



SUBSTITUIÇÃO DAS CHAVES FUSÍVEL CONVENCIONAL POR RELIGADORES AUTOMÁTICOS: Estudo de Caso em uma Mineradora na Região Sudeste do Estado de Goiás.¹

Bruno Ferreira da Cunha

(brunofcunha86@gmail.com)

Professor orientador: Ruvier Rodrigues Pereira

Coordenação de curso de Engenharia Elétrica: Janice Rodrigues

Resumo

A energia elétrica ocupa um lugar de destaque e é um produto essencial na indústria e na sociedade moderna. A eletricidade é um dos principais insumos desde que sua aplicação se tornou imprescindível em vários seguimentos, tais como a produção em unidades industriais, iluminação pública, sistemas de telecomunicações, segurança nos centros urbanos, demais bens relacionados ao conforto e à qualidade de vida. Sendo assim, quando ocorre sua falta, mesmo sendo pequenas interrupções em seu fornecimento, ocasionam grandes transtornos, tanto sociais quanto econômicos. Os prejuízos econômicos, na grande maioria das situações oriundas das interrupções de energia elétrica, trazem grandes preocupações às indústrias, assim tem-se a necessidade do desenvolvimento de novos procedimentos e equipamentos da distribuição elétrica. Alguns dos principais objetivos das implementações de novos equipamentos, são adequá-los a novas tecnologias, agregando assim, maior presteza na resolução de problemas e monitoramento da rede elétrica. Este novo panorama e a complexidade das redes de distribuição motiva e justifica que o profissional de engenharia elétrica busque mais conhecimento sobre a proteção e automação de equipamentos aplicados nas redes elétricas. Buscando atender essas necessidades. Assim, este trabalho propõe uma revisão literária, seguida de um estudo de caso, com o intento de verificar os impactos da automação em equipamentos de manobra e proteção das redes de distribuição, uma vez que, constantemente equipamentos destinados às redes de distribuição (como relés, disjuntores, religadores) são desenvolvidos e aprimorados. Então, estarão apresentando resultados mais eficientes e precisos, respostas mais rápidas e a possibilidade de agregar inúmeras funções, tais como, operação remota, medição e monitoramento de várias grandezas elétricas da rede (tensão, corrente, potência e direção de fluxo), sistemas de autodiagnóstico, alertas através de indicadores visuais e ou sonoros, sistemas de comunicação que permitem integrar diversas outras tecnologias.

Palavras-chave: Inovação. Redes de distribuição. Automação.

1. INTRODUÇÃO

Este trabalho de conclusão de curso (TCC) fará a abordagem sobre o projeto de substituição da chave fusível convencional por religadores automáticos. Tal estudo, irá descrever detalhadamente os principais motivos para a realização deste projeto, que tem como objetivo adequar os equipamentos convencionais já instalados de acordo com as novas

¹ Trabalho de Curso, a ser apresentado a Universidade UNA de Catalão, como requisito parcial para a integralização do curso de Engenharia Elétrica, sob a orientação do Professor Ruvier Rodrigues Pereira.

tecnologias existentes agregando assim maior confiabilidade, agilidade na resolução de defeitos/problemas e monitoramento da rede elétrica.

De acordo com ANEEL em (2009) a distribuição é definida como o segmento do sistema elétrico de potência dedicado ao rebaixamento do nível de tensão proveniente do sistema de transmissão, à conexão de centrais geradoras e ao fornecimento de energia elétrica ao consumidor final.

O sistema de distribuição é composto pela rede elétrica e pelo conjunto de instalações e equipamentos elétricos tais como: transformadores e equipamentos diversos de medição, controle e proteção tais como religadores que operam em níveis de tensão inferior a 34,5 kV, tendo também uma subdivisão entre média tensão ou tensão primária (as mais comuns 7,9 kV, 13,8 kV e 23 kV) e baixa tensão ou tensão secundária (tensões iguais ou inferior a 1 kV). Além das tensões mencionadas acima, grande parte das linhas de transmissão com tensão entre 69 kV e 138 kV são de responsabilidade das empresas distribuidoras. Essas linhas são também conhecidas no setor como linhas de subtransmissão (ANEEL, 2009).

A chave fusível é um dispositivo de proteção e manobra de circuitos elétricos, desenvolvidas para operar em redes de distribuição, especialmente projetadas para proteger transformadores, bancos de capacitores, linhas e ramais. Na função de proteção, é instalado um elo fusível no porta-fusível da chave. A chave fusível é amplamente utilizada na proteção das redes de distribuição contra sobrecorrentes originadas por sobrecargas, curtos-circuitos, dentre outros, sua funcionalidade consiste basicamente na fusão do elo fusível, quando o mesmo é percorrido por uma amplitude de corrente elétrica acima da nominal, por um determinado tempo, conforme sua característica de tempo em relação a corrente.

O religador é um equipamento de proteção e manobra, utilizado para isolar trechos defeituosos, ou seja, com defeito permanente ou transitório ocorridos no sistema de distribuição de energia elétrica, constituído por um mecanismo automático projetado para abrir e fechar circuitos em carga ou em curto-circuito (ENERGISA, 2012).

O religador é um equipamento de proteção a sobrecorrentes utilizado em circuitos aéreos de distribuição, que opera quando detecta correntes de curto-circuito, abrindo e fechando, ou seja, desligando e religando automaticamente os circuitos um número predeterminado de vezes. Quando o religador detecta uma condição de sobrecorrente, a circulação dessa corrente é interrompida pela abertura de seus contatos. Os contatos são mantidos abertos durante determinado tempo pré-estabelecido, chamado tempo de religamento, após o qual se fecham automaticamente para reenergização da linha. Após o momento do fechamento dos contatos, a sobrecorrente persistir, a sequência abertura/fechamento é repetida até três vezes consecutivos e, após a quarta abertura, os contatos ficam permanentemente abertos e travados. O novo fechamento só poderá ser manual executado por um técnico após verificar a rede de distribuição.

Os argumentos mencionados se referem aos principais equipamentos que serão abordados no presente trabalho que, através de um estudo de caso, fará a verificação acerca dos pontos positivos e negativos dos dois tipos de dispositivos de proteção para redes de distribuição de eletricidade.

Então, pode-se dizer que, a escolha do tema se justifica por ter o interesse despertado em querer conhecer e entender como ocorre todo o processo envolvendo as várias atividades presentes no sistema energético nacional, buscando compreender também as muitas implicações aí existentes neste setor por demais complexo e suscetível de mudanças. Além disso, o assunto chama a atenção de estudantes, profissionais e outras pessoas interessadas em energia elétrica, por ser importante na questão de movimentar os vários setores da sociedade como um todo, estando presente nas residências humanas, nas indústrias, em entidades de saúde, em casas comerciais e demais divisões sociais, culturais, esportivas, entre outras, podendo se tornar uma fonte de pesquisa para próximos e ou futuros trabalhos.

Diante disso, pode-se definir que o objetivo geral da pesquisa será o de: Levantar os benefícios advindos da substituição da chave de fusível convencional por religadores automáticos.

E os objetivos específicos são os seguintes:

- Definir sistema elétrico de potência;
- Identificar os pontos positivos e negativos de ambos dispositivos de proteção para redes de distribuição elétrica.
- Conceituar energia elétrica;
- Descrever linhas de transmissão;
- Identificar equipamentos de proteção e manobra na rede de distribuição de energia elétrica.

No que se refere à metodologia, o estudo desenvolverá duas atividades distintas, a saber, primeiramente, será realizada uma pesquisa bibliográfica, e em seguida, será levado a efeito, um estudo de caso em uma Mineradora situada na região do Sudeste do Estado de Goiás.

O presente artigo apresenta a seguinte estrutura: o Resumo; a Introdução, contendo a temática, a problematização, a justificativa, os objetivos (geral e específicos), a metodologia e a organização estrutural do texto; segue-se o Referencial Teórico; a Metodologia; O Estudo de Caso; Os Resultados e Discussão; em seguida, vêm as Conclusões ou Considerações Finais; e, por último, têm-se as Referências Bibliográficas (o conjunto de obras e autores consultadas no decorrer da pesquisa).

2. DESENVOLVIMENTO

Os subtemas ou tópicos que serão apresentados neste espaço da pesquisa procuram tratar de informações pertinentes e ou relacionados à temática proposta pelo presente estudo, no sentido de fundamentá-lo teoricamente, buscando dar-lhe uma maior veracidade e contextualidade perante o assunto estudado.

2.1. Sistema Elétrico de Potência (SEP)

É definido como um conjunto de equipamentos e componentes que operam de maneira coordenada com a finalidade de gerar, transmitir e distribuir energia elétrica (OLIVEIRA, 2020). Registre-se que, o atendimento deste sistema, que estar em conformidade com os exigidos padrões de qualidade, segurança, custos, confiabilidade e disponibilidade, lembrando que, os dois últimos, são essenciais para os consumidores finais, uma vez que, a confiabilidade se refere ao tempo em que os componentes, sistemas ou partes dos mesmos, realizam suas falhas de modo correto, isto é, sem falhas. Já a disponibilidade, se refere à operacionalidade do sistema quando solicitado para uso. Dentre os componentes utilizados neste (SEP), destacam-se os geradores, transformadores, linhas de transmissão e distribuição, disjuntores, religadores, chaves facas e fusíveis, para-raios, relês, medidores, entre outros (OLIVEIRA, 2020).

Segundo Lima e Clemente (2019), no Brasil, o SEP para “sistemas em corrente alternada se divide em geração, transmissão e distribuição [...]”, geralmente ocorrendo em regiões ou localidades afastadas dos centros urbanos, em “usinas hidrelétricas”, que, saindo da base geradora, “a energia possui um nível de tensão muito alto (entre 138 e 700kv) e baixa corrente”, então, “uma nova subestação” reduz essa força para menos de 138kv, chegando aos seus consumidores (LIMA e CLEMENTE, 2019, p. 2).

Assim, tem-se que, a potência elétrica (PE) de uma dada instalação compreende duas divisões – a potência ativa e a potência reativa, sendo que, a primeira, refere-se àquela

“energia utilizada” de forma direta, transformada em trabalho e usada, enquanto que a reativa é a utilizada em “cargas indutivas e capacitivas” (LIMA e CLEMENTE, 2019). Vale acrescentar que, tais cargas citadas por último, causam “um campo magnético”, armazenando energia que sendo descarregada na rede cria situações “harmônicas” que vão gerar “o equilíbrio” entre uma e outra, trazendo benefícios para que o sistema transmissor seja eficiente (SATO, 2013).

Em conformidade com a ANEEL (2019), “a potência reativa é prevista pelas equações de Maxwell, em que foi unido o campo elétrico ao campo magnético, [...] usadas para descrever diversos efeitos da corrente alternada [...]”.

2.2. Energia Elétrica

Energia é a capacidade de produzir trabalho, sendo uma das suas principais características ser capaz de transformar-se em outra forma de energia, como por exemplo, “a energia térmica pode ser convertida em energia mecânica”, por meio da força dos motores de combustão interna, e a “energia química através de suas reações em energia elétrica”, usando pilhas. Contudo, não se pode transportar as novas formas de energia, então, ela deve ser usada onde é produzida (CEMIG, 2013). Porém, ainda, a energia elétrica pode ser transportada com facilidade, para se chegar aos seus consumidores finais, nos centros urbanos, nas propriedades rurais, nos setores industriais, percorrendo longos caminhos no sistema elétrico que, é composto por, geração, transmissão e distribuição (CEMIG, 2013).

De acordo com Tolmasquim (2012), o reconhecimento de que o Brasil como grande potência energética e ambiental do mundo nos dias atuais não é exagerado, pois, com certeza, o território nacional é rico em escolhas ou alternativas de produção de energia em várias frentes originais, então, matéria prima e capacidade de produção tem de sobra, a exemplo de vários outros países, sendo possível, apontar algumas fontes renováveis, tais como, hidráulica, eólica, etanol, biomassa, entre outras (TOLMASQUIM, 2012).

Há estimativas de crescimento da demanda total de energia do país em torno de 5,3% ao ano, sendo que, a indústria e o setor de transportes continuarão a ser os maiores responsáveis por consumi-la, cerca de 67% de sua produção, esclarecendo que, o setor energético crescerá no consumo interno em relação às refinarias e produção de petróleo e gás natural, complementando que, o aumento médio em consumo residencial também aumentará, entre outros setores da sociedade brasileira (TOLMASQUIM, 2012).

O Plano Decenal de Expansão de Energia (PDE) de 2020, configura as referências para expandir a geração e das principais interligações dos sistemas regionais, considerando aos critérios de sustentabilidade socioambiental e de garantia de suprimento, valendo dizer que, a diretriz mais importante do PDE é priorizar a inclusão e participação das fontes renováveis de energia para cobrir a demanda de consumo dentro do plano decenal (TOLMASQUIM, 2012).

Nesse sentido, é necessário destacar dois dos três leilões realizados em 2020, para comprar energia hidráulica, entre eles, as usinas de Belo Monte (11.233 MW) e Teles Pires (1.829MW), foram adquiridas pelo mercado regulado por 78 e 58 R\$/NWh, respectivamente. Assim, tem-se que, a hidreletricidade é o elemento que diferencia a matriz energética brasileira (MEB), sendo ela, a maior fonte de geração de eletricidade no Brasil (81%) do total produzido (TOLMASQUIM, 2012).

Deve-se considerar que, no Brasil, as formas de geração de eletricidade, a hidráulica reúne quatro caracteres importantes, como, é renovável (não produz e emite gases estufa); é altamente competitiva; a construção de usinas é quase de 100% de fornecimento e serviços nacionais, e ainda, e capaz de gerar empregos e rendas ao país. Além disso, em razão do desenvolvimento potencial neste setor, há que se levar em conta, os grandes progressos

desenvolvidos em torno dos locais de construção das usinas, visando minimizar os impactos ambientais, preservando os biomas existentes neles, havendo também que reconhecer as evoluções sócio-econômicas em que muitos núcleos urbanos crescem e alcançam números significativos de desenvolvimento humano superior em relação aos índices da região da qual fazem parte (TOLMASQUIM, 2012).

2.3. Linha de Transmissão

O transporte da energia elétrica é composto pelas linhas de transmissão, subtransmissão e distribuição. No Brasil, as tensões usuais de transmissão são adotadas, variam até as maiores de 138Kv, incluindo as intermediárias entre 230Kv, 345Kv, 440Kv e 500Kv. Os níveis mais baixos (da subtransmissão) variam entre 34,5Kv e 69Kv (SOUZA, 2021). Já o sistema de distribuição compreende, a rede elétrica e o conjunto de instalações e equipamentos elétricos, tais como, transformadores e elementos de medição, controle e proteção, que, envolvem, os relés de proteção, chaves fusíveis, religadores, entre outros. Tais componentes funcionam em níveis inferiores de tensão (34,5Kv), variando entre média ou primária tensão (7,9Kv, 13,8Kv e 23Kv), (SILVA, 2022).

Deve ser considerado que, o acúmulo de potência reativa, pode causar danos na rede de transmissão, fazendo ocorrer distorções na frequência elétrica de uma rede, causando alterações e ou variações nos valores da tensão e perda de energia por efeito joule, acontecendo possíveis quedas de energia, o que poderá afetar a qualidade da energia elétrica fornecida aos fornecedores (LIMA e CLEMENTE, 2019).

Nessa perspectiva, há que se levar em conta que existem dois sistemas de transmissão de energia elétrica, uma, chamada de corrente alternada (CA), na qual, pode ocorrer perdas pelo efeito Skin ou efeito peculiar, em que o campo magnético joga a corrente elétrica para a parte externa do cabo, fazendo aumentar a resistência elétrica, gerando tais perdas por efeito joule e aparecimentos de harmônicas (LIMA e CLEMENTE, 2019).

E, para neutralizar o Skin e seus efeitos, deve-se trançar os cabos condutores unindo-os, a fim de assegurar a uniformidade da passagem da corrente pelo cabo, contudo, não se pode esquecer que esse método é muito caro, exigindo um melhor preparo dos fios condutores (SATO, 2013). Além disso, as harmônicas podem advir do efeito corona, que, por sua vez, decorre da presença de partículas de água e poeira soltas no ar, que, acabam por provocar quedas na capacidade energética, que podem fazer ocorrer perdas de centenas do quilo Watts por quilômetros do condutor elétrico, especificamente, acontecendo em linhas de transmissão que estão ou são expostas ao tempo chuvoso e garoas (LIMA e CLEMENTE, 2019).

Enquanto que, nas linhas de transmissão de corrente contínua (CC) não existem tais problemas, pois, sua corrente é uniforme por todo o fio, portanto, não há ocorrência de campos magnéticos nas linhas, como os efeitos Skin ou corona, desde que, na sua implantação, sejam usados comutadores para converter a CA em CC e, vice versa, e, caso, haja perdas, estas são causadas pelo efeito joule, provocadas pela resistência natural, advinda dos cabos de cobre, alumínio ou aço usados nestas linhas (SATO, 2013).

É válido registrar que, há uma previsão de que o sistema de transmissão interligado do país, seja ampliado, e grande parte de tal expansão poderá ocorrer a partir dos trancos de transmissão de associações com interligações das usinas localizadas no norte do Brasil, como por exemplo, as de Jirau e Santo Antônio, no Rio Madeira, e Belo Monte, ligando-as ao resto do território brasileiro (TOLMASQUIM, 2012). É pertinente destacar ainda, a interligação Manaus – Boa Vista (em 500Kv), que, também, irá atender ao mercado de energia elétrica do Estado de Roraima, possibilitando o escoar do excedente de energia dos futuros aproveitamentos hidrelétricos da bacia de Rio Branco (TOLMASQUIM, 2012).

2.4. Equipamentos de Proteção e Manobra (EP-EM)

As redes de distribuição de energia elétrica são, por sua natureza complexas e muitas amplas, isto é, de grandes extensões, e por causa de tais especificidades, em variados momentos e ou em diferentes situações, tornam-se vulneráveis quanto ao seu desempenho, ou seja, sujeitas à interrupções, e, para reduzir essas falhas no fornecimento e facilitar o religamento após uma queda, existem no sistema elétrico de potência (SEP), dois tipos de equipamentos, sendo um de proteção (EP), podendo ser usado também para manobra de circuito, e o de manobra (EM) exclusivo para manobra (SILVA, 2022).

São vários os fatores que causam interrupções no fornecimento de energia elétrica, podendo ser citados, “...contados de galhos de árvores, descargas atmosféricas, vandalismos, contato de animais, rompimentos de cabos, objetos lançados em equipamentos e na rede elétrica e etc.” (COSTA, 2018). Tais fatores podem ocasionar várias falhas que, se classificam em: Falhas de origem transitória – aquelas que se extinguem sozinhas ou de acordo com auto proteção, religando-se, não precisando de reparos, na grande maioria destas falhas, sua classificação é defeitos transitórios SILVA, 2022). E, falhas de origem permanente – diferentemente das anteriores, estas exigem reparos imediatos, provocando longas interrupções para recompor o sistema.

Com relação às falhas de origem permanente, Silva (2022) diz que, equipamentos de proteção devem ser dimensionados de tal forma que protejam o sistema em condições de falhas promovendo a continuidade e a qualidade do fornecimento de energia aos clientes em geral (SILVA, 2022). Analisando esta argumentação, é necessário que a real função do sistema de proteção seja capaz de cumprir os seguintes objetivos: detectar defeitos; proceder o isolamento do trecho ou do equipamento com defeito; reduzir estragos em materiais e equipamentos; diminuir ao máximo os riscos às pessoas (SILVA, 2022).

Quanto aos modelos de equipamentos de proteção (EPs) na rede de distribuição, os comumente usados são os seccionalizadores, religadores, disjuntores e chaves fusíveis, e cada um deles, pode ser assim descritos, segundo Borges (2019):

- Seccionizador, um equipamento auxiliar de proteção, operando em conjunto com religadores ou disjuntores (Figura 1).

Figura 1 - Seccionadora Automática



Fonte: Borges (2019)

- Religador, equipamento de proteção e manobra, serve para isolar trechos com defeitos, sejam, eles permanentes ou transitórios, com um mecanismo projetado para abri e fechar circuitos em carga ou em curto-circuito (Figura 2).

Figura 2 - Religadora Automática



Fonte: Borges (2019)

- Disjuntores, equipamentos para proteção e manobra em uso das redes de distribuição contra sobrecorrentes originadas por sobrecargas, curtos-circuitos, entre outros, trata-se da fusão do elo fusível ou chave fusível.

Figura 3 – Disjuntor de média tensão



Fonte: Borges (2019)

De modo específico, no que se refere aos equipamentos de manobra, há que considerar os que aqui se apresentam, como por exemplo: a chave faca ou seccionadora, usada de forma exclusiva para manobra. Sua instalação pode ser na posição vertical ou horizontal, quando aberta ou Normalmente Aberta (NA), interrompe o circuito elétrico, e, Normalmente Fechadas (NF) dá continuidade ao circuito (ver Figura 4).

Figura 4 – Chave Faca ou Seccionadora



Fonte: Borges (2019)

A Figura 4, representa a chave faca ou seccionadora, chamada Monopolar, usada para a manutenção preventiva ou corretiva, programando o desligamento desta prevenção, balanceamento de carga, manobra de circuitos para socorro, manobras para reduzir o número de clientes sem energia, em especial, prevenir e corrigir problemas em hospitais, grandes indústrias, shoppings e pessoas que dependem da energia para viver (sobrevida) (SILVA, 2022). E a Figura 5 ou Chave Faca Tripolar e a Figura 6 ou conjunto de chaves facas que, são também utilizadas para manobras de prevenção ou correção na rede de distribuição de energia elétrica, são apresentadas a seguir.

Figura 5 – Chave Faca Tripolar



Fonte: Silva (2022)

principal aplicação da chave faca tripolar é em sistemas de distribuição de energia trifásica, como em subestações de energia e linhas de transmissão de alta tensão. Ela é utilizada para isolar completamente o trecho da rede em caso de manutenção, reparo, inspeção ou emergência (COSTA, 2018).

Além disso, a chave faca tripolar também pode ser utilizada como dispositivo de proteção em casos de curto-circuito ou sobrecarga, permitindo a desconexão rápida e segura da alimentação elétrica para evitar danos aos equipamentos e garantir a segurança dos

operadores (SANTOS, 2022). Já o Conjunto de Chaves Facas (Figura 6) é um conjunto de dispositivos que consiste em várias chaves facas interconectadas. Sua função principal é fornecer um meio seguro e eficiente para o controle e interrupção de fluxo de corrente em uma rede elétrica em alta tensão.

Figura 6 – Conjunto de Chaves Facas (NF)



Fonte: Santos (2022)

Em resumo, o conjunto de chaves facas desempenha um papel crucial no controle e proteção de redes elétricas em alta tensão, permitindo a desconexão e isolamento seguros de seções da rede para manutenção, transferência de carga e proteção contra falhas elétricas. Em tempo, além dos equipamentos de proteção (EPs) e equipamentos de manobra (EM), aqui mencionados, há que ser citados os seguintes: o relé; os para-raios; a chave fusível rabicho, entre outros, esclarecendo que, cada um com suas funções específicas, podendo ser automáticos ou não, e acrescente-se que, com exceção do relé e para-raios, todos os equipamentos apresentados ou referidos, além da função de proteção, também podem ser usados em manobras de circuitos (SATO, 2013).

3. METODOLOGIA

Num primeiro momento, o estudo utilizou como metodologia a pesquisa bibliográfica exploratória, realizando, consultas em livros, artigos, revistas dispostas nas redes virtuais, numa abordagem quantitativa, objetivando transformar dados em informações acerca do assunto e de forma indutiva observando e analisando uma realidade organizacional. E, num outro momento, o trabalho realizou um estudo de caso, numa rede de distribuição de energia em uma empresa do ramo de mineração, localizada na região sudeste do estado de Goiás, na tentativa reduzir o tempo gasto para manutenção de rede em casos de queda da chave de fusível. Para Vin (2018) o estudo de caso, “é uma forma de pesquisa empírica, visando à investigação de fenômenos contemporâneos que considera o contexto real do fenômeno estudado”.

Importa registrar ainda que, o estudo foi realizado entre os anos de 2022 e 2023, efetivando a substituição da chave fusível manual para uma automática. Assim sendo, foi criada uma equipe de profissionais de variadas áreas e divididas as atividades como um todo. Uma vez que, o projeto foi apreciado, analisado e autorizado pela alta direção, pois segue pré-requisitos de otimização de tempo, custos e aumento de eficiência a partir da agilidade em caso de queda do equipamento de proteção da rede elétrica.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Levando em consideração o apresentado até o momento, vale dizer que, o estudo que aqui se apresenta teve como ponto de partida o custo das paradas não programadas e/ou de forma imprevisível devido à queda de energia na rede de distribuição que fornece alimentação para a captação de água e extração de fosfato em uma mineradora, que, neste estudo será denominada de Alfa SA. Desta forma, primeiramente compilou-se os dados advindos dos registros destas ocorrências para *start* da tratativa proposta. Assim, o Gráfico 1, apresenta a porcentagem do tempo gasto com religações mensais.

Gráfico 1 - % de religações mensal

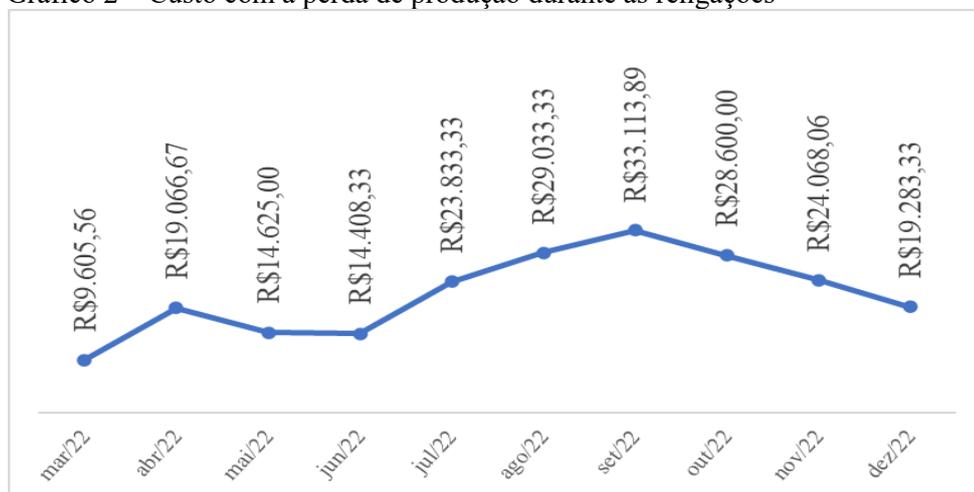


Fonte: O autor (2023)

De acordo com o Gráfico 1, é possível perceber a porcentagem do tempo mensal, consumido com religações dos fusíveis após a queda de energia por variados motivos. Assim sendo, importa registrar que esta porcentagem surgiu do tempo total gasto para religações em h/mês, dividido pela quantidade de horas trabalhadas. Exemplo: 1 h/mês dividido por 720 horas totais trabalhadas mensal = 0,1%.

Partindo do exposto, plotou-se o Gráfico 2, com o objetivo de encontrar o custo mensal correlacionados com a porcentagem destas paradas não programadas ou imprevisíveis.

Gráfico 2 – Custo com a perda de produção durante as religações

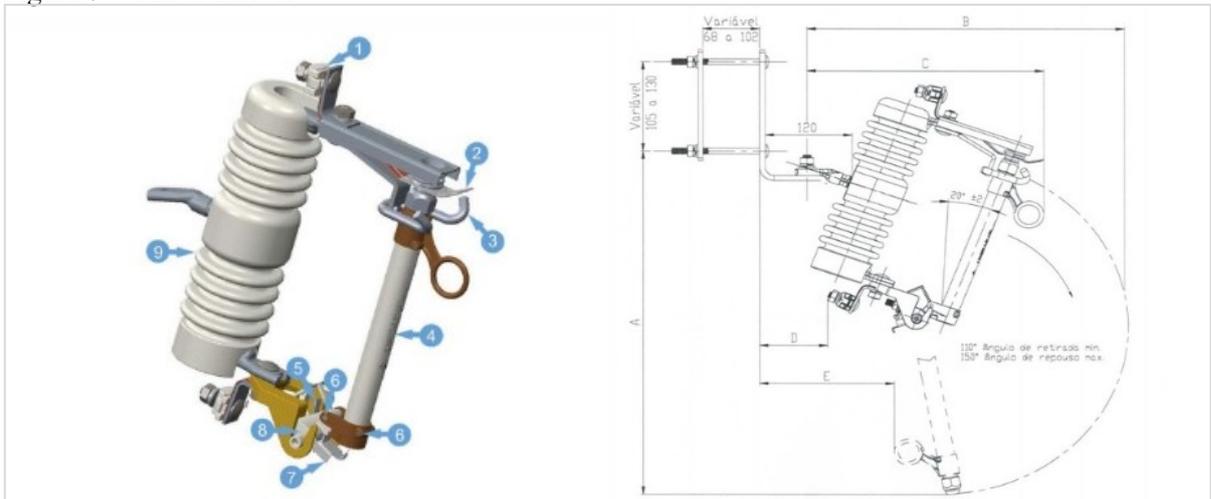


Fonte: O autor (2023)

Registre-se que os valores apresentados no Gráfico 2, referem-se ao custo com as perdas de produção durante às paradas sucedidas ao tempo de religação das chaves fusíveis responsáveis pela proteção da rede elétrica de alimentação da captação de água da mineradora de fosfato. Levando em consideração os valores observados no gráfico, vale dizer que é o custo da venda do fosfato por hora, dividido pela quantidade de horas mensal. Exemplo: Produção de fosfato mensal = 133.000t; Valor por toneladas = R\$ 1.015,00; Valor do faturamento mensal do fosfato \approx R\$ 135.000.000,00 (*racional de cálculo* – R\$ 1.015,00*133.000t mensal). Assim, pode-se dizer que o valor encontrado no gráfico é: R\$ 135.000.000,00 / 720 horas mensal \approx R\$ 186.604,17 reais pelo tempo consumido no religamento da rede elétrica, uma vez que a captação de água é essencial para o beneficiamento e linha produtiva da mineradora Alfa SA.

Com base nas informações encontradas pelas análises, o grupo decidiu buscar recursos ou melhorias que traga benefícios à organização e minimizem os impactos negativos como um todo. Entretanto, embora seja um custo alto para a Alfa SA, é de suma importância dizer que este dispositivo é para proteção e manobra dos circuitos elétricos, garantindo a integridade dos equipamentos e máquinas de um prejuízo maior para a organização.

Figura 7 – Chave fusível



Fonte: O autor (2023)

As chaves de fusível (figura 7), são dispositivos de proteção utilizados em sistemas elétricos para interromper a corrente elétrica em caso de sobrecarga ou curto-circuito. Elas são projetadas para serem seguras e confiáveis, independentemente das condições climáticas.

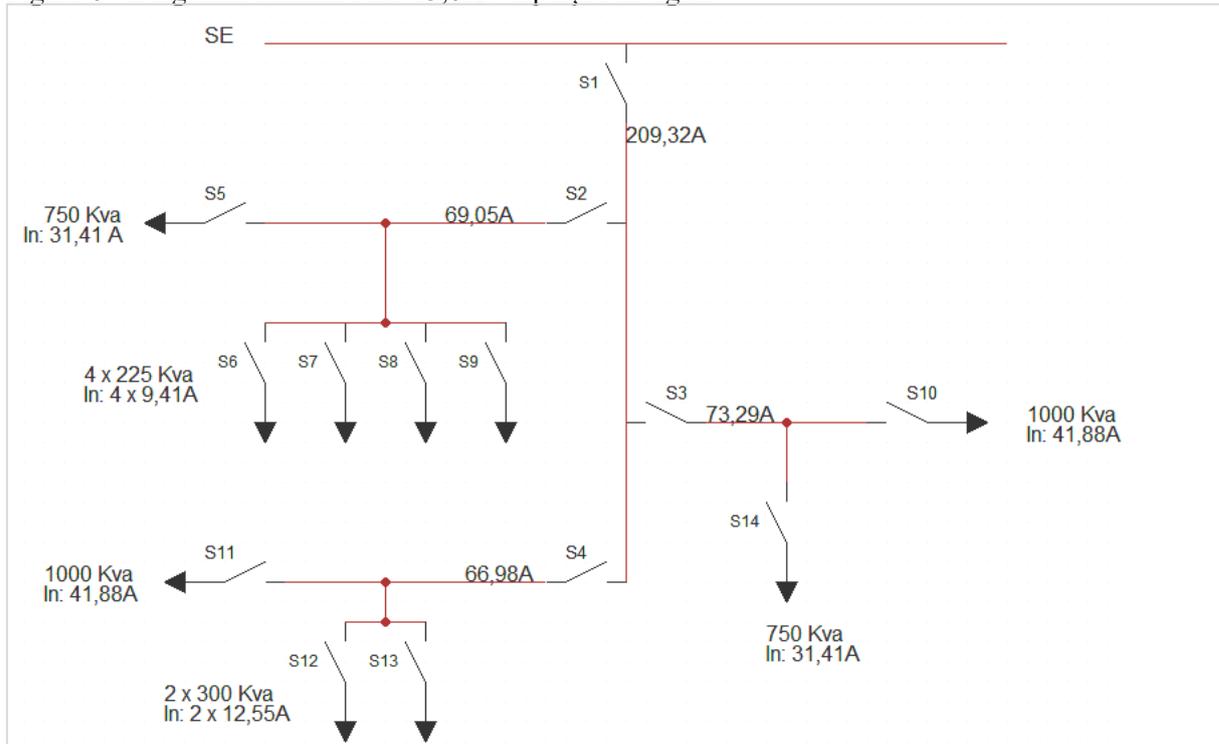
No entanto, em épocas de ventos fortes e chuvas intensas, é possível que ocorram quedas de energia devido a outros fatores, como galhos de árvores ou objetos estranhos sendo lançados nas linhas elétricas. Esses incidentes podem causar falhas temporárias no fornecimento de energia.

As chaves de fusível podem ser afetadas indiretamente em situações assim. Por exemplo, se um objeto estranho causar um curto-circuito na linha elétrica, o fusível pode ser acionado para interromper a corrente e proteger o sistema. Nesse caso, o fusível precisará ser substituído após a ocorrência do incidente para restaurar o fornecimento de energia.

No entanto, é importante ressaltar que as quedas de energia durante períodos de ventos e chuvas intensos não são exclusivamente causadas por chaves de fusível. Elas podem ser resultadas de uma combinação de fatores, como quedas de árvores, danos nas linhas elétricas ou problemas em subestações de energia. Desta forma, as informações coadunam com os gráficos apresentados anteriormente, onde é possível enxergar que entre os meses de julho à outubro houve uma ascensão em relação aos outros meses.

No tocante, ao sistema elétrico, registre-se que as conexões e o funcionamento dos componentes, são estruturados de forma a facilitar a identificação da chave fusível e outras partes essenciais para o bom funcionamento do sistema elétrico à minerado alvo deste estudo, assim sendo, através da Figura 8 é possível perceber, o circuito elétrico de distribuição que alimenta a captação de água conforme ilustrado no diagrama unifilar abaixo.

Figura 8 - Diagrama Unifilar rede 13,8Kv captação de água.



Fonte: O autor (2023)

Partindo das informações do diagrama acima, salienta-se que, um diagrama unifilar é uma ferramenta essencial para entender a estrutura e o funcionamento de um sistema elétrico de forma simplificada e visual. Ele fornece informações cruciais para projetos elétricos, instalação, manutenção e reparo de sistemas elétricos em diferentes ambientes, como indústrias, residências, edifícios comerciais, dentre outros. Além disso, um diagrama unifilar também fornece informações importantes, como a direção do fluxo de energia, a capacidade dos componentes, as proteções utilizadas e os pontos de conexão elétrica. Dentre algumas funções específicas de um diagrama unifilar incluem-se algumas que se segue:

- Identificação dos componentes: Permite identificar claramente cada componente do sistema elétrico, como motores, transformadores e disjuntores, através de símbolos padronizados.
- Representação da conexão: Mostra as conexões elétricas entre os componentes, como a forma como os cabos ou fios estão conectados aos disjuntores, fusíveis e outros dispositivos de proteção.
- Informações de capacidade: Indica a capacidade nominal dos componentes, como a potência do gerador, a corrente suportada pelos disjuntores e a tensão do transformador.
- Indicação de proteções: Identifica os dispositivos de proteção utilizados no sistema, como disjuntores, fusíveis e relés, que são responsáveis por proteger o sistema elétrico contra sobrecargas, curtos-circuitos e outras falhas.

- Orientação de fluxo de energia: Mostra a direção do fluxo de energia elétrica no sistema, permitindo compreender a distribuição da energia e o caminho percorrido por ela.

No entanto, ainda é importante dizer que os valores dos elos nas chaves fusível estão registrados na Tabela 1, de acordo com a carga dos transformadores do circuito alvo deste estudo, onde foram levados em consideração o esquema apresentado no diagrama unifilar da Figura 8.

Tabela 1- valores dos elos nas chaves fusível

S1: 100K	S9: 10K
S2: 80K	S10: 40K
S3: 80K	S11: 40K
S4: 80K	S12: 15K
S5: 30K	S13: 15K
S6: 10K	S14: 30K
S7: 10K	

Fonte: O autor (2023)

Contudo, vale dizer que os valores percebidos da Tabela 1, em relação aos elos, estão diretamente correlacionados com a carga dos transformadores encontrados na Tabela 3.

Tabela 2 – Dimensionamento das chaves e elos fusíveis primários

Instalação Consumidora	Tensão Nominal			
	13,8kv		23,1kv	
Potência Total de Transformadores (KVA)	Chaves (A)	Elos (H, K)	Chaves (A)	Elos (H, K)
Até 15	100	1H	100
Até 30	100	2H	100	2H
Até 45	100	3H	100	2H
Até 50	100	3H	100	2H
Até 75	100	5H	100	3H
Até 100	100	6K	100	5H
Até 112,5	100	6K	100	5K
Até 150	100	8K	100	6K

Até 225	100	10K	100	6K
Até 250	100	12K	100	8K
Até 300	100	15K	100	10K
Até 400	100	20K	100	12K
Até 500	100	25K	100	15K
Até 600	100	30K	100	20K
Até 750	200	30K	200	20K
Até 1000	200	40K	200	25K
Até 1500	200	65K	200	40K
Até 2000	200	80K	200	50K
Até 2500	200	100K	200	65K

Fonte: O autor (2023)

Lançando mão dos dados, referências, parâmetros e outros, é necessário que ainda se utilize a Tabela 3, com a corrente versus fusível dos transformadores para utilizar o que de acordo com a capacidade servirá para utilização no circuito elétrico.

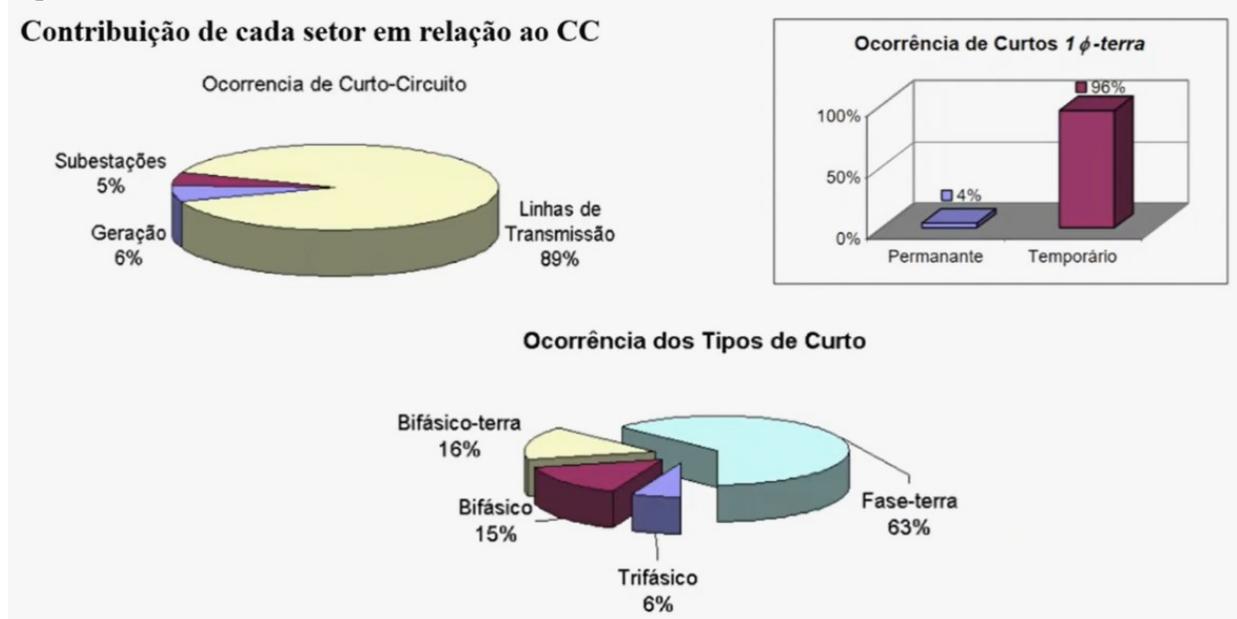
Tabela 3 – Corrente x fusível dos transformadores

Potência do Transformador (KVA)	Tranformador Trisáfico					
	6,6 KV		13,8KV		22KV	
	Corrente (A)	Fusível	Corrente (A)	Fusível	Corrente (A)	Fusível
15	1,31	1H	0,63	1H	0,39	-----
30	2,62	3H	1,26	2H	0,79	-----
45	3,94	5H	1,88	3H	1,18	1H
75	6,56	8K	3,14	5H	1,97	2H
112,5	9,84	10K	4,71	6K	2,95	5H
150	13,12	15K	6,28	8K	3,94	5H
225	19,68	20K	9,41	10K	5,90	6K
300	26,24	30K	12,55	15K	7,87	10K

Fonte: O autor (2023)

Após levar em consideração as ocorrências advindas da queda de energia na linha de distribuição, proveniente do desarme da chave fusível, provocado por fenômeno diversos, podendo ser galhos na rede, curto-circuito, falha do sistema e outros, além de apresentar dados plotados nas tabelas como referências e diagrama visual do fluxo estrutural elétrico é hora de apresentar as ocorrências dos defeitos no SEP e verificar as principais delas nos sistemas elétricos de potência (Ver Figura 9).

Figura 9 – Ocorrências dos defeitos no SEP



Fonte: O autor (2023)

De acordo com a Figura 9, percebe-se que em relação a ocorrência de curto-circuito, as linhas de transmissão são as principais impactadas com 89% do total. Já no que tange ao tipo de curto, a fase terra contribui com 63% e nas ocorrências de curtos classificados por permanente e temporário, do total de 100%, o temporário representa 96% do todo.

Então, lançando mão de um novo projeto e embasado por dados levantados ao longo do estudo, decidiu-se implementar o religador automático substituindo a chave fusível S1 (ver em figura 8) para reduzir os impactos e melhorar a eficiência dos processos produtivos.

Figura 10 – Religador automático

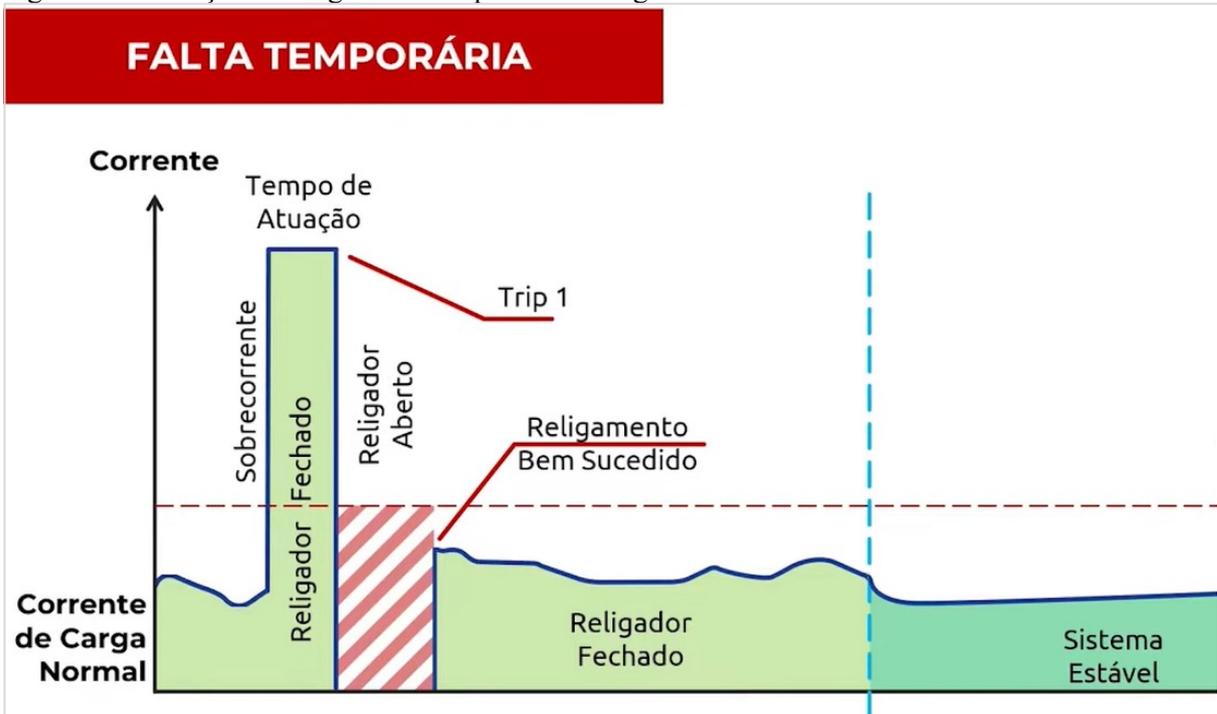


Fonte: O autor (2023)

A Figura 10, ilustra o tipo de religador implementado na mineradora Alfa SA. Contudo, vale lembrar que o processo de montagem deste sistema, foi feito por etapas, pré-definidas, para não impactar a captação e a extração do fosfato durante a montagem destes e ocasionar paradas não planejadas durante a produção. Contudo, o que se pode dizer é que após o funcionamento deste dispositivo automático, as paradas reduziram drasticamente, uma vez que, das muitas, eram apenas pequenas quedas que agora com o sistema não mais terão ou

representarão entre 60 a 80% dos casos. Na Figura 11, explica a atuação do religador em uma situação de falta com apenas um religamento.

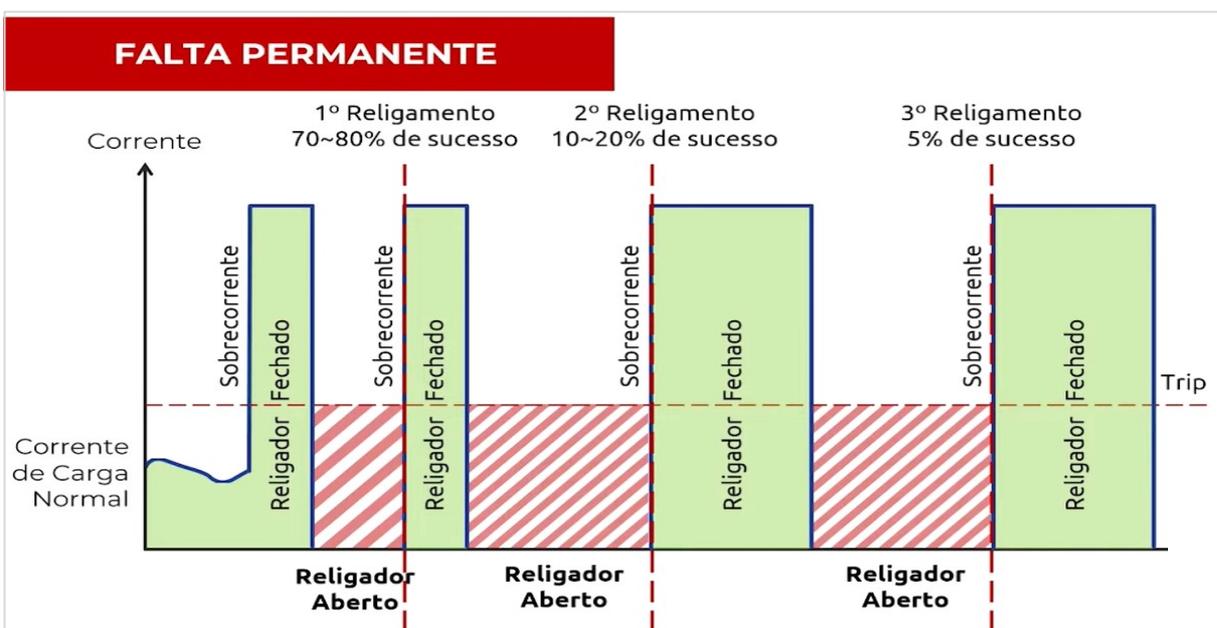
Figura 11 – Atuação do religador com apenas um religamento



Fonte: O autor (2023)

Com o novo sistema, a falta temporária é rapidamente eliminada, uma vez que de acordo com a Figura 11 é possível perceber o funcionamento deste, utilizando o religamento automático para evitar a queda e conseqüentemente a parada de produção. Já na Figura 12, nota-se a situação da atuação do religador em caso de falta permanente e suas porcentagens de sucesso.

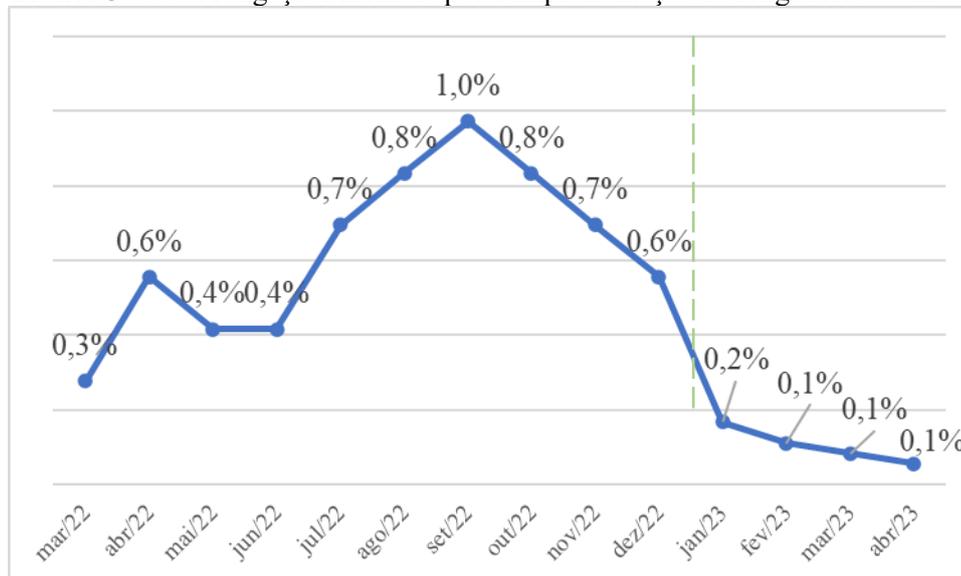
Figura 12 – Atuação do religador com falta permanente



Fonte: O autor (2023)

De acordo com o observado ao longo deste estudo, neste momento é plausível apresentar os resultados alcançados com a implementação da religadora automática substituindo a chave fusível convencional. Os quais contribuíam para o aumento do custo da operação na organização Alfa SA, palco deste estudo. Tal resultados, podem ser verificados no Gráfico 3, que se segue.

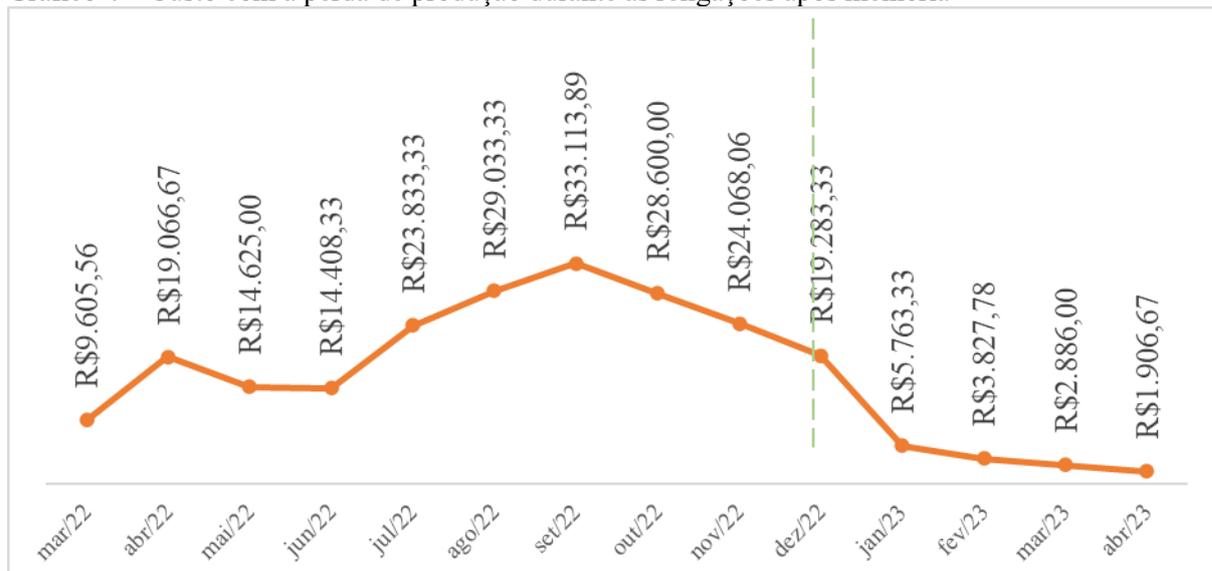
Gráfico 3 - % de religações mensal após a implementação da religadora automática



Fonte: O autor (2023)

Ao observar o Gráfico 3, é notório a queda da porcentagem em relação aos meses anterior após a substituição da chave fusível manual por uma seccionadora automática, contribuindo para a redução das paradas e tempo gasto para religações durante às rotinas diárias. Já no Gráfico 4, percebe-se que o custo teve uma redução representativo em relação aos anteriores.

Gráfico 4 – Custo com a perda de produção durante as religações após melhoria



Fonte: O autor (2023)

Levando em consideração o que se observa e é reafirmado pelos dados plotados no gráfico, o que se pode considerar é dos benefícios advindos a substituição da chave fusível manual pela automática é:

- ✓ Automatização do processo: A substituição da chave fusível por uma seccionadora automática permite automatizar o processo de corte e religamento da alimentação elétrica. Isso pode trazer benefícios em termos de eficiência e rapidez, pois não é necessário substituir fusíveis manualmente em caso de falhas ou manutenção.
- ✓ Maior confiabilidade: As seccionadoras automáticas geralmente são projetadas para ter maior confiabilidade em comparação com as chaves fusíveis. Elas são projetadas para suportar correntes e cargas específicas, além de possuírem recursos de proteção avançados, como detecção de curtos-circuitos e sobrecargas.
- ✓ Menor tempo de interrupção: Com uma seccionadora automática, o tempo de interrupção do fornecimento de energia pode ser reduzido, uma vez que o processo de corte e religamento é automatizado e ocorre em tempo muito mais curto do que a substituição manual de fusíveis.
- ✓ Manutenção mais fácil: As seccionadoras automáticas geralmente possuem recursos de monitoramento e diagnóstico, o que facilita a manutenção preventiva e corretiva do sistema elétrico. Isso permite identificar problemas e realizar reparos mais rapidamente, minimizando o tempo de inatividade.
- ✓ Segurança aprimorada: As seccionadoras automáticas são projetadas levando em consideração normas e padrões de segurança elétrica. Elas possuem mecanismos de proteção adicionais, como isolamento adequado e sistemas de desarme em caso de falhas, visando garantir a segurança dos operadores e a integridade do sistema.

É importante ressaltar que a substituição da chave fusível por uma seccionadora automática deve ser feita por profissionais capacitados, levando em consideração as necessidades e características específicas do sistema elétrico em questão. Uma análise completa e um projeto adequado devem ser realizados para garantir que a seccionadora automática seja a solução mais apropriada em termos de desempenho, segurança e custo-benefício.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diante ao estudo proposto, conclui-se que, ao analisar os benefícios da substituição da chave de fusível convencional por religadores automáticos, pode-se afirmar que o objetivo geral foi alcançado. Através desse projeto, foi identificadas diversas vantagens proporcionadas pela utilização dos religadores automáticos no lugar das chaves fusíveis.

A automação do processo de corte e religamento da alimentação elétrica traz maior eficiência e rapidez, eliminando a necessidade de substituição manual de fusíveis. Isso resulta em menor tempo de interrupção do fornecimento de energia, reduzindo os impactos para os usuários finais, que aqui na empresa Alfa SA, resultava na parada de produção do fosfato, onde são processados aproximadamente 133.000t ao dia.

Além disso, a confiabilidade dos religadores automáticos é geralmente superior às chaves fusíveis, pois são projetados com recursos avançados de proteção e detecção de falhas.

Isso contribui para um sistema elétrico mais seguro confiante e estável, minimizando os riscos de sobrecargas e curtos-circuitos.

Outro benefício é a facilidade de manutenção oferecida pelos religadores automáticos, que possuem recursos de monitoramento e diagnóstico. Isso possibilita a identificação rápida de problemas e a realização de reparos preventivos e corretivos de forma mais eficiente, reduzindo o tempo de inatividade do sistema.

Considerando ainda a segurança aprimorada proporcionada pelos religadores automáticos, que são projetados conforme normas e padrões de segurança elétrica, é possível concluir que a substituição da chave de fusível convencional por religadores automáticos traz benefícios significativos para a confiabilidade, eficiência e segurança do sistema elétrico.

Portanto, com base nos benefícios identificados, fica evidente que a substituição da chave de fusível convencional por religadores automáticos é uma solução viável e recomendada para melhorar o desempenho e a qualidade do fornecimento de energia elétrica para essa e ou qualquer outra empresa que necessite uma melhor estabilidade elétrica aos seus processos produtivos.

Então, vale acrescentar que, apesar do trabalho apresentar um breve tratado sobre as vantagens da substituição das chaves convencionais para religadores automáticos, ele, com certeza, sugere que deverão haver novas pesquisas que busquem seu aprofundamento, contudo, já poderá servir de base e estímulo para os envolvidos na área estudada, despertando-lhes o interesse e o desejo de conhecer e explorar mais a automatização de circuitos elétricos. Sendo assim, para trabalhos futuros, pensar-se-á em calcular o *payback* da implementação dos equipamentos versus o custo evitado com as paradas não programadas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANEEL - (Agência Nacional de Energia Elétrica) Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/capacidadebrasil.cfm>. ANEEL, Agência Nacional de Energia Elétrica. (2009).

BORGES, M. **Linhas de Transmissão**. Brasília (D): INEE, 2019. Disponível em: <https://energes.com.br/diferenca-entre-linha-de-distribuicao-e-transmissao/>. Acesso em 23 de maio de 2023.

CEMIG. **Composição da energia elétrica**. Disponível em: <http://www.cemig.com.br>. Acesso em 12 de março de 2023.

COSTA, H. L. **Eficiência Energética em Edificações**. São Carlos (SP): FAU, 2018.

ENERGISA – **Importância do equipamento de proteção e manobra** (2012). Disponível em: <http://www.energisa.com.br>. Acesso em: 23 de maio de 2023.

LIMA, G. H. de; CLEMENTE, E. de L. D. **Sistemas em corrente alternada: linhas de transmissão**. São Paulo (SP), USP, 2019.

OLIVEIRA, M. J. **Definindo Sistema Elétrico de Potência (SEP)**. Cravinhos (SP). Editora Saraiva, 2020.

SANTOS, E. P. **Uso racional e eficiente de energia elétrica - metodologia para a determinação dos potenciais de conservação dos usos finais em instalações de ensino e**

similares. São Paulo (SP). Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, 2022.

SATO, A. **Transmissão de Potência em Corrente Contínua e Corrente Alternada: Estudo Comparativo**. Belo Horizonte (MG): UFMG, 2013.

SILVA, E. P. **O uso eficiente de eletricidade**. Rio de Janeiro (RJ): INEE, 2022.

TOLMASQUIM, M. T. **Perspectivas e Planejamento do Setor Energético no Brasil**. Rio de Janeiro (RJ): UFRJ, 2012.

VELOSO, Cristiano. **Preços dos principais fertilizantes utilizados no Brasil no início de 2022 e no início de junho de 2023**, valores em reais, de acordo com as cotações do dólar dos respectivos dias (Fonte: ACERTO Weekly Fertilizer Report Brazil 06/01/2022 e 01/06/2023). Disponível: <https://blog.verde.ag/mercado-agricola/veja-os-precos-do-cloreto-de-potassio-e-outros-fertilizantes-usados-na-agricultura-brasileira/#:~:text=MAP%2011%2D52%3F-O%20relat%C3%B3rio%20ACERTO%20Weekly%20Fertilizer%20Report%20Brazil%20do%20dia%2001,01%20de%20junho%20de%202023>. Acessado em 15 de junho de 2023.

VIN, R. K. **Estudo de caso: planejamento e métodos**. 4. ed. Porto Alegre: Bookman, 2018.