade de operar sistemas essenciais, como os de pagamento. Instituições de ensino também são afetadas, prejudicando aulas, pesquisas e atividades extracurriculares. Ademais, a falta de iluminação eleva o risco de acidentes, agravando os efeitos dessas interrupções. O objetivo geral deste trabalho é realizar uma análise da elaboração de projetos de rede de distribuição de energia elétrica, sendo o foco principal elaborar um projeto que pode influenciar na diminuição da Duração Equivalente de Interrupção por Unidade Consumidora (DEC). A metodologia implica na fase de projeto, onde são analisados fatores primordiais como topografia do terreno, cálculo de esforço do poste para saber a resistência do poste a ser alocado, dimensionamento dos cabos de média e baixa tensão, carga a ser instalada ou modificada, equipamentos de proteção e manobras para assegurar baixo índice de DEC, mas principalmente para segurança da rede ao seu redor e para aqueles que precisam manobrar ou fazer manutenção na rede. Com os dados estatísticos e os cálculos realizados ao longo do estudo, ao se utilizar equipamentos de proteção (chaves fusíveis, chaves repetidoras, religadores) é possível diminuir significativamente os indicadores de DEC.

Palavras-chave: Chave fusível. DEC. FEC. Rede de distribuição. Energia elétrica.

ABSTRACT

Frequent and prolonged power outages cause significant economic and social impacts. Companies and industries face losses due to interruption of operations, loss of data and damage to equipment, in addition to increased operating costs and preventive maintenance. Commerce and services, such as supermarkets and restaurants, suffer from inadequate food preservation and the inability to operate essential systems, such as payment systems. Educational institutions are also

affected, hindering classes, research and extracurricular activities. In addition, the lack of lighting increases the risk of accidents, aggravating the effects of these outages. The general objective of this work is to analyze the development of power distribution network projects, with the main focus being to develop a project that can influence the reduction of the Equivalent Duration of Interruption per Consumer Unit (DEC). The methodology involves the design phase, where key factors are analyzed, such as terrain topography, calculation of the pole's stress to determine the resistance of the pole to be allocated, dimensioning of medium and low voltage cables, load to be installed or modified, protection equipment and maneuvers to ensure a low DEC index, but mainly for the safety of the surrounding network and for those who need to maneuver or perform maintenance on the network. With the statistical data and calculations performed throughout the study, when using protection equipment (fuse switches, repeater switches, reclosers), it is possible to significantly reduce DEC indicators.

Keywords: Fuse switch. DEC. FEC. Distribution network. Electric energy.

1 Introdução

O sistema de rede de distribuição elétrica é uma grande malha que está em constante mudança, esse grande sistema tem o papel importantíssimo de garantir que a eletricidade, um recurso essencial na atualidade, seja entregue aos consumidores finais com qualidade, segurança e eficácia. Muitos desses consumidores são hospitais, indústrias, escolas e residências. Dessa maneira, quanto mais conseguimos diminuir a Duração Equivalente de Interrupção por unidade consumidora (DEC), melhor é para a população. Lugares que existem muitas cargas como hospitais, é essencial que não falte energia, pois está diretamente relacionado à vida das pessoas, de modo que a falta de energia elétrica pode resultar em complicações (Del Rio, et al.; 2021).

Interrupções frequentes e prolongadas de energia elétrica têm impactos significativos tanto no aspecto econômico quanto no social. Empresas e indústrias dependem da energia elétrica para suas operações. Interrupções podem levar a paradas na produção, perda de dados e interrupção de serviços, resultando em perda de receita e aumento dos custos operacionais. O custo de reparar equipamentos danificados por falhas de energia pode ser significativo. Além disso, a manutenção adicional necessária para prevenir futuros problemas pode aumentar os gastos operacionais das empresas (Dutra; Gonçalves; Sanches, 2014; Amaral, 2017).

Comércio e serviços, como supermercados e restaurantes, podem enfrentar dificuldades, já que a falta de energia afeta a conservação de alimentos, a operação de sistemas de pagamento e outros serviços essenciais. Escolas e universidades podem sofrer com a falta de energia, afetando a capacidade de realizar aulas, atividades extracurriculares e pesquisas. Além disso, a falta de iluminação pode aumentar o risco de acidentes (Amaral, 2017).

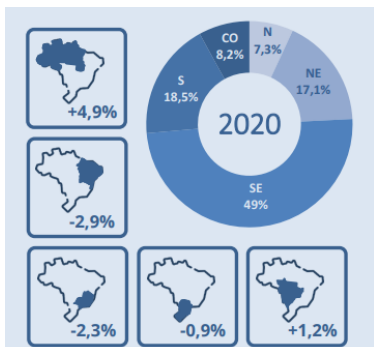
Souza (2005) informa que o fornecimento de energia elétrica no Brasil, conforme dados estatísticos do IBGE (2020) incluindo tanto área urbana como rural, chega a aproximadamente, 99,1% dos domicílios urbanos. Contudo na área rural, somente 73,5% dos domicílios e 70,5% dos moradores têm acesso à energia elétrica.

O objetivo geral deste trabalho é realizar uma análise da elaboração de projetos de rede de distribuição de energia elétrica, o Duração Equivalente de Interrupção por Unidade Consumidora (DEC), sendo o foco principal elaborar um projeto que pode influenciar na diminuição do DEC.

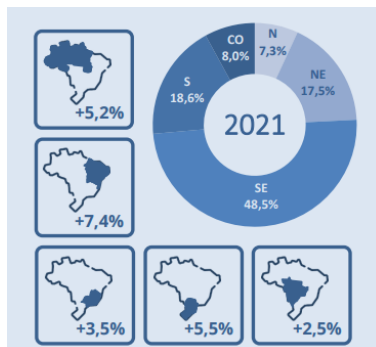
2 Referencial Teórico

No Brasil, o sistema de distribuição de energia elétrica vem aumentando e se diversificando ano após ano, devido à crescente demanda de consumo. À medida que aumenta a demanda de energia elétrica, torna-se necessário buscar meios eficientes, seguros e que tenham uma melhor estabilidade para atender seus consumidores. Para tanto, é imprescindível considerar e estudar todas as etapas da distribuição de energia elétrica, até o consumidor final, que pode ser uma residência, indústria, entre outros (Brasil, 2020, 2021 e 2022).

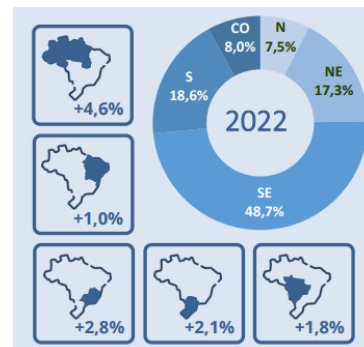
Os anuários estatísticos dos anos 2020, 2021 e 2022, trazem informações sobre o consumo anual de energia elétrica no país. No ano de 2020 o total de energia elétrica consumido no país foi de 475 Terawatt Hora (TWh) . A distribuição regional, está concentrada na região Sudeste. Em 2021 o valor total consumido foi de 497 TWh, cerca de 4,6% maior do que no ano de 2020 A distribuição regional permanece concentrada na região Sudeste. Finalmente no ano de 2022 o consumo total de energia elétrica foi de 509 TWh, aproximadamente 2,4% maior do que no ano em 2022, permanecendo a região Sudeste como maior consumidora (Figuras 01, 02 e 03).

Figuras 01: Anuário Estatístico

Fonte: Brasil (2020)

Figuras 02: Anuário Estatístico

Fonte: Brasil (2021)

Figuras 03: Anuário Estatístico

Fonte: Brasil (2022)

O uso de energia elétrica desempenha um papel fundamental ao longo da trajetória da humanidade e no avanço tecnológico. Esse consumo tem crescido -+consistentemente, principalmente devido ao crescimento econômico e ao desenvolvimento para melhor qualidade de vida. Contudo, esse aumento também traz preocupações ambientais, como o aumento das emissões de gases de efeito estufa (Pedro, Nogueira, 2023).

O aumento das emissões de gases de efeito estufa tem sido uma preocupação crescente, acompanhando o aumento no consumo de energia elétrica. De acordo com dados do Sistema de Estimativas de Emissões de Gases de Efeito Estufa (SEEG) do Observatório do Clima, as emissões de dióxido de carbono (CO₂) no Brasil aumentaram de aproximadamente 2,5 bilhões de toneladas em 2016 para cerca de 3,2 bilhões de toneladas em 2023. Este aumento está fortemente relacionado ao crescimento do consumo de energia e ao uso contínuo de fontes de energia baseadas em combustíveis fósseis (Potenza 2023).

Além disso, o consumo de energia elétrica é influenciado por fatores como regulação dos indicadores do setor, disponibilidade de tecnologias mais eficientes e mudanças no comportamento dos consumidores. Pedro, Nogueira (2023) indicam que medidas de eficiência energética, como a substituição de aparelhos por modelos mais eficientes, podem reduzir o consumo.

No Brasil, a história do consumo de energia elétrica começou no final do século XIX, com as primeiras empresas de iluminação pública, mas apenas na década de 1930 se expandiu para fora das grandes cidades, devido à industrialização. Nas décadas seguintes, o consumo cresceu consideravelmente,

acompanhando o desenvolvimento econômico (Cavalcanti Filho, Silva, Leal, 2021)

Houve também mudanças na fonte de energia, com mais demanda por fontes renováveis como solar e eólica. De acordo com Soares. (2023), a contribuição das energias solar e eólica na matriz energética brasileira tem crescido significativamente. Em 2023, essas fontes representaram cerca de 10% da matriz energética do Brasil, refletindo um esforço contínuo para diversificar e tornar mais sustentável a produção de energia. Entretanto, há desafios como o acesso limitado à rede elétrica em certas regiões e a necessidade de garantir fornecimento seguro e de qualidade. Isso reflete desigualdades socioeconômicas, afetando o desenvolvimento nessas áreas (Soares, 2023).

É importante ressaltar que o consumo de energia elétrica não representa apenas um desafio, mas também o surgimento de oportunidades para novas tecnologias como sistemas fotovoltaicos (energia solar), turbinas eólicas (energia eólica), sistemas de geração de energia a partir de biomassa e hidrelétricas de pequena escala, aproveitando de fontes de energia natural e renovável para gerar eletricidade de forma sustentável e modelos de negócio, onde empresas estão adotando modelos com base na geração distribuída (Araújo, 2024).

De acordo com Kamimura (2023), o aumento significativo no consumo de energia tem desempenhado um papel importante no avanço das tecnologias de geração de energia renovável. Esse crescimento na demanda energética não apenas incentivou a inovação tecnológica no setor, como também promoveu o desenvolvimento de novos modelos de negócio que se baseiam na geração distribuída.

Além disso, a geração distribuída facilita a integração de fontes de energia renovável, como a solar e a eólica, ao sistema elétrico, contribuindo para a sustentabilidade e a resiliência da rede (Origi, 2024). Dessa forma, a expansão do consumo de energia não apenas impulsiona a adoção de tecnologias mais limpas e sustentáveis, mas também transforma a estrutura do mercado de energia, promovendo uma maior diversidade e competitividade (Shihadeh, Takahashi, 2024).

O crescente uso de energia elétrica tem sido fundamental para o progresso tecnológico e a melhoria da qualidade de vida. No entanto, esse aumento de consumo, impulsionado pelo crescimento econômico, também traz preocupações ambientais, como o aumento das emissões de gases de efeito estufa. Os desafios como o acesso desigual à rede elétrica persistem, necessitando de soluções

inclusivas. O aumento do consumo de energia elétrica traz desafios e oportunidades, destacando a importância de uma transição para fontes renováveis e novos modelos de negócios para um futuro mais sustentável e resiliente (Origi, 2024).

2.1 Funcionamento do sistema de distribuição de Energia Elétrica

A rede de distribuição de energia elétrica no Brasil é um sistema intrincado, composto por uma extensa malha de infraestrutura que inclui linhas de transmissão e distribuição, subestações, transformadores e equipamentos de proteção. Essa rede tem a missão de transportar eletricidade gerada em usinas para consumidores em todo o país, abrangendo desde residências até indústrias e serviços públicos (Melo, 2023).

As linhas de transmissão, são responsáveis por levar a maior parte da energia elétrica das usinas para as subestações, operando em alta tensão transmitidas a 500kV, 345kV, 230kV, 138kV e 69kV, garantindo a eficiência na distribuição da energia por longas distâncias, levando essa energia em estruturas metálicas (Torre de transmissão) (Neves, 2023) (Figura 04).

Figura 04: Linha de Transmissão



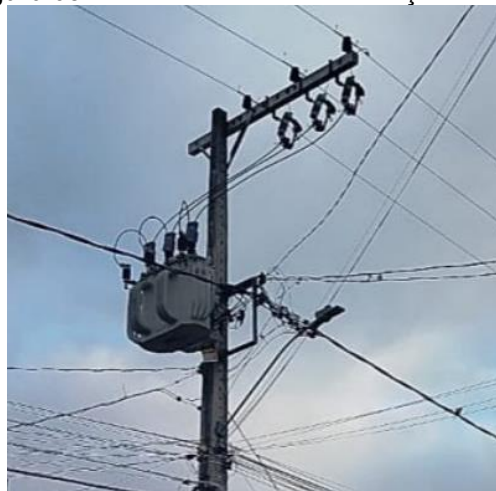
Fonte: Borba¹ (2016)

Os transformadores de tensão devem estar em conformidade com a Norma ABNT NBR 5440:2014 (Transformadores para Redes Aéreas de Distribuição –

¹ Dados disponíveis em: <https://heitorborbasolucoes.com.br/consideracoes-sobre-as-distancias-de-seguranca-da-nr-10/>. Acesso 11 nov. 2024

Requisitos), que estabelece as características e classes de eficiência para transformadores de distribuição com três níveis de tensão de isolamento: 15 kV, 24,2 kV e 36,2 kV (Cavalcante, 2023). (Figura 05)

Figura 05: Transformador de distribuição trifásico



Fonte: Os Autores (2024)

De acordo com essa norma, os transformadores podem estar disponíveis em transformadores monofásicos e trifásicos sendo. Os transformadores monofásicos podem ter potência de 5 kVA; 10 kVA; 15 kVA; 25 kVA; 37,5 kVA; 50 kVA; 75 kVA e 100 kVA; e, Os transformadores trifásicos, por sua vez, podem ser de 15 kVA; 30 kVA; 45 kVA; 75 kVA; 112,5 kVA; 150 kVA; 225 kVA e 300 kVA. O transformador tem como função abaixar de média tensão para baixa tensão. (Cavalcante, 2023).

2.2 Equipamentos de proteção para rede de distribuição

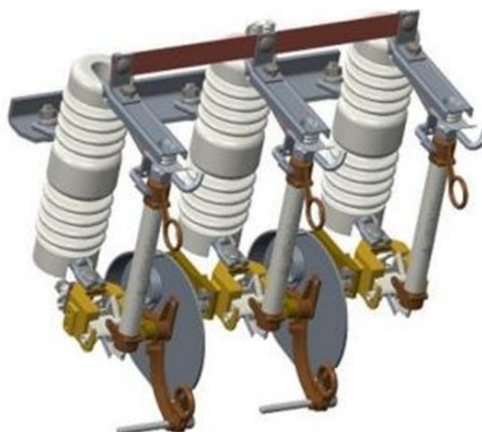
Conforme Lima; Nogueira (2022) geralmente quando ocorre uma falha na rede de distribuição, apresenta uma corrente de elevada intensidade provocando efeitos sobre os equipamentos ligados na malha do circuito. Contudo, as correntes de curto-circuito podem ocasionar danos a pessoas, animais e edificações se não interrompidas a tempo. Para neutralizar estes efeitos é comum o uso de chaves fusíveis, chaves fusíveis repetidoras e religadores. Na rede de distribuição existem alguns tipos de chaves que são mais funcionais que outras em alguns casos, no rural são utilizadas as chaves fusível e a chave fusível repetidora.

Chave fusível é um equipamento das redes de distribuição que tem como objetivo proteger os sistemas contra possíveis danos causados por sobrecargas de

corrente. Nesse sentido, elas funcionam como válvulas, cortando o fluxo de corrente elétrica toda vez que a quantidade de energia que trafega pelo circuito for excessiva. As chaves fusíveis são fabricadas de modo que suas propriedades não sejam alteradas com a passagem nominal de corrente elétrica. Quando a corrente elétrica atinge o valor máximo determinado, o condutor irá se aquecer fundindo o componente que está dentro do cartucho. Dessa forma, o circuito abre e impede a passagem de corrente elétrica (Massmann; Silva Junior, 2021).

A chave fusível repetidora mostrada na Figura 06 nada mais é que a junção de três chaves fusíveis, onde apenas uma é utilizada por vez. Em um primeiro momento a carga fica submetida ao primeiro porta-fusível que é o elemento que contém todo o conjunto do fusível e com isso, os demais permanecem como reserva. Ao ocorrer um defeito e conseqüentemente uma operação no primeiro porta-fusível, ao final da sua abertura este deverá acionar algum dispositivo de manobra que transfira a carga para o segundo porta-fusível, reestabelecendo o circuito o mais rápido possível (Trabuco 2023).

Figura 06: Chave fusível repetidora



Fonte: Lima, Nogueira (2022)

A Figura 06 mostra também, três elos fusíveis, sendo este um dispositivo de proteção contra sobrecorrente e curto circuito utilizado nas redes de distribuição primárias. “Seu funcionamento é caracterizado pela fusão de uma parte especialmente dimensionada que secciona o circuito e interrompe a corrente quando esta supera um valor especificado” (Nascimento; Andrade, 2022, p 4).

Caso o defeito permaneça ao final da abertura do segundo porta-fusível, outro dispositivo de manobra deverá ser acionado e a carga deverá ser transferida para o terceiro porta-fusível. Caso o defeito persista, o circuito será desligado até que o problema seja avaliado e resolvido (Lima; Nogueira, 2022; Pereira, 2024).

Ao acontecer um defeito transitório na rede um elo fusível é queimado, quando esse elo queimado é de uma chave fusível, uma equipe da concessionária é enviada ao local para substituí-lo então a chave é ligada e a energia volta a abastecer as pessoas que estão ligadas naquele ramal. Caso seja chave fusível repetidora e esse mesmo defeito transitório ocorra, o primeiro elo fusível da chave fusível repetidora é queimado. Tal fator ocorre, por exemplo, se uma árvore encosta na rede, a energia é cortada pelo elo que queimou, logo que a árvore se solta da rede o próximo elo da chave fusível repetidora é acionado, dessa forma não é necessário que uma equipe da concessionária seja enviada ao local. Esse ramal fica protegido por mais dois problemas transitórios, e só será necessário que uma equipe seja enviada ao local depois que o terceiro elo fusível seja queimado (Lins 2022). Com essa troca da chave fusível pela chave fusível repetidora, menos equipes são deslocadas a lugares de problemas transitórios, dessa forma, caso ocorra outro problema, em outra área, outras equipes estarão de prontidão e o defeito será corrigido mais rápido, sendo assim, com essa mudança pode-se conseguir reduzir o DEC e FEC. (Lins 2022).

Em áreas urbanas também se utiliza muito as chaves fusíveis, porém é muito comum o uso de religadores que atuam de forma automática cortando e liberando o fluxo de energia elétrica em segundos, podendo se repetir esse ciclo duas vezes. O uso do religador é mais comum em área urbano devido a essas características, pois em regiões mais arborizadas, com fluxos de cargas maiores, a probabilidade de se ter um pequeno curto na rede momentaneamente é muito maior do que na região rural (Pereira, 2024). (Figura 07)

Figura 07 – Religador trifásico

Fonte: Elaborado pelos autores (2024)

Nota-se também que em áreas urbanas o número de consumidores é muito maior do que na área rural, o religador contribui muito com a diminuição de DEC atuando de forma rápida com pequenos incidentes que pode ser ocasionado por um galho, por exemplo, que encosta nos fios da rede de distribuição de energia elétrica. O religador acionado com um pequeno curto-circuito desliga e liga a rede em fração de segundos. Se o curto-circuito permanece, ele faz essa manobra até duas vezes, se por fim no último estágio de tentativa o curto-circuito persistir, ou seja, na terceira tentativa de reativar, e a rede falhar, ele fica em lockout (bloqueia a rede no trecho e só é reativado manualmente) (Moreira, 2018).

2.3 Órgãos fiscalizadores das concessionárias de energia

A Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) é responsável por regular e fiscalizar o setor elétrico, estabelecendo tarifas, normas de qualidade e segurança, além de promover leilões para a contratação de novos empreendimentos. Conforme Torres (2022) a ANEEL é uma autarquia vinculada ao Ministério de Minas e Energia. A ANEEL estipulou, entre outros, indicadores de qualidade que serviriam para padronizar, em nível adequado, o fornecimento de energia elétrica, visando o fornecimento contínuo e de qualidade. Entende-se por autarquia entidades criadas

por Lei, com personalidades jurídica, patrimônio e receita próprios. Praticam atividades próprias da administração pública, contudo, possuem gestão administrava e financeira descentralizada (Castro, 2018).

Mattedi, Côco e Ciarelli (2022) ressaltam que o monitoramento da qualidade do serviço oferecido por concessionárias tem como base a coleta e o processamento dos dados de interrupção do fornecimento de energia elétrica. Tais dados são abordados e avaliados pela ANEEL, que analisa o desempenho das concessionárias. Os indicadores calculados pela ANEEL são os de interrupção (DEC, FEC, DIC e FIC) relacionados à duração e a frequência de interrupção, por conjunto de consumidores e por consumidor individual (Torres, 2022).

Esses indicadores e seus cálculos são implementados em todas as redes de distribuição de energia elétrica, independentemente do porte ou da área de abrangência das concessionárias. Para garantir a qualidade da rede e melhorar os indicadores de duração e frequência de interrupções, são utilizados equipamentos de proteção. Esses dispositivos, como chaves e Religadores, ajudam a isolar falhas rapidamente e a restabelecer o fornecimento de energia com mais agilidade. O uso desses equipamentos também permite detectar problemas antes que se agravem, contribuindo para a redução de interrupções e para o aprimoramento contínuo dos índices de qualidade de serviço (Mattedi, Côco e Ciarelli, 2022)

Em caso de violação das metas estabelecidas no período de apuração dos indicadores, as concessionárias sofrem penalidades que vão desde a elaboração de um plano de melhorias, na qual a concessionária deve elaborar um plano para atingir as metas de seus conjuntos elétricos e apresentá-lo ao órgão fiscalizador, bem como a realização de compensações aos consumidores na forma de descontos. Por outro lado, o bom desempenho em tais indicadores é recompensado pela ANEEL através de ajuste tarifário anual como incentivo à busca pela melhoria contínua da qualidade do serviço (Mattedi, Côco e Ciarelli, 2022, p. 1213).

Desde 1º de janeiro de 2010, o excesso dos limites de DEC e FEC passou a ser o parâmetro de análise e para definir os limites individuais, substituindo a aplicação de multas. Os valores que as distribuidoras pagavam como multas pela não conformidade com os indicadores de continuidade coletiva foram integralmente destinados a compensar diretamente os consumidores afetados. A compensação passou a ser realizada por meio de descontos na conta de energia do mês seguinte ao cálculo dos indicadores. Desde então, o valor devido pelas concessionárias de

distribuição por descumprimento dos indicadores individuais foi aumentado (Torres, 2022).

2.4 Indicadores de duração e frequência

Os indicadores de Duração Equivalente de Interrupção por Unidade Consumidora (DEC) e Frequência Equivalente de Interrupção por Unidade Consumidora (FEC) Duração de Interrupção Individual por Unidade Consumidora (DIC) e Frequência de Interrupção Individual por Unidade Consumidora (FIC) são estabelecidos pela ANEEL para avaliar a qualidade do serviço oferecido aos consumidores, especialmente no que concerne à continuidade no fornecimento de energia elétrica (Araújo, 2024). O FEC indica a frequência média entre interrupções ao longo de um período específico, enquanto o DEC representa a duração média, em horas, das interrupções de energia enfrentadas pelo consumidor (Oliveira, 2023).

DEC e FEC tem um importante papel para as concessionárias de energia elétrica, pois é necessário monitorar e melhorar a qualidade do serviço prestado aos clientes, mas também é muito importante para os consumidores, que buscam um fornecimento estável e confiável de energia (Nienkoetter Junior, 2021). Fornecem informações úteis sobre a confiabilidade do sistema elétrico, facilitando a identificação de áreas que necessitam de melhorias e investimentos prioritariamente (Borniatti, et al, 2022).

Para análise das melhorias de investimento prioritário é necessário que tenha a regulação e monitoramento dos indicadores. Por meio dos contratos de concessão das empresas, os órgãos reguladores do setor elétrico estabelecem metas e padrões para o FEC e o DEC (Massmann; Silva Júnior, 2021). A análise desses aspectos permite compreender a importância do DEC e do FEC como indicadores-chave na avaliação da qualidade dos serviços prestados pelas concessionárias de energia e na busca de melhorias contínuas na infraestrutura elétrica (Torres, 2022).

Com a utilização de chaves fusíveis e religadores automáticos consegue-se retornar a energia para o cliente de forma célere, sem que haja necessidade de uma equipe ir a campo. Nota-se com isso que a instalação de equipamentos telecomandados e religadores automáticos podem melhorar os indicadores de continuidade (Frazão et al, 2023).

2.5 Fórmula para DEC e FEC

A Portaria nº 046/1978 do DNAEE marcou o início da regulação da qualidade de energia no Brasil, estabelecendo limites máximos para a duração e frequência de interrupções no fornecimento. Foram definidos dois índices de continuidade: o DEC e o FEC. Esses indicadores são calculados para monitorar o desempenho das concessionárias.

$$DEC = \frac{\sum_{i=1}^K Ca(i) \times t(i)}{Cs} \quad (1)$$

Onde:

Ca (i) = número de consumidores, do conjunto considerado, atingidos nas interrupções (i);

t (i) = tempo de duração das interrupções (i), em horas;

i = número de interrupções variando de 1 a n;

Cs = número total de consumidores do conjunto considerado.

A DEC mede o tempo médio em que um consumidor fica sem energia elétrica durante um período específico. Esse indicador é expresso em horas por ano e fornece uma visão sobre a confiabilidade do fornecimento de energia.

Como exemplo fictício tem-se a seguir, é demonstrado como se calcula DEC e FEC. Uma cidade possui uma distribuidora de energia elétrica chamada "Energia Boa".

Dados:

Total de consumidores: 10.000

Interrupções de energia no ano: 4

Interrupção 1: 30 minutos

Interrupção 2: 45 minutos

Interrupção 3: 15 minutos

Interrupção 4: 60 minutos:

Total de duração das interrupções: 30 + 45 + 15 + 60 = 150 minutos, ou seja, 2,5 horas.

Para calcular a DEC, usamos a fórmula:

$$DEC = \frac{\sum_{i=1}^K Ca(i) \times t(i)}{Cs}$$

$$DEC = \frac{(0,5+0,75+0,25+1) \times 10.000}{10.000}$$

$$DEC = \frac{10.000 \times 2,5}{10.000} = 2,5$$

DEC = 2,5 horas, ou seja, cada consumidor enfrentou 2,5 horas de interrupções de energia em média ao longo do ano.

A FEC mede o número médio de interrupções que um consumidor enfrenta em um determinado período, geralmente expresso em interrupções por ano. Este indicador ajuda a entender a frequência com que ocorrem as interrupções de energia.

Usando o mesmo exemplo da distribuidora "Energia Boa". Dados:

Total de consumidores: 10.000

Total de interrupções: 4

Para calcular a FEC, usamos a fórmula:

$$FEC = \frac{\sum_{i=1}^K Ca(i)}{Cs} \quad (2)$$

Onde,

Ca (i) = número de consumidores, do conjunto considerado, atingidos nas interrupções (i);

Cs = número total de consumidores do conjunto considerado.

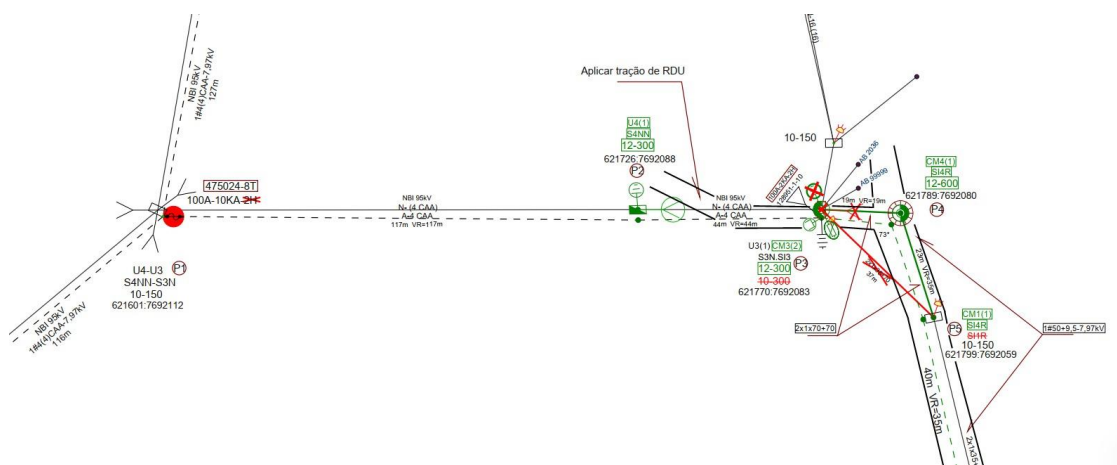
$$FEC = \frac{4 \times 10.000}{10.000} = 4$$

FEC = Número total de interrupções multiplicado pelo Número total de consumidores e dividido pelo número de consumidor. Deixando mais intuitivo seria 4 interrupções por 10.000 consumidores ao longo do ano.

3 Metodologia

Na fase de projeto, são analisados fatores primordiais como topografia do terreno, cálculo de esforço do poste para saber a resistência do poste a ser alocado, dimensionamento dos cabos de média e baixa tensão, carga a ser instalada ou modificada, equipamentos de proteção e manobras para assegurar baixo índice de DEC, mas principalmente para segurança da rede ao seu redor e para aqueles que precisam manobrar ou fazer manutenção na rede. Nota-se no Projeto de rede de distribuição de energia elétrica, descrito conforme as Normas de Distribuição (ND) 2.2, ND 2.7 e ND 2.9. Na Figura 08, tem-se um projeto com modificação e extensão de rede de média e baixa tensão, sendo coordenado por uma chave fusível numerada com elo 8T.

Figura 08: Projeto de rede de distribuição de energia elétrica.



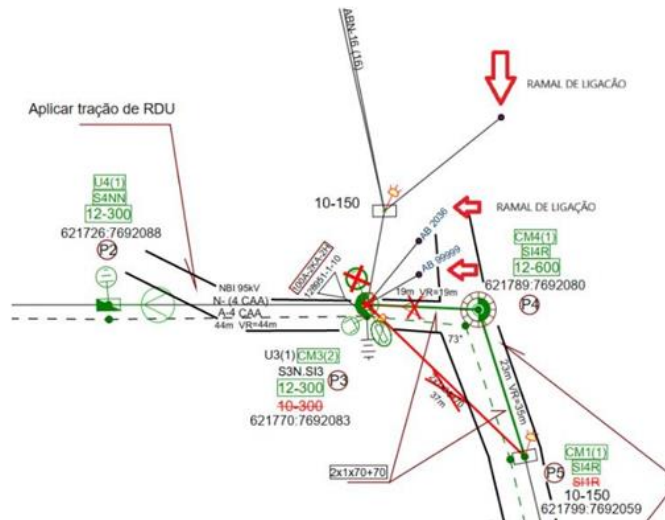
Fonte: Elaborado pelos autores (2024)

A Chave em si no poste P1 era anteriormente a chave fusível deslocada do transformador do poste P3, com a necessidade de estender a rede para atender um cliente, se faz necessário instalar uma nova chave fusível no poste do transformador para proteção do mesmo e a chave do poste P1 é dimensionada para desligar esse trecho para manutenções, manobras e até mesmo para construção desse projeto, com a finalidade de desligar o menor número de pessoas, tendo assim prejuízos reduzidos com o índice de DEC e FEC (Pereira, 2024).

Ao instalar essa chave fusível, o número de clientes desconectados é de três clientes, como demonstra a Figura 09 abaixo. Sem essa chave fusível no poste P1, o próximo equipamento de proteção desligará 16 clientes. Com isso consegue-se

reduzir o número de clientes afetados na rede naquele trecho.

Figura 09: Projeto de rede de distribuição de energia elétrica, ampliando ramais de ligação.



Fonte: Elaborado pelos autores (2024)

$$DEC = \frac{\sum_{i=1}^K Ca(i) \times t(i)}{Cs}$$

Com base nos dados apresentados por esse projeto podemos calcular o DEC para as duas situações, onde o conjunto total de consumidores naquele trecho é 16 clientes. Para o caso 1, onde a chave fusível é instalada no poste P1, tem-se:

$$Ca(i) = 3; t(i) = Z; Cs = 16$$

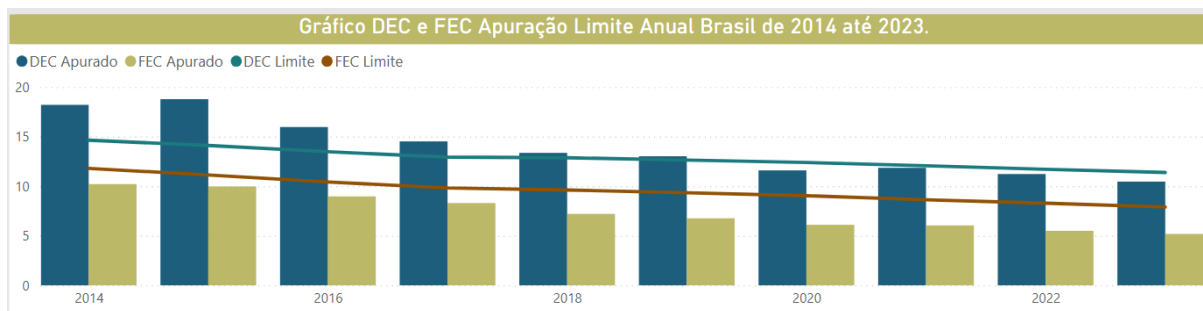
$$DEC = \frac{\sum_{i=1}^K 3(i) \times Z}{16} = 0,1875Z$$

Para o caso 2, onde não se instala chave fusível no poste P1 e fica somente outro equipamento de proteção mais distante na rede, tem-se:

$$Ca(i) = 16; t(i) = Z; Cs = 16$$

$$DEC = \frac{\sum_{i=1}^K 16(i) \times Z}{16} = Z$$

Com o reforço da rede instalando a chave fusível no poste P1, através dos cálculos acima, podemos concluir que pode ocorrer uma redução no DEC de 533,3% aproximadamente. Nota-se que quando realizado tal procedimento ainda no projeto, o resultado será impactado diretamente na diminuição do DEC. a Figura 10 demonstra uma baixa de DEC e FEC significativa ao longo dos anos.

Figura 10 – Gráfico DEC e FEC – Apuração limite anual Brasil 2014-2023

Fonte: Aneel, (2024) ²

Nota-se que o gráfico traz as reduções durante os anos conforme a utilização de equipamentos de proteção. Há uma diferença entre os anos de 2014 a 2023. Estes fatores corroboram com o estudo de Cruz (2022) quando este analisa a redução no índice das ocorrências de desligamentos que interfere diretamente na redução nas distancias percorridas pelas equipes durante o deslocamento das equipes de manutenção, reduzindo os custos operacionais e de penalizações pelo descumprimento dos níveis dos indicadores DEC e FEC, com isso possibilitando um retorno financeiro de médio a longo prazo.

Outro fator importante são os religadores que possuem ampla aplicação em circuitos de distribuição de redes de energia elétrica, utilizado na maior parte das concessionárias de energia elétrica, pois são capazes de reduzir significativamente os defeitos transitórios (Cruz, 2022).

4 Considerações Finais

Mediante as pesquisas realizadas com autores que demonstraram a melhoria no processo de entrega de energia elétrica com a instalação de equipamento de proteção. Conforme demonstrado no Brasil o sistema de distribuição de energia elétrica tem crescido consideravelmente. Desta forma, conforme aumenta a demanda de energia elétrica, é necessário buscar alternativas seguras e que tenham uma melhor estabilidade para atender seus consumidores.

² Dados disponíveis no site:

<https://portalrelatorios.aneel.gov.br/indicadoresDistribuicao/indicadoresContinuidadeDEC/FEC>. Acesso em 14 nov.2024.

O objetivo geral deste trabalho foi realizar uma análise da elaboração de projetos de rede de distribuição de energia elétrica, como forma de elaborar um projeto influenciando na diminuição do DEC. Nota-se que devido a demanda crescente no sistema de distribuição de energia elétrica com acúmulo de cargas novas afetando diretamente ao indicador DEC, foi visto uma necessidade de melhoria na rede de distribuição de energia elétrica

Pode-se verificar com os dados estatísticos e os cálculos realizados ao longo do estudo, que ao se utilizar de equipamentos de proteção (chaves fusíveis, chaves repetidoras, religadores) é possível diminuir significativamente os indicadores de DEC. Como visto no projeto apresentado com um estudo de coordenação do equipamento de proteção conseguimos diminuir consideravelmente o indicador DEC. Sendo assim nota-se que é mais viável incluir as chaves na fase do projeto do que modificar uma rede existente.

Com a facilidade de modificar e coordenar as redes na fase de projeto pode-se garantir a melhoria do DEC e também a qualidade de energia entregue aos consumidores finais, diminuindo a falta de energia elétrica em lugares com mais defeitos transitórios garantindo assim melhor qualidade de vida para aqueles que dependem da energia elétrica.

Referências

AMARAL, Agnes Bess D.'Alcantara. *O impacto da insuficiência no fornecimento de energia elétrica nas empresas brasileiras do setor de telecomunicações*. Dissertação apresentada à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo para obtenção do título de Mestre em Ciências. Universidade de São Paulo, 2017.

ARAÚJO, Joyce Maria Oliveira Correia de. *Análise do impacto da geração distribuída nos níveis de tensão em redes de distribuição*: estudo de caso na implementação de um transformador de distribuição com tap variável em uma concessionária de energia. Trabalho de Conclusão de Curso apresentado e submetido ao Departamento de Engenharia Elétrica da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, como cumprimento de parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Elétrica.

BORNIATTI, André R. et al. Impacto nas compensações financeiras considerando nova configuração de conjuntos de unidades consumidoras de uma distribuidora de energia elétrica. *Simpósio Brasileiro de Sistemas Elétricos-SBSE*, v. 2, n. 1, p. 1392 a 1399, 2022. Disponível em: https://www.sba.org.br/open_journal_systems/index.php/sbse/article/view/3066.

Acesso em 21 out. 2024

BRASIL. *Anuário estatístico de energia elétrica*. Empresa de Pesquisa Energética EPE, 2020. <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-160/topico-168/EPEFactSheetAnuario2021.pdf>. Acesso em: 21 set. 2024

BRASIL. *Anuário estatístico de energia elétrica*. Empresa de Pesquisa Energética EPE, 2021. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-160/topico-168/anuario-factsheet.pdf>. Acesso em: 21 set. 2024

BRASIL. *Anuário estatístico de energia elétrica*. Empresa de Pesquisa Energética EPE, 2022. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-160/topico-168/Fact%20Sheet%20-%20Anu%20C3%A1rio%20Estat%20C3%ADstico%20de%20Energia%20El%C3%A9trica%202022.pdf>. Acesso em: 21 set. 2024

CASTRO, Domingos Poubel de. *Auditoria, contabilidade e controle interno no setor público*. 7 ed. São Paulo: Atlas, 2018.

CAVALCANTE, José Aparecido. *Avaliação de oportunidades para o gerenciamento de transformadores de distribuição em cenários com baixa disponibilidade de dados*. Tese apresentada à Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação da Universidade Estadual de Campinas como parte dos requisitos exigidos para a obtenção do título de Doutor em Engenharia Elétrica, na área de Energia Elétrica. Camoínas, 2023.

CAVALCANTI FILHO, José Pereira; SILVA, José Antônio Aleixo da; LEAL, Sérgio da Silva. A economia de energia elétrica na iluminação pública com o uso de lâmpadas led: estudo de caso da avenida Recife. *Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação*, v. 7, n. 11, p. 1–21, 2021. DOI: 10.51891/rease.v7i11.2989. Disponível em: <https://periodicorease.pro.br/rease/article/view/2989>. Acesso em: 09 nov. 2024.

CRUZ, Ramon Tavares. *Análise da implementação de religadores monofásicos em redes de distribuição como medida preventiva para faltas*. Projeto de Engenharia Elétrica apresentado a Universidade Federal Rural do Semi-Árido como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Elétrica. Mossoró, 2022.

DEL RÍO, Daniel Guzmán et al. Pesquisa sobre eficiência energética: Um desenho metodológico de estudo teórico e prático para prédios e indústrias da Amazônia. *Energy efficiency research: A methodological design of theoretical and practical study for buildings and industries in the Amazon. Brazilian Journal of Development*, v. 7, n. 7, p. 69238-69259, 2021.

DUTRA, J.; GONÇALVES, E.; SANCHES, A. Valoração do Custo de Escassez de Energia Elétrica e Gestão de Riscos. *EletroEvolução- Sistemas de potência*, n. 76, p. 18–23, 2014. Disponível em: <https://ceri.fgv.br/sites/default/files/publicacoes/2018->

10/21_valoracao_do_custo_de_escassez_de_energia_0.pdf. Acesso em: 16 set. 2024

FRAZÃO, Paloma Leal et al. Aplicação de religadores automáticos para redução dos índices de continuidade em redes de distribuição da CHESP. In: *Coletânea Da Pós-Graduação Em Telecomunicações: Prédios Inteligentes-Volume II*. Editora Científica Digital, 2023. p. 31-49. Disponível em: <https://downloads.editoracientifica.com.br/articles/230412672.pdf>. Acesso em: 14 nov. 2024

KAMIMURA, Artur Martins. *O impacto das modificações pós-ocupação no desempenho térmico de HIS: estudo de caso em Uberlândia-MG*. Dissertação submetida ao Programa de Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal de Santa Catarina, para obtenção do título de mestre em Arquitetura e Urbanismo. Florianópolis, 2022.

LIMA, Natalia Almeida; NOGUEIRA, Fernando José. Melhorias nos sistemas de distribuição de energia elétrica. *Caderno de Estudos em Engenharia Elétrica*, v. 3, n 2, p. 1-29, 2021. Disponível em: <https://seer.uniacademia.edu.br/index.php/eletrica/article/view/3062/2071>. Acesso em: 16 set. 2024

LINS, Livia de Carvalho Campos. *Sensoriamento remoto de chave fusível em sistemas de distribuição de energia elétrica de média tensão*. TCC (Graduação - Curso Superior de Bacharelado em Engenharia Elétrica) - Instituto Federal de Educação da Paraíba / Unidade Acadêmica de Processos Industriais, 2022.

MASSMANN, Juliana Costa; SILVA JÚNIOR, Dalmo Cardoso. Estudo de proteção em redes de distribuição para minimizar as frequências simples sustentadas. *Caderno de Estudos em Engenharia Elétrica*, v. 3, n 2, p. 1-38, 2021. Disponível em: <https://seer.uniacademia.edu.br/index.php/eletrica/article/view/3062>. Acesso em: 16 set. 2024

MATTEDI, Bruno; CÔCO, Klaus Fabian; CIARELLI, Patrick Marques. Predição de Indicadores de Qualidade de Energia Utilizando Técnicas de Processamento de Dados e Redes Neurais. *Simpósio Brasileiro de Sistemas Elétricos-SBSE*, v. 2, n. 1, P. 1213 a 1218, 2022. Disponível em: https://www.sba.org.br/open_journal_systems/index.php/sbse/article/view/3041. Acesso em 21 out. 2024

MELO, Igor Delgado. *Fluxo de potência: Teoria e implementação de códigos computacionais*. Editora Blucher, 2023.

MINAS GERAIS. Cemig, Distribuidora S.A. ND 2.2. Diretoria de Distribuição e Comercialização. *Norma de Distribuição Instalações Básicas de Redes de Distribuição Aéreas Rurais*. 2016. Disponível em: https://www.cemig.com.br/wp-content/uploads/2022/03/nd_2_2.pdf. Acesso em: 16 nov. 2024.

MINAS GERAIS. Cemig, Distribuidora S.A. ND 2.7. Diretoria de Distribuição e Comercialização. *Norma de Distribuição Instalações Básicas de Redes de*

Distribuição Aéreas Isoladas. 2016. Disponível em: https://www.cemig.com.br/wp-content/uploads/2022/03/nd_2_7-1.pdf. Acesso em: 16 nov. 2024.

MINAS GERAIS. Cemig, Distribuidora S.A. ND 2.9. Diretoria de Distribuição e Comercialização. *Norma de Distribuição Instalações Básicas de Redes de Distribuição Compactas*. 2016. Disponível em: https://www.cemig.com.br/wp-content/uploads/2022/03/ND_2-9-Instalacoes_Basicas_RD_Compactas.pdf. Acesso em: 16 nov. 2024.

MOREIRA, Egberto de Arruda. *Aplicação de religadores híbridos em redes de distribuição de energia elétrica*. Projeto Técnico apresentado ao Programa de Pós-graduação em Energia Elétrica da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Engenharia Elétrica. Natal, 2018

NASCIMENTO, Bruno do; ANDRADE, Humberto Dionísio de. *Estudo de proteção de média tensão para subestação modular industrial*. Trabalho de conclusão de curso para obtenção de título em Bacharel em Engenharia Elétrica. Mossoró, 2022.

NEVES, Antônio José Fonseca. *Projeto e dimensionamento técnico de subestação abrigada na classe de 13,8 kv: estudo de caso*. Trabalho de Conclusão de Curso (TCC), submetido à coordenação de curso de Engenharia de Energias da UNILAB, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Energias, Redenção, 2023.

NIENKOETTER JUNIOR, Vanderlei. *Análise dos indicadores de continuidade dos conjuntos de unidades consumidoras da rede de distribuição da Celesc no ano DE 2020*. Trabalho de Conclusão de Curso submetido ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina como parte dos requisitos para aprovação do título de Engenheiro Eletricista. Florianópolis, 2021.

OLIVEIRA, Antônio Augusto Ananias. *Análise de indicadores de continuidade em sistema de distribuição de energia elétrica com self-healing descentralizado usando OpenDSS*. Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Faculdade de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Uberlândia como requisito parcial para obtenção do título de bacharel em Engenharia Elétrica. Uberlândia, 2023

ORIGGI, Lucas. *Avaliação dos impactos da elevada penetração de geração distribuída nas redes de distribuição*. Trabalho de conclusão de curso apresentado à Coordenadoria do Curso de Engenharia Elétrica do Instituto Federal do Espírito Santo, Campus São Mateus, como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Elétrica. São Mateus, 2024.

PEDRO, Evandro José Pereira; NOGUEIRA, Fernando José. Elaboração de projeto de rede de distribuição de energia elétrica. *Caderno de Estudos em Engenharia Elétrica*, v. 5, n. 2, 2023. Disponível em: <https://seer.uniacademia.edu.br/index.php/eletrica/article/view/3826>. Acesso em 16 out. 2024

PEREIRA, Bernardo Saraiva Rodrigues. *Análise comparativa de alternativas para*

avaliação da rede de distribuição de energia elétrica com utilização de religadores. Trabalho de Conclusão de Curso submetido ao curso de Engenharia Elétrica do Centro Tecnológico da Universidade Federal de Santa Catarina como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Elétrica. Florianópolis, 2024.

POTENZA, Renata Fragoso, et al. *Análise das emissões de gases de efeito estufa e suas implicações para as metas climáticas do Brasil 1970-2021.* Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa (SEEG), 2023. Disponível em: <https://energiaeambiente.org.br/wp-content/uploads/2023/04/SEEG-10-anos-v5.pdf>. Acesso em 16 set. 2024

SHIHADDEH, Nisã Souza; TAKAHASHI, Heitor Balugoli. *Otimização do despacho econômico das gerações distribuídas em redes de distribuição considerando o mercado livre de energia.* Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, Campus Jataí, como requisito para a obtenção do grau de bacharel em Engenharia Elétrica, 2024

SOARES, Edmar Araújo. *Estudo sobre a geração de energia elétrica por fontes renováveis na Paraíba.* Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao corpo Docente do curso de graduação em Engenharia Mecânica, da Universidade Federal da Paraíba, como parte dos requisitos necessários para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica. João Pessoa, 2023.

SOUZA, Adriana Lannes. *Uma visão sócio-espacial para o planejamento das redes de distribuição de energia elétrica, tomando como referência a atuação da Cemig em Minas Gerais.* Dissertação de Mestrado submetida ao Departamento de Geografia da Universidade de Brasília, como parte dos requisitos necessários para a obtenção do Grau de Mestre em Geografia, área de concentração Gestão Ambiental e Territorial, opção Acadêmica.

TORRES, Matheus Lima. *A influência da metodologia de regulação nos indicadores DEC e FEC para a qualidade de Energia da Energisa Paraíba.* Trabalho de conclusão de curso submetido à coordenação do curso de Engenharia Elétrica do Instituto de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel (a) em Engenharia Elétrica, 2022.

TRABUCO, Guilherme Henrique. *Determinação dos índices de confiabilidade em redes de distribuição usando análise de topologia e dados históricos.* Trabalho de graduação apresentado à Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira – Unesp como parte dos requisitos para obtenção do título de Engenheiro Eletricista. Ilha Solteira, 2023.