

ANÁLISE E OTIMIZAÇÃO DA EFICIÊNCIA E CONFIABILIDADE DE RELIGADORES EM SISTEMAS DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA: UM ESTUDO DE CASO

Juber Guilherme Severino do Nascimento¹

Derbal Santos Grossi Junior²

Lucas Dias Martins Barbosa³

Dr. José Eduardo Henriques da Silva⁴

RESUMO

A automação da rede de distribuição de energia tem se mostrado uma estratégia eficaz para melhorar a qualidade do fornecimento e reduzir o tempo de resposta em casos de interrupções. Este trabalho tem como objetivo apresentar uma análise comparativa entre o método tradicional de atendimento a uma chave fusível religadora no distrito de Cataguarino, em Cataguases, e o uso do dispositivo automatizado RD ROCKET-1. A metodologia adotada envolveu a análise de dados operacionais fornecidos pela concessionária Energisa, considerando indicadores como Tempo Médio de Atendimento (TMA), Tempo Médio de Deslocamento (TMP), Duração Equivalente de Interrupção por Unidade Consumidora (DEC) e Frequência Equivalente de Interrupção por Unidade Consumidora (FEC). Os resultados apontam que a implantação do RD ROCKET-1 contribuiu significativamente para a redução do tempo de deslocamento e de atendimento, além de melhorar os indicadores de continuidade do serviço. Conclui-se que o uso do dispositivo automatizado representa uma solução eficiente para a operação da rede elétrica, promovendo maior agilidade, confiabilidade e satisfação dos consumidores.

Palavras-chave: Eficiência operacional. Religadores. Distribuição de energia elétrica. RD ROCKET-1.

¹ Rede de Ensino Doctum – Unidade Cataguases – aluno.juber.nascimento@doctum.edu.br – Graduando em Engenharia Elétrica.

² Rede de Ensino Doctum – Unidade Cataguases – derbal82@hotmail.com – Graduando em Engenharia Elétrica.

³ Rede de Ensino Doctum – Unidade Cataguases – aluno.lucas.barbosa@doctum.edu.br – Graduando em Engenharia Elétrica.

⁴ Rede de Ensino Doctum – Unidade Cataguases – prof.jose.silva@doctum.edu.br – Orientador.

ABSTRACT

The automation of the power distribution network has proven to be an effective strategy to improve the quality of supply and reduce response time in cases of interruptions. This work aims to present a comparative analysis between the traditional method of responding to a fuse switch in the district of Cataguarino, in Cataguases, and the use of the automated device RD ROCKET-1. The adopted methodology involved the analysis of operational data provided by the concessionaire Energisa, considering indicators such as Average Response Time (ART), Average Travel Time (ATT), Equivalent Duration of Interruption per Consumer Unit (DEC) and Equivalent Frequency of Interruption per Consumer Unit (FEC). The results indicate that the implementation of RD ROCKET-1 contributed significantly to the reduction of travel and response time, in addition to improving service continuity indicators. It is concluded that the use of the automated device represents an efficient solution for the operation of the power grid, promoting greater agility, reliability and consumer satisfaction.

Keywords: Operational efficiency. Reclosers. Electrical power distribution. RD ROCKET-1.

1. INTRODUÇÃO

No campo da Engenharia Elétrica, a eficiência e a confiabilidade das redes de distribuição de energia elétrica são fundamentais para garantir o fornecimento contínuo e ininterrupto de eletricidade às residências, indústrias e comércio (BILLINTON; FIRUZABAD; BERTLING, 2001). Nesse contexto, os religadores desempenham um papel crucial na manutenção da qualidade do serviço elétrico. Estes dispositivos são responsáveis por restaurar o fornecimento de energia após a ocorrência de faltas temporárias, permitindo a operação dos sistemas elétricos de forma mais eficiente e reduzindo o impacto das interrupções no fornecimento (SILVA *et al.*, 2003).

O religador é um equipamento automático utilizado em redes elétricas para detectar e isolar faltas temporárias, como aquelas causadas por eventos meteorológicos, animais ou detritos que possam estar em contato com as linhas de transmissão (ADEEL, 2020). Ao identificar essas faltas, o religador interrompe temporariamente o circuito e, após um intervalo de tempo predefinido, tenta restaurar o fornecimento de energia.

A chave fusível e o religador automático são dispositivos essenciais no sistema de distribuição de energia elétrica, ambos destinados a proteger a rede contra sobrecorrentes. A chave fusível, ao detectar uma falha, interrompe o fornecimento de energia, sendo necessário o deslocamento de uma equipe técnica para substituir o fusível e restaurar o serviço. Por outro lado, o religador automático realiza tentativas de restabelecimento do circuito após uma falha, dispensando a intervenção imediata de equipes em casos de falhas temporárias (HOSSEINZADEH, 2008). Segundo Frazão (2019), a implementação de religadores automáticos pode reduzir significativamente o tempo de interrupção e minimizar custos operacionais ao reduzir o número de deslocamentos para reparos em campo.

Reclamações e questionamentos sobre a qualidade da distribuição de energia surgem frequentemente em relação aos serviços oferecidos pelas distribuidoras de energia elétrica no Brasil. Com o avanço da tecnologia, a sensibilidade dos equipamentos projetados para a proteção de sistemas elétricos de energia aumentou, necessitando de uma análise completa da qualidade da energia à qual esses dispositivos estão expostos. A implementação de religadores levou a uma diminuição no tempo de resposta para retificação de falhas na rede elétrica (PAULO, 2012).

Esse processo pode ser repetido várias vezes antes de um desligamento definitivo, se a falha persistir. Com o avanço tecnológico e a crescente demanda por energia elétrica, a otimização e a evolução dos religadores tornam-se essenciais para a modernização das redes de distribuição (ELEKTRO, 2014).

O trabalho foi circunscrito na seguinte questão-problema: Quais são as diferenças significativas no desempenho e na eficiência entre a Chave Fusível Religadora e o Religador Monofásico ROCKET-1, e como essas diferenças impactam a escolha do religador mais adequado para sistemas de distribuição de energia?

Este trabalho visa investigar as discrepâncias no funcionamento dos dois tipos de religadores e entender como essas diferenças influenciam a decisão sobre qual religador é mais adequado para diferentes contextos de distribuição de energia. A escolha deste tema se justifica pela crescente necessidade de sistemas elétricos mais resilientes e eficientes, capazes de enfrentar os desafios impostos pelo aumento da demanda de energia e pelas condições climáticas extremas (ROSA, 2015).

A análise comparativa entre a Chave Fusível Religadora, apresentada na Figura 1 e o Religador Monofásico ROCKET-1 é crucial para otimizar a operação de sistemas de distribuição de energia elétrica, garantindo maior confiabilidade e eficiência. Com a crescente demanda por fornecimento contínuo de energia e a necessidade de reduzir interrupções e custos operacionais, entender as diferenças no desempenho e nas características operacionais desses religadores permitirá a escolha mais adequada para diferentes aplicações (FALCÃO, 2012).

Figura 1 – Chave fusível Religadora



Fonte: Santa Fé (2024).

A motivação para esta pesquisa decorre da necessidade de atualizar e aprimorar o sistema de proteção e controle em redes elétricas. Com o avanço tecnológico e as mudanças nas exigências de carga e operação, é essencial avaliar se os religadores tradicionais, como a Chave Fusível Religadora, ainda atendem de forma eficiente as demandas modernas em comparação com novos modelos como o Religador Monofásico ROCKET-1 (GUIMARÃES, 2024). Esta comparação permite determinar qual tecnologia oferece melhores vantagens em termos de tempo de resposta, custos de manutenção e confiabilidade, orientando investimentos futuros e melhorando a gestão das redes elétricas.

Este trabalho visa contribuir para o avanço das práticas e tecnologias associadas aos religadores, promovendo o conhecimento e verificando a eficiência na distribuição de energia elétrica.

1.1. Objetivos

O objetivo geral deste trabalho é apresentar uma análise comparativa que considera o tempo de deslocamento e os impactos operacionais entre a atual abordagem de atendimento a uma chave fusível religadora em Cataguarino distrito de Cataguases e o uso do dispositivo RD ROCKET-1, avaliando a eficiência e os efeitos nos indicadores da concessionária Energisa.

Para alcançar esse objetivo, os seguintes objetivos específicos foram estabelecidos:

- 1) Avaliar o tempo total de deslocamento e atendimento da equipe de campo da concessionária Energisa para a chave fusível religadora localizada na zona rural de Cataguarino distrito de Cataguases, incluindo o tempo de deslocamento desde a sede até o local e o tempo total de atendimento.

- 2) Analisar o impacto da abordagem atual no indicador de eficiência da concessionária, observando como o tempo de deslocamento atual e o atendimento subsequente afetam o indicador de desempenho e determinar o efeito financeiro dessa abordagem para a concessionária.

- 3) Comparar a eficiência e o impacto operacional do uso do dispositivo RD ROCKET1, que pode resolver problemas de curto intermitente sem a necessidade de deslocamento físico da equipe, avaliando o impacto na redução de tempo de atendimento e custo, bem como as implicações para o indicador de desempenho da concessionária.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. SISTEMA ELÉTRICO DE POTÊNCIA

O Sistema Elétrico de Potência (SEP) é composto por um conjunto de elementos interligados que tem como principal função a geração, transmissão e distribuição de energia elétrica para os consumidores finais. De acordo com Frazão (2019), esse sistema é organizado em três grandes blocos: a geração, que converte diferentes formas de energia, como hidráulica ou térmica, em eletricidade; a transmissão, que transporta a energia gerada através de linhas de alta tensão para as subestações; e a distribuição, que entrega essa energia aos consumidores. A operação coordenada desses blocos garante a continuidade e confiabilidade no fornecimento de energia elétrica, sendo um dos principais pilares do desenvolvimento econômico e social.

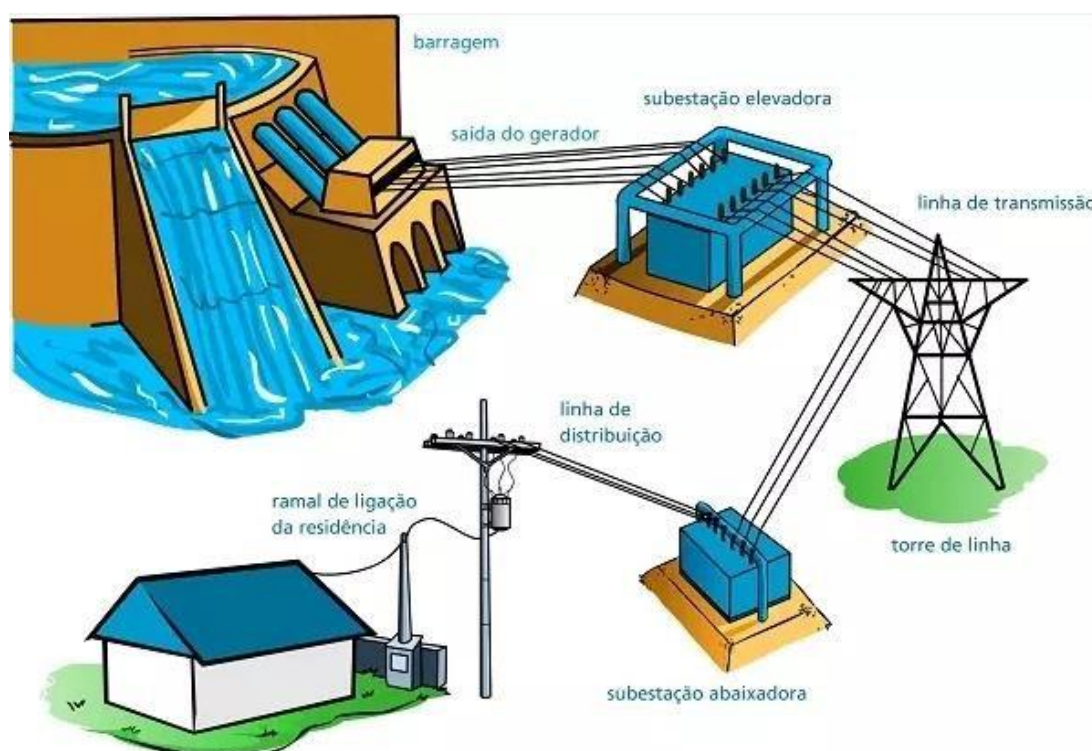
Historicamente, o desenvolvimento dos sistemas elétricos de potência inicia-se no final do século XIX, com a construção das primeiras centrais geradoras e redes de transmissão (EMBRASIL, 2024). O crescimento das redes elétricas foi impulsionado

pela demanda crescente de eletricidade, especialmente após a Segunda Revolução Industrial. O aumento da capacidade de geração e a ampliação das linhas de transmissão possibilitaram a integração de grandes áreas e permitiram a criação de redes interconectadas, promovendo maior segurança no fornecimento (BICHELS, 2018). Ainda segundo o referido autor, com o avanço tecnológico ao longo do século XX, houve a introdução de sistemas de proteção e automação, que garantem a operação eficiente e segura do SEP, mesmo em face de falhas ou sobrecargas (BICHELS, 2018).

Os principais componentes do SEP são as usinas geradoras, as subestações, as linhas de transmissão e os sistemas de proteção e automação. As usinas são responsáveis pela geração de energia, que é transmitida por linhas de alta tensão para as subestações, onde a tensão é ajustada para níveis apropriados antes de ser distribuída aos consumidores. Além disso, o autor ressalta a importância dos sistemas de proteção, que monitoram continuamente a rede em busca de falhas e atuam de forma automática para isolar os trechos defeituosos, evitando a propagação de danos e garantindo a rápida retomada do serviço (BICHELS, 2018).

Na Figura 2, é possível visualizar um exemplo de sistema elétrico de potência (SEP).

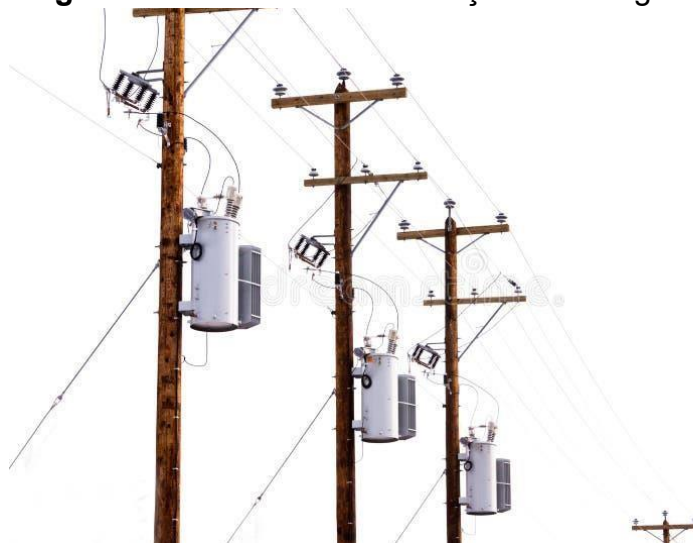
Figura 2 – Sistema elétrico de potência (SEP)



Fonte: Mundo da elétrica (2024).

Na Figura 3, é possível visualizar um exemplo de sistema de distribuição de energia elétrica. Trata-se da condução de eletricidade para os consumidores finais, utilizando transformadores que convertem a alta tensão em baixa tensão de forma específica (DREAMSTIME, 2024).

Figura 3 – Sistema de distribuição de energia elétrica.



Fonte: Dreamstime (2024).

2.2. INDICADORES DE QUALIDADE DA ENERGIA

A Duração Equivalente de Interrupção por Unidade Consumidora (DEC) é um indicador que mensura a quantidade média de tempo em que os consumidores ficam sem energia elétrica em um determinado período. Esse índice é fundamental para a avaliação da qualidade do fornecimento de energia, pois reflete diretamente a experiência do consumidor em relação à continuidade do serviço. O cálculo da DEC é realizado pela soma total do tempo de interrupções não programadas, dividido pelo número total de unidades consumidoras atendidas. Dessa forma, a DEC fornece uma visão clara sobre a confiabilidade do sistema elétrico e serve como uma ferramenta essencial para empresas de energia na identificação de áreas que necessitam de melhorias (BRASIL, 2024).

Por outro lado, a Frequência Equivalente de Interrupção por Unidade Consumidora (FEC) refere-se à média de quantas interrupções de fornecimento de energia ocorrem por unidade consumidora em um período específico. Esse indicador é igualmente importante para a avaliação da qualidade do serviço, pois não apenas

quantifica o tempo de interrupção, mas também a regularidade com que essas falhas ocorrem. O FEC é calculado dividindo o número total de interrupções pelo número de unidades consumidoras atendidas durante o mesmo período, proporcionando uma compreensão mais abrangente das experiências dos consumidores em relação à confiabilidade do sistema elétrico (ENERGÊS, 2020).

A análise conjunta dos índices DEC e FEC permite que as empresas de energia elétrica adotem estratégias mais eficazes de gestão e operação de suas redes. Com a identificação de padrões de interrupção e duração, é possível implementar melhorias específicas nas infraestruturas, como a modernização de equipamentos e a adoção de tecnologias de monitoramento em tempo real. Essas ações não apenas ajudam a reduzir o tempo e a frequência das interrupções, mas também aumentam a satisfação do consumidor e a competitividade das empresas no mercado (CEMIG, 2022).

Além disso, tanto o DEC quanto o FEC são utilizados como indicadores regulatórios em diversos países, ajudando a estabelecer padrões de qualidade que as empresas de energia devem cumprir (BRASIL, 2024). O monitoramento contínuo desses índices possibilita uma gestão proativa, antecipando problemas antes que se tornem significativos. Dessa forma, as distribuidoras de energia conseguem garantir um fornecimento mais confiável e estável, promovendo melhorias constantes na qualidade do serviço prestado aos seus consumidores (MAESTRI; ANDRADE, 2019).

De acordo com a ANEEL, em seu PRODIST (Módulo 8), a fórmula para se chegar ao resultado de DEC está representada pela seguinte fórmula:

$$DEC = \frac{\sum_{Cci=1} DIC(i)}{C_c} \quad (\text{Equação 1})$$

Ainda, segundo a ANEEL (2020), a fórmula utilizada para se alcançar o resultado de FEC é a que está representada pela seguinte fórmula:

$$FEC = \frac{\sum_{Cci=1} FIC(i)}{C_c} \quad (\text{Equação 2})$$

Onde DEC = duração equivalente de interrupção por unidade consumidora, expressa em horas e centésimos de hora; i = índice de unidades consumidoras atendidas em BT ou MT faturadas do conjunto; FEC = frequência equivalente de interrupção por unidade consumidora, expressa em número de interrupções e centésimos do número de interrupções; C_c = número total de unidades consumidoras faturadas do conjunto no período de apuração, atendidas em BT ou MT; DIC(i) = Duração de Interrupção Individual por Unidade Consumidora, excluindo-se as centrais geradoras; FIC(i) = Frequência de Interrupção Individual por Unidade Consumidora, excluindo-se as centrais geradoras

2.3. PROTEÇÃO DO SISTEMA ELÉTRICO DE POTÊNCIA

A proteção do Sistema Elétrico de Potência (SEP) é um aspecto crítico para garantir a segurança e a confiabilidade na operação das redes elétricas. Segundo Bichels (2018), a proteção deve ser projetada para detectar e isolar falhas de maneira rápida e eficaz, minimizando o impacto sobre a rede e os consumidores. Isso envolve a utilização de dispositivos de proteção, como relés e disjuntores, que monitoram continuamente as condições operacionais do sistema. A coordenação entre esses dispositivos é fundamental para evitar desarmes desnecessários e garantir que apenas a parte afetada da rede seja isolada em caso de falha (BICHELS, 2018).

De acordo com Lorencini (2017), os relés podem ser classificados de acordo com seu tipo, sendo eles: temporizadores, térmicos e de proteção. Os relés temporizadores são usados para operações de chaveamento com controle de tempo, sendo amplamente empregados em processos industriais, como painéis de controle e acionamento de motores. Já os relés térmicos são utilizados em ambientes onde há detecção de aumento de temperatura, atuando como proteção contra sobrecarga elétrica, especialmente em motores elétricos, prevenindo o superaquecimento. Por fim, os relés de proteção operam através de correntes elétricas que podem gerar campos eletromagnéticos, alterando o estado de componentes para ligar ou desligar dispositivos. Além disso, eles medem variáveis como tensão, corrente, isolamento, temperatura e sequência de fases (LORENCINI, 2017).

No caso do SEP, faz-se o uso dos relés de proteção, ilustrados na Figura 4, que são dispositivos elétricos usados para monitorar e resguardar circuitos contra falhas e anomalias (ONS, 2020). Sua função é desligar um ou mais circuitos de saída ao

identificar condições adversas, assegurando a integridade do sistema elétrico. Esses relés realizam a medição de grandezas elétricas, como tensão, corrente e fator de potência, comparando-as com valores de referência previamente configurados. Quando algum desses valores excede os limites estabelecidos, o relé de proteção entra em ação, desativando dispositivos como disjuntores e interrompendo o circuito (TRIFÁSICA, 2023).

Figura 4 – Exemplos de Relés de Proteção



Fonte: Trifásica (2023).

Frazão (2019) complementa essa visão ao destacar a importância da automação na proteção do SEP. Sistemas automatizados são capazes de monitorar em tempo real as condições do sistema, permitindo uma resposta rápida a eventos de falha. A automação não só melhora a eficiência operacional, mas também aumenta a segurança, pois pode prevenir a propagação de falhas e reduzir o tempo de interrupção do fornecimento de energia. A implementação de redes inteligentes (*Smart Grids*) facilita essa automação, integrando tecnologias avançadas que ajudam na detecção e na localização de falhas (MASTER, 2024).

Além disso, o SEP também envolve a proteção dos equipamentos e da rede contra falhas que possam comprometer sua integridade ou causar interrupções no fornecimento de energia. A automação dos sistemas de proteção tem sido um avanço fundamental para assegurar a rápida identificação e isolamento de defeitos, reduzindo o tempo de resposta e minimizando os impactos de eventuais falhas. Com o aumento da complexidade e da extensão das redes elétricas modernas, a proteção eficiente do

sistema tornou-se um elemento crucial para manter a estabilidade e a segurança no fornecimento de energia (BRASIL, 2014).

Além da automação, Bichels (2018) discute a necessidade de ajustar os sistemas de proteção a diferentes condições operacionais e climáticas. Em locais onde as condições ambientais variam, como em regiões sujeitas a tempestades ou altas temperaturas, os dispositivos de proteção podem precisar de ajustes específicos para melhorar sua eficácia. Essa personalização é crucial para garantir que os sistemas de proteção operem adequadamente em uma ampla gama de cenários, minimizando os riscos de falhas no sistema elétrico (BICHELS, 2018).

Por fim, Frazão (2019) enfatiza a necessidade de uma abordagem integrada na proteção do SEP, que considere não apenas a tecnologia, mas também os aspectos humanos e organizacionais. A capacitação das equipes de operação e manutenção é fundamental para que possam atuar de forma eficiente em situações de emergência. A formação contínua e o treinamento adequado garantem que os profissionais estejam preparados para lidar com as complexidades do sistema elétrico e suas proteções, assegurando um fornecimento de energia mais seguro e confiável para a sociedade (EXSERGIA, 2024).

2.4. RELIGADORES

Religadores, ou dispositivos de proteção automática, são componentes críticos em sistemas de distribuição de energia elétrica. Sua principal função é interromper e restabelecer o fornecimento de energia elétrica automaticamente após a detecção de falhas, como curtos-circuitos ou sobrecargas (EATON, 2024). Um religador bem projetado e calibrado pode reduzir significativamente o número de interrupções prolongadas e aumentar a confiabilidade da rede elétrica, o que é especialmente importante em áreas com alta demanda ou em locais onde a continuidade do fornecimento é crítica (KONDO, 2015).

Os religadores operam no princípio simples de detectar anomalias na corrente elétrica e agir para restaurar a normalidade, como curto-circuitos, sobrecargas, faltas à terra, bem como faltas fase-fase. Quando uma falha é detectada, o religador

desarma o circuito, isolando a área afetada. Após um curto intervalo, ele tenta religar o circuito. Se a falha persistir, o religador pode repetir esse processo várias vezes ou permanecer desarmado, dependendo do tipo e da gravidade da falha. Essa automação reduz a necessidade de intervenção manual, aumentando a eficiência operacional (ROMAGNOLE, 2024).

Nas Figuras 5 e 6, é possível visualizar um exemplo de um religador trifásico modelo Noja Power e Artech. Suas principais diferenças são apenas em aspectos construtivos sendo que Os religadores trifásicos da Noja Power, como o OSM, são reconhecidos por seu isolamento sólido, livre de SF₆ e óleo, garantindo alta confiabilidade e baixa manutenção. Equipados com controladores RC-10 ou RC-15, oferecem funcionalidades avançadas de proteção e comunicação, incluindo sensores de corrente e tensão (ADEEL, 2025). Em contrapartida, os religadores smART RC da Artech usam tecnologia de interrupção a vácuo e são voltados para redes de média tensão, com foco na facilidade de operação e manutenção. Embora ambos cumpram normas internacionais, a Noja Power se diferencia pela integração de recursos sofisticados, enquanto a Artech oferece eficiência com simplicidade (ARTECHE, 2025).

Figura 5 – Religador Noja Power



Fonte: Noja Power (2024).

Figura 6 – Religador Artech



Fonte: Artech (2024).

Existem vários tipos de religadores, incluindo os mecânicos, automáticos e digitais (SIEMENS, 2020). Os religadores mecânicos utilizam mecanismos físicos para realizar a interrupção e o religamento do circuito, enquanto os automáticos utilizam sensores e circuitos eletrônicos para monitorar e controlar o sistema. Já os religadores digitais, mais avançados, oferecem funcionalidades adicionais como comunicação remota e diagnósticos mais detalhados, permitindo uma gestão mais precisa e uma resposta mais rápida às falhas (SIEMENS, 2020).

A confiabilidade é um fator chave na análise dos religadores. A falha de um religador pode resultar em interrupções prolongadas e potenciais danos aos equipamentos conectados. No estudo de Romagnole (2024), mostrou-se que a confiabilidade dos religadores está diretamente relacionada à sua capacidade de detectar falhas corretamente e à eficácia de seus mecanismos de religamento. A manutenção preventiva e a calibração regular são práticas essenciais para garantir que os religadores operem com alta confiabilidade (ROMAGNOLE, 2024).

A otimização da eficiência e confiabilidade dos religadores enfrenta vários desafios. Um dos principais desafios é a calibração adequada dos dispositivos para diferentes condições de operação e tipos de falhas (HAUGHTON; HEYDT, 2010). Além disso, a integração de religadores em redes elétricas modernas, que podem incluir fontes de energia renovável e sistemas de armazenamento, requer ajustes sofisticados para garantir que o religador funcione corretamente em um ambiente

dinâmico (SANTOS; BARTMEYER; LIRA, 2018). Esses ajustes incluem a coordenação de proteção para evitar desarmes indevidos, a integração de fontes de energia renovável, como solar e eólica, que apresentam variações na geração devido a fatores climáticos, e a operação bidirecional em redes com geração distribuída (SUNNE, 2024).

Com o avanço das tecnologias, novos tipos de religadores estão surgindo, oferecendo funcionalidades aprimoradas. Religadores com capacidades de comunicação avançada, como os que utilizam tecnologias relacionadas à Internet das Coisas (IoT, do inglês *Internet of Things*), permitem uma análise mais detalhada das condições da rede e a implementação de estratégias de controle mais eficazes. Essas tecnologias emergentes podem melhorar significativamente a capacidade de resposta dos religadores e a eficiência geral da rede elétrica (SIEMENS, 2020).

Em situações que requerem a intervenção de uma equipe de manutenção, os religadores reduzem a área afetada pela falha e auxiliam na identificação rápida do problema, acelerando a restauração do serviço. Assim, os consumidores de energia são poupados dos custos e transtornos associados a interrupções frequentes no fornecimento de eletricidade (EATON, 2024).

2.4.1 Classificação

No contexto dos sistemas de distribuição de energia elétrica, os religadores são dispositivos essenciais para a proteção e automação das redes. Eles se dividem em diferentes tipos, dependendo de sua função, características operacionais e o tipo de rede em que estão instalados. Os principais tipos de religadores são os Religadores Monofásicos; Trifásicos; Triplos; e Religador Automático.

Os Religadores Monofásicos são utilizados em sistemas de distribuição de baixa e média tensão, eles protegem circuitos monofásicos, típicos em áreas rurais ou locais com menor demanda de energia. São ideais para situações em que falhas afetam apenas uma das fases do sistema, como se observa na Figura 7 (EATON, 2024).

Figura 7 – Religadores Monofásicos



Fonte: HartBR (2024)

Na Figura 8, é possível observar os Religadores Trifásicos, que operam em redes trifásicas e são amplamente utilizados em sistemas de distribuição urbana e industrial. Eles atuam simultaneamente em todas as três fases, o que é importante para manter a continuidade do fornecimento de energia em grandes sistemas, onde interrupções podem causar maiores prejuízos (EATON, 2024).

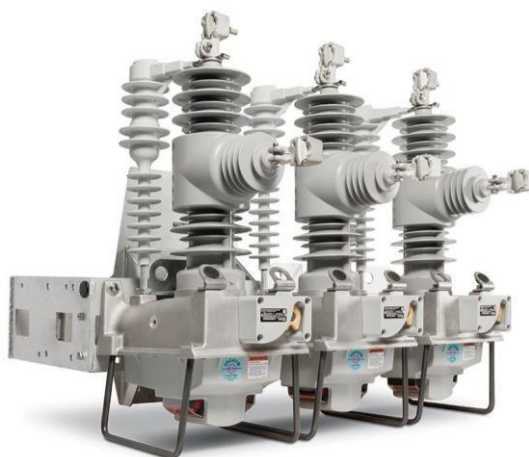
Figura 8 – Religadores Trifásicos



Fonte: Eaton (2024).

Religadores triplos são dispositivos eletronicamente controlados, com três modos de operação: (1) Desarme e desenergização trifásica, em que todas as três fases desarmam e religam simultaneamente em caso de sobrecorrente; (2) Desarme monofásico e desenergização trifásica, em que cada fase desarma independentemente, mas se uma fase precisar desenergizar devido a uma falha, as outras também desarmam para evitar energização monofásica prolongada de cargas trifásicas; (3) Desarme e desenergização monofásica, em que cada fase desarma e desenergiza de forma independente, útil para cargas residenciais ou quando outras proteções são aplicadas às fases trifásicas, como se apresenta na Figura 9. Esses religadores podem ser montados tanto em postes quanto em subestações (EATON, 2024).

Figura 9 – Religadores Triplos



Fonte: Eaton (2024).

2.5. RELIGADORES AUTOMÁTICOS

Os religadores automáticos são dispositivos de proteção e automação utilizados em sistemas de distribuição de energia elétrica. Sua principal função é detectar e interromper rapidamente correntes de falha, como curto-circuitos, restaurando o fornecimento de energia automaticamente após uma tentativa bem-sucedida de religamento (RUSH, 2011). Esses dispositivos atuam principalmente em redes aéreas de média tensão, sendo responsáveis por manter a continuidade do fornecimento de energia ao isolar apenas os trechos afetados por uma falha temporária, como ocorre em situações de descarga atmosférica ou contato de galhos com os cabos de eletricidade (RUSH, 2011).

O uso de religadores automáticos é essencial para garantir a qualidade do fornecimento de energia elétrica, minimizando as interrupções para os consumidores.

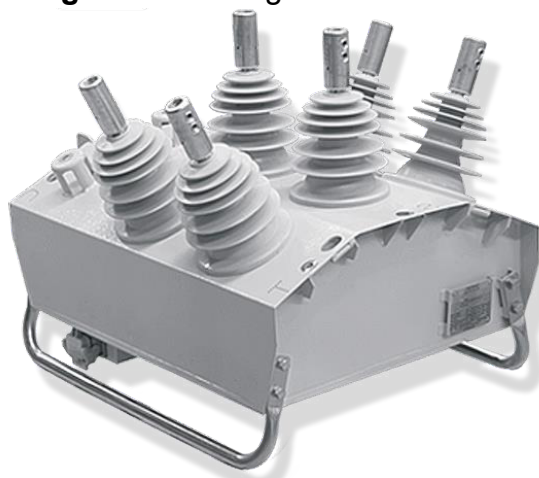
Quando ocorre uma falha temporária, como as causadas por descargas atmosféricas, o religador realiza uma sequência de tentativas de religamento, aumentando a chance de restabelecer o fornecimento sem a necessidade de intervenção manual. Dessa forma, evita-se que falhas momentâneas provoquem desligamentos prolongados, o que contribui para a confiabilidade das redes elétricas (CEMIG, 2020).

A importância dos religadores automáticos está diretamente relacionada à melhoria dos indicadores de continuidade no fornecimento de energia, como a DEC e a FEC. Esses dispositivos permitem uma resposta rápida e eficiente em caso de falhas temporárias, reduzindo tanto o tempo de interrupção quanto o número de interrupções percebidas pelos consumidores. Além disso, os religadores contribuem para a redução dos custos operacionais das concessionárias de energia, ao diminuir a necessidade de deslocamento de equipes para realizar religamentos manuais (ANEEL, 2019).

Com o avanço das tecnologias de automação e comunicação, os religadores automáticos modernos são integrados a sistemas de gerenciamento de redes inteligentes, possibilitando maior controle e monitoramento em tempo real das redes de distribuição de energia. Dessa forma, eles não apenas atuam de forma reativa, respondendo a falhas, mas também permitem ações preventivas, como a detecção antecipada de sobrecargas e outras anomalias. Esse nível de automação melhora significativamente a eficiência e a resiliência das redes elétricas, proporcionando maior estabilidade no fornecimento de energia (RUSH, 2011).

Um Religador Automático é apresentado na Figura 10.

Figura 10 – Religador Automático



Fonte: ADEEL (2024).

2.6. RD ROCKET-1

O dispositivo RD ROCKET-1 é uma ferramenta utilizada para a detecção e proteção de redes elétricas, com a finalidade de garantir maior eficiência e segurança no fornecimento de energia (IMS, 2023). Este dispositivo é capaz de realizar operações automáticas de religamento e seccionamento em redes de distribuição de média tensão, sendo amplamente empregado para proteger contra falhas momentâneas e permanentes. O RD ROCKET-1 atua como um elemento essencial na proteção de redes inteligentes e na melhoria da resiliência das redes elétricas (HARTBR, 2021).

O uso do RD ROCKET-1 é aplicado principalmente em sistemas de distribuição de energia elétrica, em que há a necessidade de minimizar as interrupções de fornecimento. Este dispositivo possui sensores que monitoram continuamente a corrente elétrica, permitindo a detecção rápida de sobrecargas e falhas. Uma de suas características mais marcantes é a capacidade de operar de forma autônoma, realizando até três tentativas de religamento após uma falha temporária, e seccionando o circuito apenas em caso de falhas permanentes. Assim, o RD ROCKET-1 contribui para aumentar a confiabilidade da rede elétrica e evitar longos períodos de interrupção (MARTINS, 2021).

A importância do RD ROCKET-1 reside no fato de que ele oferece um nível avançado de automação e proteção para redes de distribuição. Ele é capaz de reduzir significativamente o índice de interrupções, como o DEC e o FEC, que são indicadores de desempenho das distribuidoras de energia. Isso é particularmente relevante para redes elétricas que atendem a grandes áreas geográficas, onde o tempo de resposta para falhas pode ser crítico. Além disso, o dispositivo promove uma maior segurança ao reduzir a exposição dos operadores de campo a ambientes potencialmente perigosos, uma vez que minimiza a necessidade de intervenções manuais (ONS, 2022).

Na Figura 11, tem-se um exemplo de RD ROCKET-1.

Figura 11 – RD ROCKET-1



Fonte: HartBR (2024).

Outro ponto que merece destaque é a rede LoRa (*Long Range*), que integra o dispositivo RD ROCKET-1, sendo uma tecnologia de comunicação sem fio projetada para atender a aplicações de longo alcance com baixo consumo de energia. Ela opera em bandas de frequência não licenciadas e permite a comunicação de dispositivos distribuídos por grandes áreas, como os presentes em redes de distribuição de energia (CHINATO *et al.*, 2020). No contexto do RD ROCKET-1, a LoRa é utilizada para monitorar e controlar dispositivos remotamente, fornecendo dados em tempo real sobre o desempenho da rede e a ocorrência de falhas (ALTUS, 2024). Essa conectividade melhora a automação e a eficiência operacional, facilitando a comunicação entre o dispositivo e o centro de controle, mesmo em regiões geograficamente distantes. A tecnologia LoRa é particularmente vantajosa em sistemas de distribuição elétrica por sua capacidade de penetrar em ambientes urbanos densos e rurais, garantindo confiabilidade na transmissão dos dados (PEREIRA; OLIVEIRA, 2021).

Diferentemente de tecnologias convencionais como Wi-Fi ou 5G, o LoRa utiliza frequências específicas para permitir a transmissão eficiente de dados mesmo em cenários com interferências ou barreiras físicas. Essa tecnologia serve como a base física da comunicação, sendo complementada pelo protocolo LoRaWAN, que organiza e regula a troca de informações entre dispositivos na rede. Assim, o LoRa é fundamental para aplicações que demandam conectividade robusta e econômica,

como monitoramento ambiental, agricultura de precisão e cidades inteligentes. (KHOMP, 2021).

3 METODOLOGIA

3.1 TIPO DE ESTUDO

Este estudo caracteriza-se como uma pesquisa aplicada, descritiva e comparativa, que avaliou a eficiência operacional e os impactos nos indicadores de qualidade de serviço da concessionária Energisa com a implementação do dispositivo RD ROCKET-1 em comparação ao método convencional de atendimento a uma chave fusível religadora em Cataguarino, distrito de Cataguases.

3.2 COLETA DE DADOS

A coleta de dados foi realizada por meio de registros operacionais da concessionária Energisa, considerando ocorrências reais de interrupções no fornecimento de energia elétrica em Cataguarino, com o setor de qualidade da instituição.

Os dados foram extraídos dos relatórios de operação da concessionária, considerando o período de apuração pré-determinado. Os dados foram retirados diretamente da chave fusível religadora do município em questão. Os indicadores analisados seguiram as definições e fórmulas estabelecidas pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) no Módulo 8 do Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional (PRODIST⁵).

Os pontos selecionados abrangem clientes em condições de sensibilidade elevada ao fornecimento contínuo de energia elétrica. Entre eles, destacam-se unidades com presença de pacientes enfermos, propriedades com tanques resfriadores de leite e produção de laticínios — onde a interrupção no fornecimento pode comprometer seriamente a cadeia de refrigeração e a qualidade do produto —, além de grandes produtores rurais e estabelecimentos comerciais como lojas de doces, que demandam estabilidade no fornecimento para manter a conservação de produtos perecíveis.

⁵ Estes dados podem ser acessados por meio do link:
https://www2.aneel.gov.br/cedoc/aren2020888_prodist_modulo_8_v11.pdf.

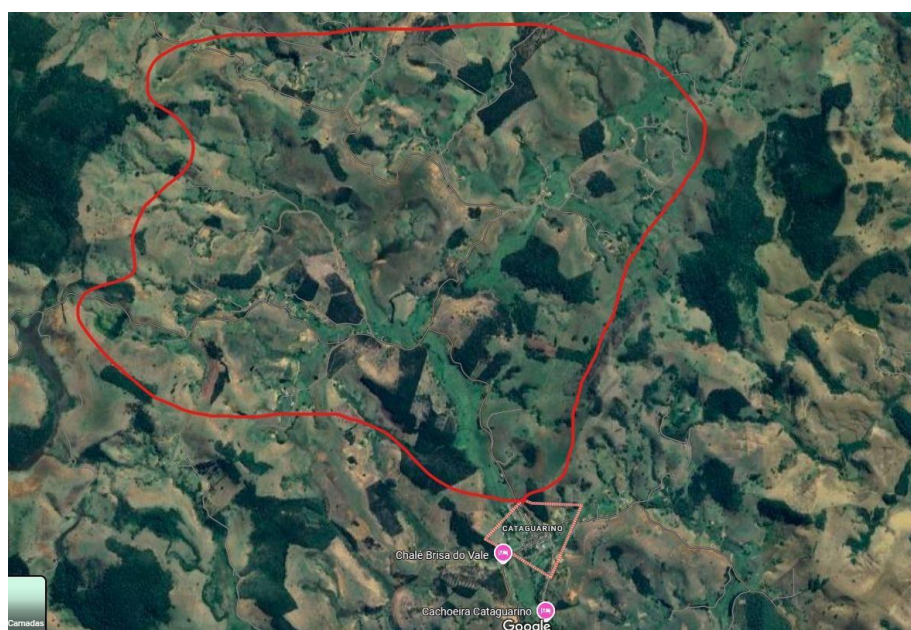
Além disso, outro fator de suma importância para a escolha foi a dificuldade de deslocamento até esses pontos, sobretudo durante o período de chuvas. Como se trata de regiões com acesso por estradas de terra batida, o tempo de resposta para

manutenção e restabelecimento do serviço tende a ser maior. Nesse contexto, a atuação automatizada e remota do religador ROCKET-1 se mostra ainda mais relevante, ao minimizar a necessidade de deslocamentos frequentes e agilizar o processo de recomposição do sistema elétrico.

3.3 LOCAL DO ESTUDO

Catagarino é um distrito situado no município de Cataguases, no estado de Minas Gerais, Brasil, localizado a aproximadamente 16 quilômetros a noroeste da sede do município. Originalmente, recebeu o nome de Espírito Santo do Empoçado em 6 de novembro de 1869, por meio da Lei Provincial n° 1263, e era subordinado ao município de Leopoldina. No dia 25 de novembro de 1875, foi incorporado ao município de Cataguases pela lei n° 2180, que estabeleceu a criação deste último. O nome foi alterado para Catagarino em 31 de outubro de 1894, conforme a lei municipal n° 32 (IBGE, 2025). Dentro desse local, o ponto que foi analisado é a região da Antiga Fazenda Engenho Velho, conhecida atualmente como Região do Pião e Carangola, ambas localizadas na Cidade de Catagarino, como mostra a Figura 12.

Figura 12 – Local do Estudo



Fonte: Google Maps (2025).

3.4 PROCEDIMENTOS DE ANÁLISE

Foram analisados os tempos de deslocamento das equipes, o tempo de resposta às ocorrências e os impactos nos indicadores de qualidade de serviço, tanto no cenário atual quanto no cenário com a implementação do RD ROCKET-1. A análise comparativa foi realizada confrontando os dados históricos de atendimento tradicional com os dados simulados e projetados para a implementação do RD ROCKET-1. Foram utilizadas métricas estatísticas para avaliar a redução de tempos de interrupção e deslocamento, bem como a mitigação de custos operacionais e compensações financeiras.

Os resultados são apresentados em forma de tabelas e gráficos para melhor visualização da variação dos indicadores ao longo do período analisado. A eficiência operacional é mensurada por meio da redução dos valores de DEC, DIC, DMIC e TMA, além da melhoria do IPEO e da redução do valor total de compensação pago pela concessionária.

3.5 CONSIDERAÇÕES ÉTICAS

O estudo foi conduzido em conformidade com as normas regulatórias da ANEEL, respeitando a confidencialidade dos dados operacionais da concessionária Energisa. Não foram divulgadas informações sensíveis sobre consumidores individuais, garantindo a integridade e ética da pesquisa.

É importante destacar que os números representados pelas ocorrências são fictícios, ou seja, foram criados para preservar a identidade dos casos. No entanto, os dados analisados (DEC, FEC, TMA e TMP) são reais e correspondem aos eventos verídicos registrados, correspondendo a eventos verídicos registrados.

Com esta metodologia, espera-se fornecer uma base sólida para a tomada de decisão quanto à adoção do RD ROCKET-1, evidenciando seus impactos na melhoria da eficiência operacional e na qualidade do serviço prestado aos consumidores.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nesta etapa, são apresentados os resultados referentes à coleta de dados realizada. Assim, os indicadores de qualidade de serviço estão distribuídos por subseção.

4.1 DEC / FEC / TMA

As Tabelas 1 e 2 apresentam um resumo das ocorrências analisadas em 2022 e 2023, considerando os principais indicadores de qualidade do serviço: DEC, FEC e TMA. É importante elucidar que nas tabelas, há a sigla TMP, que significa “Tempo médio de preparo”.

No ano de 2022, foram analisadas 5 ocorrências, que afetaram 564 clientes, que estão dispostas na Tabela 1.

Tabela 1 – Ocorrências no ano de 2022

Ocorrência	DEC	FEC	TMA	TMP	Qtd. Clientes
89016	0,0029	0,0009	03:03	01:30	564
127569	0,0162	0,0009	17:10	11:35	564
132822	0,0040	0,0009	04:13	03:37	564
150100	0,0107	0,0009	11:22	09:11	564
154582	0,0089	0,0009	09:30	06:26	564
Total	0,0427	0,0045	45:18	32:12	564

Fonte: Energisa (2025).

No ano de 2023, também foram analisadas 5 ocorrências, que também afetaram 570 clientes, como mostra a Tabela 2.

Tabela 2 – Ocorrências no ano de 2023.

Ocorrência	DEC	FEC	TMA	TMP	Qtd. Clientes
17130	0,0048	0,0010	05:01	02:37	570
22806	0,0172	0,0010	18:04	11:25	570
120505	0,0239	0,0010	25:11	22:33	570
132044	0,0058	0,0010	06:07	00:48	570
135753	0,0029	0,0010	03:06	02:36	570
Total	0,0546	0,0050	57:29	40:00	570

Fonte: Energisa (2025).

Os dados indicam que o TMA variou entre as ocorrências, atingindo um pico de

25 horas e 11 minutos em 2023. Além disso, observa-se que, em vários casos, houve um tempo sem alocação da equipe, o que impacta diretamente a eficiência operacional da concessionária.

A Tabela 3 elucida motivos que levaram a essas ocorrências.

Tabela 3 – Ocorrências nos anos de 2022 e 2023.

Ocorrência	Observação
2022	
89016	Acesso legal. Pássaro bateu na rede. <i>(Informações passadas por cliente).</i>
127569	Local sem acesso, barro nas estradas.
132822	Acesso legal. Galho caiu e fechou na rede. <i>(Informações passadas por cliente).</i>
150100	Chuvas fortes e desarmes na região, impossibilitou o envio da equipe ao local.
154582	Acesso legal. Causa não identificada.
2023	
17130	Acesso legal. Causa não identificada.
22806	Local sem acesso, barro nas estradas.
120505	Chuvas fortes e desarmes na região, impossibilitou envio da equipe ao local.
132044	Local ficou sem acesso para inspeção.
135753	Acesso legal. Causa não identificada.

Fonte: Energisa (2025).

As principais ocorrências registradas foram: interrupções no acesso das equipes ao local, chuvas fortes, queda de galhos na rede elétrica, e eventos sem causa claramente identificada. A dificuldade de acesso ocorreu, em muitos casos, devido às condições climáticas e ao estado precário das estradas. As chuvas intensas e a queda de galhos sobre a rede foram situações frequentes, configurando fatores naturais. Já os eventos sem justificativa evidente podem estar relacionados a galhos sobre a fiação, presença de animais causando curto-circuito, rompimento de cabos, descargas atmosféricas, ventos fortes, entre outros elementos naturais.

A análise das ocorrências registradas no sistema RD ROCKET-1 evidencia diversos desafios enfrentados no atendimento e reparo das redes elétricas. Dentre os principais fatores observados, destacam-se as restrições de acesso ao local da falha, as condições climáticas adversas.

As ocorrências 89016, 132822, 154582, 17130 e 135753, foram classificadas como “acesso legal”, ou seja, não houve impedimentos para que a equipe chegasse ao local. No entanto, em determinados casos, como nos eventos 89016 e 132822, a causa da falha foi identificada com base em relatos de clientes, indicando que um pássaro colidiu com a rede e um galho caiu sobre os cabos, respectivamente. Já nos eventos 154582, 17130 e 135753, a causa da interrupção não pôde ser determinada, evidenciando a necessidade de inspeções mais detalhadas.

Por outro lado, em algumas situações, o acesso ao local foi impossibilitado devido às condições das estradas, especialmente em períodos chuvosos. Os eventos 127569, 22806 e 132044 relatam dificuldades de locomoção decorrentes do acúmulo de barro, o que inviabilizou a chegada das equipes para inspeção e reparo.

Além das dificuldades de acesso, as condições meteorológicas severas também impactaram o atendimento. As ocorrências 150100 e 120505 indicam que chuvas intensas e sucessivos desarmes na região comprometeram a segurança das equipes e impediram o deslocamento para as áreas afetadas.

Dessa forma, os registros analisados indicam a influência de fatores ambientais e logísticos na eficiência da manutenção da rede elétrica. Estratégias de mitigação, como melhorias na infraestrutura viária, uso de tecnologias remotas para diagnóstico de falhas e intensificação das ações preventivas, podem contribuir para a redução do impacto dessas adversidades na continuidade do fornecimento de energia.

Com base nos dados apresentados, a implementação do RD ROCKET-1 poderia trazer alguns benefícios, como dedução do tempo de atendimento, eliminando a necessidade de deslocamento em algumas ocorrências; melhoria nos indicadores DEC e TMA, reduzindo o impacto para os consumidores; diminuição dos custos operacionais, evitando a mobilização desnecessária das equipes.

A análise dos dados evidencia que a falta de acesso rápido às áreas de ocorrência impacta diretamente a eficiência operacional da concessionária. Dessa forma, alternativas tecnológicas como o RD ROCKET-1 representam soluções viáveis para otimizar o atendimento e melhorar a qualidade do serviço prestado aos consumidores.

Assim, no dia 2 de julho de 2024, o equipamento RD ROCKET-1 foi instalado. Portanto, os dados nas tabelas ilustram os resultados das ocorrências registradas até o momento de análise deste trabalho, a saber, junho de 2025.

A Tabela 4 apresenta os dados referentes ao ano de 2024 com valor de DEC, FEC, TMA, TMP, bem como a quantidade de clientes afetados em 573 unidades.

Tabela 4 – Ocorrências no ano de 2024.

Ocorrência	DEC	FEC	TMA	TMP	Qt. Clientes
18811	0	0,0010	00:02	00:00	573
19069	0	0,0010	00:02	00:00	573
21630	0,0014	0,0010	01:30	00:10	573
Total	0,0014	0,0030	01:34	00:10	573

Fonte: Energisa (2025).

Já a Tabela 5 apresenta os dados referentes ao ano de 2025 com valor de DEC, FEC, TMA, TMP, assim como a quantidade de clientes afetados em 581 unidades.

Tabela 5 – Ocorrências no ano de 2025.

Ocorrência	DEC	FEC	TMA	TMP	Qt. Clientes
1002	0	0,0010	00:02	00:00	581
1969	0	0,0010	00:01	00:00	581
3650	0,0024	0,0010	02:30	00:55	581
45389	0	0,0010	00:01	00:00	581
57999	0	0,0010	00:01	00:00	581
Total	0,0024	0,0050	02:35	00:55	581

Fonte: Energisa (2025).

Verificou-se que após a instalação do religador RD-ROCKET 1 em julho de 2024, foram registradas algumas ocorrências nos períodos analisados (de julho de 2024 a junho de 2025), conforme as Tabelas 4 e 5. Em 2024, apenas três eventos foram anotados, com indicadores de DEC muito baixos, variando de 0 a 0,0014, e valores de FEC estabilizados em 0 ou 0,0010. O TMA variou entre 2 minutos e 1 hora e 30 minutos, enquanto o TMP se manteve bastante reduzido, entre 0 e 10 minutos. O número de clientes afetados permaneceu constante em 573.

No ano de 2025, até abril, foram registradas cinco ocorrências, novamente com valores de DEC e FEC próximos a zero, indicando alta confiabilidade operacional. O TMA manteve-se predominantemente baixo (1 a 2 minutos), excetuando-se um evento

em fevereiro com TMA de 2h30min. O TMP permaneceu semelhante ao padrão de 2024, e o número de clientes afetados foi de 581.

Os dados apresentados indicam que, após a instalação do religador RDROCKET 1, houve uma significativa estabilidade na rede elétrica monitorada. A baixa quantidade de ocorrências, associada aos valores quase nulos de DEC e FEC, sugere que o equipamento contribuiu de forma eficaz para a redução tanto da frequência quanto da duração das interrupções de energia.

Observa-se que, embora tenham ocorrido alguns eventos com TMA elevado, eles não impactaram substancialmente o desempenho geral, dado que o TMP e o número de clientes afetados permaneceram baixos. Ainda, quando comparados aos resultados de TMA antes da instalação do equipamento, notou-se uma redução de tempo.

A consistência dos indicadores ao longo dos meses reforça a eficiência do RDROCKET 1 em melhorar a confiabilidade do sistema de distribuição, alinhando-se aos objetivos de otimização propostos para o estudo. Vale destacar que interrupções pontuais com maiores tempos de atendimento podem estar relacionadas a fatores externos (climáticos ou operacionais), não necessariamente à falha do equipamento em si. Portanto, a análise confirma a contribuição positiva do religador para a continuidade do fornecimento elétrico na área estudada.

Outro ponto analisado foi a respeito dos motivos que levaram às ocorrências. Assim, a Tabela 6 apresenta essas causas.

Tabela 6 – Ocorrências nos anos de 2024 e 2025.

Ocorrência	Observação
2024	
18811	Atuação do equipamento por Causa não identificada.
19069	Muita chuva na localidade.
21630	Muitas descargas atmosféricas na região.
2025	
1002	Muita chuva na localidade.
1969	Muita chuva na localidade.
3650	Muita chuva na localidade e ventos fortes. Caíram galhos na região, rompendo alguns cabos, sendo assim, foi removido.
45389	Muita chuva na localidade.
57999	Muita chuva na localidade.

Fonte: Energisa (2025).

Em 2024, as ocorrências indicam três causas principais de atuação do religador RD ROCKET-1. No caso 18811, observou-se uma atuação sem causa identificada, o que evidencia a necessidade de aprimoramento nos sistemas de monitoramento e diagnóstico da rede. Entre as possíveis causas não detectadas, podem estar a interferência de galhos na rede, presença de animais que provocam curto-circuito, rompimento de cabos por desgaste ou impacto, além de descargas atmosféricas ou ventos fortes que não foram registrados pelos sensores. Os eventos 19069 e 21630 apontam, respectivamente, chuvas intensas e descargas atmosféricas, ambas relacionadas a fenômenos climáticos adversos que impactam diretamente a confiabilidade da rede elétrica. A incidência de raios pode provocar surtos de tensão, levando o religador a atuar para proteção do sistema. Esse cenário reforça a importância de dispositivos de proteção bem ajustados e com capacidade de responder a variações climáticas sazonais.

Já em 2025, observa-se uma predominância ainda maior de ocorrências causadas por chuvas intensas, aparecendo em todos os registros do ano, com

destaque para o evento 3650, que envolveu também ventos fortes e queda de galhos sobre a rede, ocasionando rompimento de cabos. Isso mostra um agravamento das condições ambientais adversas, exigindo estratégias preventivas mais robustas, como poda preventiva de árvores próximas à rede elétrica e uso de cabos mais resistentes. A repetição do mesmo motivo em vários casos também pode indicar que o religador está cumprindo sua função de proteção corretamente, mas que a infraestrutura da rede ainda está vulnerável a eventos meteorológicos, o que pode comprometer a continuidade do fornecimento de energia.

4.2 DISCUSSÃO DOS DADOS

A análise dos dados referentes aos indicadores DEC, FEC e TMA nos anos de 2022, 2023, 2024 e parte de 2025, permite identificar avanços no desempenho operacional após a instalação do religador RD ROCKET-1.

Nos anos de 2022 e 2023, observou-se que todas as ocorrências analisadas resultaram em valores de DEC variando entre 0,0029 e 0,239, enquanto o FEC variou entre 0,0009 e 0,0010. Apesar de isso indicar que as interrupções afetaram poucos consumidores, os valores de TMA foram elevados em diversas situações, chegando a ultrapassar 25 horas em 2023. O TMP também apresentou médias altas, refletindo os desafios enfrentados pela concessionária, principalmente em razão de condições climáticas adversas, acesso comprometido e causas não identificadas. A frequente indisponibilidade de acesso contribuiu para o aumento do tempo total de atendimento, evidenciando a vulnerabilidade da infraestrutura diante de fatores externos.

Em contrapartida, os dados de 2024 e 2025 demonstram melhorias nos indicadores após a adoção do RD ROCKET-1. As ocorrências registradas nesse período apresentaram valores de DEC extremamente baixos, com FEC estabilizado em 0,0010. O TMA também caiu, com a maioria dos atendimentos resolvidos em até dois minutos, salvo uma exceção em fevereiro de 2025, que chegou a 2 horas e 30 minutos. O TMP apresentou valores mínimos, chegando a zero em diversas ocorrências, indicando que o religador permitiu o restabelecimento remoto da energia sem a necessidade de deslocamento imediato.

A redução consistente nos indicadores após a instalação do RD ROCKET-1 destaca a eficácia da tecnologia na otimização do serviço elétrico. O equipamento contribuiu para a mitigação dos efeitos de interrupções causadas por fatores externos, promovendo uma resposta mais ágil e eficaz. O resultado é a melhoria da continuidade do fornecimento de energia e a elevação do nível de satisfação dos consumidores.

Portanto, os dados indicam que a adoção de tecnologias autônomas e de resposta rápida, como o RD ROCKET-1, é uma estratégia eficaz para superar os desafios operacionais impostos por condições ambientais e logísticas adversas, resultando em ganhos significativos na eficiência e qualidade do serviço prestado.

5 CONCLUSÃO

Diante do que foi exposto, evidencia-se a análise comparativa entre dois métodos de atendimento a ocorrências na rede elétrica no distrito de Cataguarino, em Cataguases: o procedimento tradicional envolvendo chave fusível religadora e a utilização do dispositivo automatizado RD ROCKET-1. A investigação concentrou-se nos impactos operacionais e no tempo de deslocamento das equipes, com o objetivo de compreender os efeitos da automação sobre o desempenho da rede de distribuição elétrica da concessionária Energisa.

Este estudo teve como objetivo principal apresentar uma análise comparativa que considera o tempo de deslocamento e os impactos operacionais entre a atual abordagem de atendimento a uma chave fusível religadora em Cataguarino distrito de Cataguases e o uso do dispositivo RD ROCKET-1, avaliando a eficiência e os efeitos nos indicadores da concessionária Energisa. A partir da análise de indicadores como DEC, FEC, TMA e TMP, foi possível avaliar, com dados concretos, os impactos da automação no desempenho da rede de distribuição.

A partir dos dados coletados, observou-se uma melhoria na continuidade do fornecimento de energia e na qualidade do serviço prestado aos consumidores. A redução dos valores de DEC e FEC indica uma maior resiliência do sistema diante de ocorrências, sobretudo após a implementação de tecnologias como o religador automatizado, que permite a atuação remota e rápida frente a falhas.

Os resultados obtidos demonstraram que a adoção do RD ROCKET-1 promoveu melhorias significativas nos principais indicadores analisados. Houve redução expressiva no TMA e no TMP, contribuindo diretamente para a diminuição dos índices de DEC e FEC. Esses dados evidenciam que a automação por meio do RD ROCKET-1 não apenas otimiza a operação da rede, mas também reduz o impacto das interrupções para os consumidores, consolidando-se como uma solução eficiente e estratégica para a concessionária.

O uso de religadores modernos como o RD ROCKET-1 se mostra, portanto, estratégico para concessionárias que buscam melhorar seus indicadores técnicos e cumprir metas estabelecidas pela ANEEL. A análise de desempenho antes e depois da instalação do equipamento evidencia que os investimentos em automação não apenas se justificam do ponto de vista técnico, como também resultam em benefícios

econômicos e sociais, ao garantir maior confiabilidade e menor tempo de interrupção no fornecimento de energia elétrica.

Além disso, este trabalho reforça a importância de monitorar continuamente os indicadores de qualidade do serviço. Através da análise crítica de DEC, FEC, TMA e TMP, é possível traçar estratégias mais eficazes de manutenção e modernização da rede elétrica, promovendo uma gestão mais inteligente e proativa. Esses indicadores, quando bem interpretados, orientam decisões técnicas que contribuem para a sustentabilidade e eficiência dos sistemas de distribuição.

Desta feita, a implementação de soluções automatizadas, como o religador RD ROCKET-1, aliada ao acompanhamento sistemático dos indicadores operacionais, constitui uma abordagem eficaz para enfrentar os desafios atuais da distribuição de energia elétrica.

REFERÊNCIAS

ADEEL. **O que é religamento automático?** 22 de julho, 2020. Disponível em: <https://adeel.com.br/religamento-automatgico/>. Acesso em: 21 ago. 2024.

ADEEL ENGENHARIA. **Religadores NOJA Power: Diversas aplicações para proteção e automação de redes elétricas.** Disponível em: <https://adeel.com.br/proposta-tecnica-religadores-noja-power-diversas-aplicacoes>. Acesso em: 26 abr. 2025.

ALTUS. **Vantagens da tecnologia LoRa para coleta remota de dados.** Disponível em: <https://www.altus.com.br/post/523/vantagens-da-tecnologia-lora-para-coletaremota-de-dados>. Acesso em: 17 nov. 2024.

ANEEL. Agência Nacional de Energia Elétrica. **Bibliografia Temática Smart Grid – rede elétrica inteligente.** Centro de Documentação – Brasília: ANEEL: CEDOC, 2019.

ARTECHE. **Religador Tripolar smART RC.** Disponível em: <https://www.artech.com/pt/religador-tripolar-smart-rc>. Acesso em: 26 abr. 2025.

BICHELS, A. **Sistemas Elétricos de Potência: Métodos de Análise e Solução.** Curitiba: EDUTFPR, 2018. 466 p. ISBN 978857014085. Disponível em: <http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/4610>. Acesso em: 30 set. 2024.

BRASIL. **Desafios estratégicos para segurança e defesa cibernética.** Brasília, DF: Ministério da Defesa; Centro de Defesa Cibernética, 2014. Disponível em: <https://livroaberto.ibict.br/bitstream/1/612/2/Desafios%20estrat%C3%A9gicos%20para%20seguran%C3%A7a%20e%20defesa%20cibern%C3%A9tica.pdf>. Acesso em: 1 nov. 2024.

BRASIL. AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Qualidade do fornecimento de energia elétrica,** 2024. Disponível em: <https://www.gov.br/aneel/pt-br/assuntos/distribuicao/qualidade-do-fornecimento-deenergia-eletrica>. Acesso em: 4 nov. 2024.

BILLINTON, R.; FOTUHI-FIRUZABAD, M.; BERTLING, L. Bibliography on the Application of Probability Methods in Power System Reliability Evaluation 1996-1999. **IEEE Power Engineering Review**, v. 21, n. 8, p. 56–56, ago. 2001.

CEMIG. COMPANHIA ENERGÉTICA DE MINAS GERAIS. **ND 5.31:** Especificação de religadores monofásicos, bifásicos e trifásicos para redes de distribuição aérea de média tensão. Belo Horizonte: CEMIG, 2020. Disponível em: <https://www.cemig.com.br/wp-content/uploads/2020/07/ND.5.31.pdf>. Acesso em: 19 out. 2024.

CEMIG DISTRIBUIÇÃO S.A. **Relatório anual de responsabilidade socioambiental das empresas de energia elétrica – Cemig D 2022.** 2022. Disponível em:

<https://www.cemig.com.br/wp-content/uploads/2023/04/RelatorioAnual-de-Responsabilidade-Socioambiental-das-Empresas-de-Energia-EletricaCemig-D-2022.pdf>. Acesso em: 4 nov. 2024.

CHINATO, A. et al. **Análise do funcionamento de dispositivos LoRa e LoraWAN na cidade de Caxias do Sul/RS**. Anais da Escola Regional de Alto Desempenho da Região Sul (ERAD RS 2020). Brasil: Sociedade Brasileira de Computação - SBC, 15 abr. 2020. Disponível em: <<https://sol.sbc.org.br/index.php/eradrs/article/view/10745>>. Acesso em: 20 out. 2024

EATON. Power Business Wonderwall. Religadores: fundamentos de religadores. **Religadores**, 2024. Disponível em: Acesso em: 14 set. 2024.

ELEKTRO. **Norma ND.78: proteção de redes áreas de distribuição**. 2ª ed. Campinas, SP, 2014. Disponível em: <https://www.neoenergia.com/web/sp/fornecedores/normas-tecnicas/> Acesso em: 20 ago. 2024.

EMBRASUL. **Energia elétrica no Brasil: história, conquistas, desafios e perspectivas**. Disponível em: <https://www.embrasul.com.br/post/energia-eletrica-nobrasil-historia-conquistas-desafios-e-perspectivas>. Acesso em: 17 nov. 2024.

ENERGES. **O que é DEC e FEC?** Fale Energês, 2020. Disponível em: <https://energes.com.br/o-que-e-dec-e-fec/>. Acesso em: 4 nov. 2024.

EXSERGIA. **Treinamento e capacitação para profissionais de segurança elétrica**. Disponível em: <https://exsergia.eng.br/energia-eletrica/treinamento-ecapacitacao-para-profissionais-de-seguranca-eletrica/>. Acesso em: 30 out. 2024.

FALCÃO, D. **Redes Elétricas Inteligentes**. In: Seminário Inserção de novas fontes renováveis e redes inteligentes no planejamento energético nacional. 2012, Rio de Janeiro. Disponível em: www.ppe.ufjf.br/ppeseminario_renovaveis/apresentacao/06.../djalma.pdf. Acesso em: 1 set. 2024.

FRAZÃO, R.J.A. **Proteção e Automação de Sistemas Elétricos de Potência**. 1. ed. Londrina: Editora e Distribuidora Educacional S.A., 2019, 200p.

GOMES, J.S. **Sistemas de Distribuição de Energia Elétrica: Conceitos e Aplicações**. 2. ed. São Paulo: Editora Técnica, 2018.

GUIMARÃES, J. **Religadores de energia: tecnologia para restabelecer o sistema com segurança**. Romagnole. Religadores Automáticos, 2024. Disponível em: <https://www.romagnole.com.br/noticias/religadores-de-energia-tecnologia-pararestabelecer-o-sistema-com-seguranca/>. Acesso em: 30 ago. 2024.

HARTBR. **Religador Monofásico ROCKET-1: proteção e automação de redes monofásicas e trifásicas**. Folheto, 2021. Disponível em:

<https://hartbr.com/wpcontent/uploads/2021/04/Folheto-Religador-Rocket-1-v2.pdf>. Acesso em: 15 nov. 2024.

HAUGHTON, D.; HEYDT, G. T. Smart distribution system for improved reliability. **Power and Energy Society General Meeting**, IEEE, 25-29 jul. 2010, p. 1-8.

IBERDROLA. **Smart grids: o que são e como transformam o setor elétrico**. Disponível em: <https://www.iberdrola.com/quem-somos/nossa-atividade/smart-grids>. Acesso em: 17 nov. 2024.

IMS. **As inovações tecnológicas em gestão de energia**. 2023. Disponível em: <https://www.ims.ind.br/as-inovacoes-tecnologicas-em-gestao-de-energia/>. Acesso em: 19 out. 2024.

KHOMP. **Cartilha LoRa: conhecimentos básicos de LoRa e LoRaWAN**. 1.0, 2021. Disponível em: <https://www.khomp.com>. Acesso em: 17 nov. 2024.

LORENCINI. **Conheça os principais tipos de relés e suas funções**. Lorencini Automação, 2023. Disponível em: <https://www.lorencini.com.br/blog/conheca-os-principais-tipos-de-reles-e-suas-funcoes/>. Acesso em: 7 out. 2024.

MAESTRI, C.O.N.M.; ANDRADE, M.E.M.C. Indicadores de qualidade do fornecimento de energia no Brasil. **R. bras. Planej. Desenv.**, Curitiba, v. 8, n. 1, p. 40-61, jan./abr. 2019. Disponível em: <https://periodicos.utfpr.edu.br/rbpd/article/viewFile/9123/6078>. Acesso em: 1 nov. 2024.

MARTINS, D.B. **Desenvolvimento de religador monofásico para redes inteligentes de distribuição de energia elétrica**. 2021. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2021. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18154/tde24032021-102152/publico/DissertMartinsDanielladeBarcellosCorrig.pdf>. Acesso em: 19 out. 2024.

IBERDROLA. MASTER INSTITUTO DE ENSINO. **Smart Grid**. Disponível em: <https://master.org.br/noticias/smart-grid/>. Acesso em: 4 nov. 2024.

ONS. OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA ELÉTRICO. **Aspectos de segurança relacionados à operação do sistema interligado nacional**: sistemas especiais de proteção e proteções de caráter sistêmico. Editora Artliber, 2020.

ONS. OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA ELÉTRICO. **Luzes do conhecimento: e-book técnico**. 2022. Disponível em: https://www.ons.org.br/AcervoDigitalDocumentosEPublicacoes/ebook_LuzesdoConhecimento.pdf. Acesso em: 19 out. 2024.

PAULO, S.S. **Tecnologia em Religamento de Redes de Distribuição**. Itatiba, 2012. Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade São Francisco, 2012.

PEREIRA, T. S.; OLIVEIRA, J. F. **Redes de comunicação de longa distância e sua aplicação em redes elétricas inteligentes**. São Paulo: Editora Tecnológica, 2021.

ROMAGNOLE, T. Aplicações de Religadores Automáticos. **Romagnole**, 2024. Disponível em: <https://www.romagnole.com.br/noticias/aplicacoes-de-religadoresautomaticos/>. Acesso em: 10 set. 2024.

ROSA, Aldo Vieira da. **Processos de energias renováveis**. 3. ed. - Rio de Janeiro: Elsevier, 2015.

RUSH, P. **Proteção e automação de redes: conceito e aplicação**. Coordenação da tradução José Antonio Jardini. São Paulo: Editora Blucher: Schneider, 2011.

SANTOS, C.; BARTMEYER, P.M.; LYRA, C. Nova heurística para o problema de alocação e leitura de sensores de falha em redes de distribuição. In: SANTOS, Marcos (Org.). **Proposta de solução do Travelling Salesman Problem (TSP) para otimização de roteiros de uma empresa de manutenção de piscinas e banheiras de hidromassagem**. ResearchGate, 2018. Disponível em: <https://l1nq.com/H2Vyv>. Acesso em: 7 out. 2024.

SIEMENS. **Religador Modular Compacto (CMR)**. 2020. Disponível em: [siemens.com/compact-recloser](https://www.siemens.com/compact-recloser). Acesso em: 13 set. 2024.

SILVA, M.G.; RODRIGUES, A.B.; *et al.* **Otimização da Confiabilidade em Sistemas de Distribuição de Energia Elétrica**. IN: Anais do II Citenel: II Congresso de Inovação Tecnológica em Energia Elétrica, Universidade Salvador, 2003.

SUNNE. **Como funciona a geração distribuída no Brasil**. Sunne, 2023. Disponível em: <https://sunne.com.br/como-funciona-a-geracao-distribuida-no-brasil/>. Acesso em: 7 out. 2024.

TRIFÁSICA. **Relé de proteção: entenda o que é e quais os tipos**. Trifásica, 2023. Disponível em: <https://trifasica.com.br/rele-de-protecao-entenda-o-que-e-e-quais-ostipos/>. Acesso em: 7 out. 2024.