

# Desenvolvimento de um software para coordenação e seletividade de redes de distribuição

Ingridi dos Santos Kremer  
*UFSM*  
Santa Maria, Brasil  
ingridi.kremerr@gmail.com

Leonardo H. Medeiros  
*UFSM*  
Santa Maria, Brasil  
leohm.29@gmail.com

Arthur Cordeiro Andrade  
*CELETRO*  
Cachoeira do Sul, Brasil  
arthurcoand@gmail.com

Guilherme Azevedo Rech  
*CELETRO*  
Cachoeira do Sul, Brasil  
gui.rech.a@gmail.com

Marcelo de Ramos Grenzel  
*UFSM*  
Santa Maria, Brasil  
marcelogrenzell16@gmail.com

João Pedro Pranke Perin  
*UFSM*  
Santa Maria, Brasil  
joaopranke@gmail.com

Daniel Pinheiro Bernardon  
*UFSM*  
Santa Maria, Brasil  
dpbernardon@ufsm.br

Maria Cecília Caldeira Vieira  
*UFSM*  
Cachoeira do Sul, Brasil  
vieira.maria@acad.ufsm.br

Cristiane Cauduro Gastaldini  
*UFSM*  
Cachoeira do Sul, Brasil  
cristiane.gastaldini@ufsm.br

**Abstract**—Este artigo apresenta o desenvolvimento de um software voltado para a coordenação e seletividade de redes de distribuição de energia elétrica, com foco na rede da Cooperativa de Eletrificação Centro Jacuí Ltda. (CELETRO). O software tem como objetivo oferecer uma solução avançada que contribua significativamente para a melhoria do desempenho operacional, garantindo maior precisão na detecção e isolamento de falhas, além de uma recuperação mais rápida do sistema. A utilização de um software para a realização da cooperativa e seletividade traz consideravelmente benefícios, como análise detalhada e precisa das condições da rede, identificação de pontos críticos e implementação de medidas preventivas, minimização dos impactos negativos para os consumidores e garantia de um fornecimento de energia mais estável e confiável. O artigo discute os conceitos teóricos e a importância da progressão e seletividade em redes de distribuição, os métodos e ferramentas utilizados no desenvolvimento do software, e os resultados obtidos e implicações práticas do uso do software desenvolvido. Espera-se que esta ferramenta possa ser amplamente utilizada por engenheiros e técnicos do setor, proporcionando um avanço significativo na gestão de redes de distribuição de energia elétrica e funcional como base para futuras pesquisas e desenvolvimentos tecnológicos no setor.

**Index Terms**—Coordenação. Seletividade. Redes de Distribuição.

## I. INTRODUÇÃO

A rede de distribuição de energia elétrica é um elemento estratégico no fornecimento seguro e eficiente de eletricidade para os consumidores, desempenhando um papel fundamental no equilíbrio entre geração e demanda energética [5]. A eficiência e a confiabilidade dessas redes são cruciais para garantir a continuidade do fornecimento e a segurança dos usuários. No entanto, para assegurar uma operação estável e resiliente, é necessário que as redes contem com uma gestão adequada dos seus dispositivos de proteção, especialmente em relação à coordenação e seletividade. Esses dois aspectos

visam minimizar os impactos de falhas e reduzir o tempo de interrupção, contribuindo diretamente para a resiliência do sistema elétrico. Neste cenário, o desenvolvimento de ferramentas tecnológicas para otimizar essas operações torna-se um imperativo [1].

Este artigo apresenta o desenvolvimento de um software de coordenação e seletividade em redes de distribuição de energia, desenvolvido para atender às necessidades da Cooperativa de Eletrificação Centro Jacuí Ltda (CELETRO). A cooperativa, responsável pela distribuição de energia elétrica para uma ampla região, enfrentava desafios recorrentes relacionados à confiabilidade e eficiência de sua rede, especialmente no que tange à proteção contra falhas e à minimização de interrupções no fornecimento.

A ferramenta oferece diversos benefícios concretos, como a identificação ágil de pontos críticos, a aplicação de medidas preventivas, e a redução significativa dos riscos de falhas prolongadas. Além disso, ao otimizar a coordenação entre os dispositivos de proteção, o software minimiza os impactos negativos de interrupções no fornecimento, resultando em maior confiabilidade para os consumidores. Em termos acadêmicos, essa inovação representa um avanço importante na interface entre engenharia elétrica e tecnologias de otimização, contribuindo para um corpo crescente de estudos focados na automação e digitalização de redes elétricas.

Neste artigo, abordamos inicialmente os fundamentos teóricos que justificam a importância da coordenação e seletividade em redes de distribuição. Em seguida, descrevemos os métodos utilizados no desenvolvimento do software, explorando tanto as ferramentas computacionais aplicadas quanto os algoritmos que sustentam suas funcionalidades. Por fim, discutimos os resultados obtidos com o uso da ferramenta e suas implicações práticas, projetando seu impacto potencial

para o setor energético.

## II. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### A. Coordenação na Rede de Distribuição

A coordenação em redes de distribuição de energia elétrica é essencial para garantir a confiabilidade, segurança e eficiência do fornecimento. Este processo envolve a sinergia entre dispositivos de proteção, controle e monitoramento, de forma a permitir uma resposta eficaz a eventos anormais, como curto-circuitos e sobrecargas. A coordenação adequada assegura que, em caso de falhas, apenas a área afetada seja isolada, minimizando o impacto sobre o sistema como um todo e promovendo uma operação mais resiliente e robusta [6].

1) *Definição De Coordenação Na Rede De Distribuição:* A coordenação na rede de distribuição de energia elétrica se configura como um processo multifacetado e dinâmico, exigindo um planejamento estratégico e a implementação de diversas ações interligadas. Esse sistema complexo tem como objetivo principal garantir o fornecimento confiável, seguro, eficiente e sustentável de energia aos consumidores finais [9].

Na coordenação reside o controle de tensão, pilar fundamental para a preservação dos equipamentos dos consumidores e a otimização do sistema. Técnicas como a regulação de tensão por meio de transformadores com tap-changers e o uso de dispositivos de controle, como capacitores, garantem a estabilidade da rede, prevenindo falhas e maximizando a vida útil dos componentes [7].

O gerenciamento de carga, por sua vez, assume o papel fundamental da demanda, prevendo, monitorando e controlando o consumo de energia. Essa atividade crucial equilibra a oferta e a demanda, prevenindo sobrecargas e otimizando a operação da rede. Ferramentas avançadas de previsão de carga e programas de resposta à demanda são instrumentos essenciais para essa tarefa [7].

A manutenção preventiva, com sua inspeção e manutenção regulares dos componentes da rede, impacta diretamente no controle falhas e interrupções. Essa prática proativa identifica e corrige problemas em potencial antes que causem danos ao sistema, garantindo a confiabilidade do fornecimento de energia.

A reconfiguração da rede, com sua flexibilidade para modificar a topologia da rede de acordo com as necessidades do sistema, contribui para a otimização da eficiência operacional e da confiabilidade. Essa ferramenta permite a mudança na configuração das linhas de distribuição, a integração de novas fontes de energia, como a geração distribuída, e o redimensionamento de subestações. A reconfiguração também é crucial na resposta a falhas, permitindo o isolamento de áreas afetadas e a rápida restauração do serviço [8].

O monitoramento em tempo real, com sua coleta e análise de dados em tempo real sobre o estado da rede, atua como um sistema de alerta precoce. Através de Sistemas de Supervisão e Aquisição de Dados (SCADA) e redes de sensores inteligentes, problemas e falhas são detectados rapidamente, permitindo uma resposta eficaz a eventos adversos, minimizando o tempo de inatividade e seus impactos [3].

O planejamento de expansão, com sua análise e desenvolvimento de estratégias para expandir a capacidade da rede de acordo com o crescimento da demanda de energia, garante a sustentabilidade do sistema no longo prazo. Essa atividade essencial inclui o planejamento da construção de novas linhas de distribuição, subestações e a integração de novas tecnologias, como redes inteligentes e fontes de energia renovável.

Ao gerenciar todas essas ações interligadas, a coordenação na rede de distribuição de energia elétrica se configura como a chave para garantir a confiabilidade, a segurança, a eficiência e a sustentabilidade do sistema elétrico, atendendo às necessidades dos consumidores finais e contribuindo para o desenvolvimento sustentável da sociedade.

2) *Importância Da Coordenação:* Uma coordenação eficiente evita a propagação desnecessária de interrupções na rede. Em caso de falha, apenas a seção afetada é isolada, permitindo que o restante da rede continue operando normalmente. Isso reduz os tempos de interrupção, como a Duração de Interrupção por Consumidor (DIC), a Frequência de Interrupção por Consumidor (FIC), a Duração Máxima de Interrupção por Consumidor (DMIC), a Duração Equivalente de Interrupção por Consumidor (DEC) e a Frequência Equivalente de Interrupção por Consumidor (FEC), melhorando assim a satisfação dos associados.

3) *Recomendações para Melhorar a Coordenação:*

- Realizar instalação de relés de proteção em toda a rede.
- Realizar estudos de coordenação periódicos para garantir que os dispositivos de proteção estejam otimizados.
- Implementar um sistema de monitoramento em tempo real para identificar rapidamente falhas e ajustar a coordenação conforme necessário.

### B. Seletividade na Rede de Distribuição

1) *Definição De Seletividade Na Rede De Distribuição:* A seletividade em redes de distribuição é essencial para garantir a continuidade do fornecimento de energia elétrica e minimizar os impactos de falhas. Ela consiste na capacidade de isolar a parte da rede afetada por uma falha, sem interromper a alimentação das áreas não afetadas [10].

A seletividade funciona por meio da coordenação entre dispositivos de proteção, como disjuntores e fusíveis, permitindo que apenas o dispositivo mais próximo da falha seja acionado. Isso isola a área com o problema e mantém a energia fluindo para o restante da rede [2].

Fatores que influenciam a seletividade incluem as características dos dispositivos de proteção, como tempo de resposta, curva de disparo e capacidade de interrupção; a configuração da rede, como tipo de alimentador, número de alimentadores e impedâncias; e os tipos de falhas, como curto-circuito, sobrecarga e falta de terra [10].

Técnicas para garantir a seletividade incluem a coordenação tempo-corrente, que ajusta os tempos de disparo dos dispositivos de proteção para que o dispositivo mais próximo da falha atue primeiro; proteções direcionais, que utilizam relés direcionais para identificar a direção do fluxo de corrente de falta e acionar apenas os dispositivos localizados a jusante

da falha; e proteções diferenciais, que comparam as correntes que entram e saem de um trecho da rede para detectar falhas internas [2].

2) *Importância Da Seletividade*: A seletividade é fundamental para minimizar a interrupção do fornecimento de energia e garantir a continuidade do serviço para a maioria dos consumidores. Ela também reduz o tempo de resposta em caso de falha, melhorando os índices de qualidade e eficiência do sistema.

- Implementar dispositivos de proteção mais avançados que possam identificar a localização exata da falha.
- Implementar a utilização de relés de proteção para atuar seletivamente com base na localização da falha.
- Realizar testes de seletividade regulares e simulações para garantir que os dispositivos de proteção estejam funcionando conforme o esperado.

### III. METODOLOGIA

Nesta seção, detalhamos os métodos empregados no desenvolvimento do software de coordenação e seletividade para a rede de distribuição de energia elétrica. O projeto foi elaborado com base nas características operacionais e demandas específicas da rede de distribuição da Cooperativa de Eletrificação Centro Jacuí Ltda. CELETRO). A escolha dessa rede como referência permitiu o desenvolvimento de uma solução personalizada, voltada para otimizar a eficiência operacional e a confiabilidade do sistema de distribuição.

#### A. Cálculos

A rede utilizada como base para o desenvolvimento da ferramenta emprega exclusivamente elos do tipo K para a coordenação e seletividade das suas redes primárias, o que simplifica os cálculos necessários para garantir a proteção adequada do sistema.

A primeira condição para garantir a coordenação e seletividade da rede é que cada elo deve atender à Equação 1. Essa equação estabelece que a corrente nominal do elo deve ser, no mínimo, 1,5 vezes maior que a corrente de carga e, ao mesmo tempo, não pode exceder um quarto da corrente de curto-circuito mínima [4]. Essa condição assegura que o elo seja capaz de operar com segurança tanto sob condições normais quanto durante eventos de falha.

Além disso, se o elo for um elo protegido, ele deve se coordenar com seus elos protetores conforme estabelecido na Equação 2. Nesse caso, a corrente de coordenação, especificada na Tabela I, deve ser inferior à corrente de curto-circuito máxima [4]. Essa coordenação é fundamental para garantir que, em caso de uma falha, apenas o elo mais próximo do ponto de falha atue, preservando a operação normal da rede nas demais áreas.

$$1,5 \cdot I_{nom} \leq I_{elo} \leq \frac{1}{4} \cdot I_{CC_{min}} \quad (1)$$

$$I_{C_{oor}} > I_{CC_{max}} \quad (2)$$

Legenda:

- $I_{elo}$  - corrente do elo fusível.
- $I_{nom}$  - corrente nominal.
- $I_{CC_{min}}$  - corrente de curto-circuito mínimo.
- $I_{C_{oor}}$  - corrente de coordenação.
- $I_{CC_{max}}$  - corrente de curto-circuito máxima.

Tabela I: Coordenação dos Elos Tipo K

	8K	10K	12K	15K	20K	25K	30K	40K	50K	65K	80K	100K	140K	200K
6K	-	190	350	510	650	840	1060	1340	1700	2200	2800	3900	5800	9200
8K	-	-	210	440	650	840	1060	1340	1700	2200	2800	3900	5800	9200
10K	-	-	-	300	540	840	1060	1340	1700	2200	2800	3900	5800	9200
12K	-	-	-	-	320	710	1050	1340	1700	2200	2800	3900	5800	9200
15K	-	-	-	-	-	430	870	1340	1700	2200	2800	3900	5800	9200
20K	-	-	-	-	-	-	500	1100	1700	2200	2800	3900	5800	9200
25K	-	-	-	-	-	-	-	660	1350	2200	2800	3900	5800	9200
30K	-	-	-	-	-	-	-	-	850	1700	2800	3900	5800	9200
40K	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1100	2200	3900	5800	9200
50K	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1450	3500	5800	9200
65K	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2400	5800	9200
80K	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4500	9200
100K	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2000	9100
140K	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4000

#### B. Software

A CELETRO gerencia, opera e mantém sua rede de distribuição utilizando um banco de dados abrangente, que armazena informações detalhadas sobre consumidores, linhas de distribuição e equipamentos. Esses dados podem ser exportados em formato .csv, o que facilita sua utilização em diversas ferramentas internas. Um exemplo é o software desenvolvido para coordenação e seletividade de redes de distribuição, denominado CELETRO Analisador de Redes Secundárias (CARPa), conforme ilustrado na Figura 1. O CARPa opera a partir desse banco de dados, permitindo uma análise precisa das redes secundárias, otimizando a gestão e a confiabilidade do sistema de distribuição.



Figura 1: Logo do Software CARPa.

Para o desenvolvimento do software, optou-se pela utilização da linguagem de programação Dart/Flutter, uma tecnologia que se destaca por sua versatilidade e capacidade multiplataforma, permitindo a criação de aplicações tanto para a web quanto para dispositivos móveis a partir de um único código base. Essa escolha se mostrou estratégica não apenas pela eficiência no desenvolvimento, mas também pela facilidade de manutenção e atualização dos sistemas.

Outro fator relevante para a escolha foi a familiaridade com a tecnologia, já empregada em diversos outros sistemas internos. Isso promove uma integração de dados mais eficaz, facilitando a interoperabilidade entre plataformas e sistemas

já existentes na organização. A utilização de uma tecnologia consolidada no ambiente interno também contribui para a continuidade do conhecimento técnico da equipe, reduzindo a necessidade de treinamento adicional.

Além disso, o Dart/Flutter oferece uma combinação de alta performance e uma extensa biblioteca de widgets, o que acelera significativamente o processo de desenvolvimento. Essas ferramentas possibilitam a criação de interfaces de usuário altamente responsivas, intuitivas e adaptáveis, aspectos fundamentais para garantir uma experiência do usuário fluida e eficiente, atendendo plenamente às exigências tecnológicas da cooperativa.

Na seção seguinte, será apresentada a versão finalizada do sistema CARPa, com um detalhamento das funcionalidades implementadas e das melhorias analisadas e aplicadas na rede.

#### IV. RESULTADOS

O desenvolvimento do software CARPa focou em proporcionar uma ferramenta eficiente para a simulação e análise de coordenação e seletividade em redes de distribuição elétrica, possibilitando maior precisão no planejamento e execução de operações na rede. Ao iniciar o software, o usuário pode adicionar a rede de um alimentador de energia, permitindo a criação de diversas alternativas para o mesmo cenário operacional. Essa funcionalidade revelou-se fundamental para a simulação de diferentes configurações, favorecendo a análise comparativa de desempenho e a avaliação de impactos em diversos cenários de falha ou manutenção preventiva. A Figura 2 ilustra o menu inicial do CARPa, onde as opções de simulação podem ser acessadas.



Figura 2: Menu do CARPa.

Um dos pontos-chave observados no CARPa é sua interface gráfica amigável, que proporciona uma visão clara e detalhada da rede elétrica. O mapa da rede primária, mostrado na Figura 3, exibe os componentes críticos da rede de forma visualmente distinta, permitindo ao operador identificar rapidamente os postes, transformadores, chaves seccionadoras e religadores. A organização visual da rede, com codificação por cores e formas geométricas específicas para cada componente, facilita a identificação de elementos da infraestrutura, mesmo em áreas de alta densidade de equipamentos. Essa interface clara e intuitiva se mostrou eficaz na redução de erros operacionais e no aumento da velocidade de diagnósticos e ações corretivas.

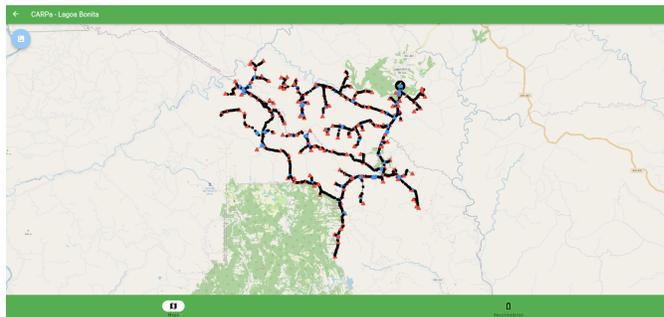


Figura 3: Mapa da rede primária do Alimentador de Lagoa Bonita.

Outro aspecto do software é a capacidade de alternar entre diferentes visualizações de mapas, incluindo divisões geográficas e imagens de satélite (Figura 4). Esta funcionalidade é particularmente valiosa para as cooperativas de eletrificação rural, onde as redes elétricas frequentemente atravessam territórios de características geográficas diversas, como áreas urbanas, zonas agrícolas e florestas. Ao permitir a alternância entre mapas convencionais e imagens de satélite, o software oferece uma visão mais abrangente do terreno, auxiliando na identificação de desafios específicos em termos de acesso e manutenção. Essa funcionalidade se destaca como um diferencial no planejamento e execução de operações em ambientes de difícil acesso, permitindo uma visão estratégica mais precisa.



Figura 4: Mapa da rede primária com imagens de satélite do Alimentador de Lagoa Bonita.

Um dos resultados proporcionados pelo CARPa é a capacidade de acessar informações detalhadas sobre os componentes da rede elétrica diretamente a partir do mapa. Ao clicar em uma chave seccionadora, por exemplo, o software exibe um popup com dados técnicos essenciais, como o código de identificação, o tipo de seccionadora, o elo utilizado no momento e o elo recomendado pelos cálculos automatizados do software (Figura 5). Esse recurso reduz significativamente o tempo necessário para diagnósticos em campo, uma vez que o operador pode rapidamente visualizar e ajustar os parâmetros da seccionadora de forma direta. Além disso, a comparação entre os elos atualmente instalados e os elos sugeridos pelo software com base em cálculos de seletividade otimiza o desempenho da rede, prevenindo falhas e minimizando interrupções de fornecimento de energia.



Figura 5: Exemplo de popup com as informações de uma seccionadora.

O software também oferece grande flexibilidade ao permitir a adição de novos componentes à rede, como exemplificado na Figura 6. A facilidade com que novas seccionadoras podem ser adicionadas ao sistema permite que operadores ajustem rapidamente a infraestrutura conforme necessário, sem a necessidade de intervenções manuais complexas. Inicialmente, o sistema adiciona uma seccionadora do tipo chave faca, que não requer elo. No entanto, quando o usuário altera o tipo de seccionadora para uma que exige elo, o CARPa calcula automaticamente a corrente necessária e recomenda um elo de 65K, demonstrando a capacidade do software em adaptar-se a diferentes situações operacionais e melhorar a precisão nas decisões de ajustes. Isso aumenta a eficiência do processo de manutenção e atualização da rede, além de garantir a segurança e a confiabilidade das operações.

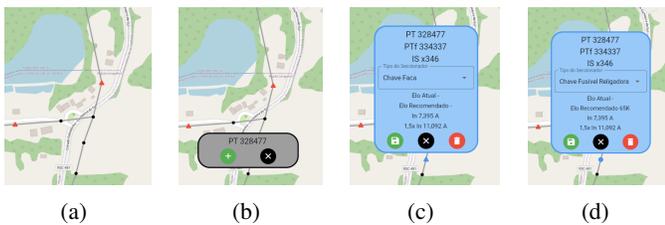


Figura 6: Processo de adição e alteração de uma seccionadora.

Outro resultado é a tabela de seccionadoras, acessível na aba específica do software, conforme mostrado na Figura 7. Essa tabela consolidada permite que os operadores visualizem todas as seccionadoras da rede de forma centralizada, identificando rapidamente aquelas que possuem divergências entre o elo instalado e o elo recomendado pelo software. Esse tipo de visualização contribui para intervenções mais ágeis e direcionadas, minimizando a possibilidade de erros humanos e permitindo que a equipe de manutenção atue com maior eficiência. Além disso, a capacidade de monitorar essas divergências em tempo real oferece uma camada adicional de segurança operacional, garantindo que a rede esteja sempre otimizada para seu pleno funcionamento.

ID	%	Tipo	%	PT	%	DS-MIO	%	DS-CARPa	%	H(O)	%
4937		CF		47889		UK		UK		0,028	
5890		CF		318849		UK		UK		0,178	
5571		CF		318221		UK		UK		0	
5885		CS		318930		-		-		0,237	
5870		CF		318975		UK		UK		0,764	
5874		CF		318998		UK		UK		0,033	
5875		CF		318427		UK		UK		1,285	
5874		CF		320827		UK		UK		0,029	
5825		CF		320564		UK		UK		8,57	
3885		CF		320993		UK		UK		0,021	
5881		RI		320763		UK		UK		10,540	
5449		CF		320877		UK		UK		8,016	
5886		RI		320620		2UK		2UK		3,116	
5840		CF		320849		UK		UK		0,083	
2077		US		321802		-		-		2,073	

Figura 7: Tabela de seccionadoras.

## V. CONCLUSÃO

Este estudo enfatizou a relevância da coordenação e seletividade dos dispositivos de proteção como componentes cruciais para a confiabilidade e segurança dos sistemas elétricos. A aplicação adequada desses princípios assegura a detecção e isolamento rápidos e precisos de falhas, reduzindo danos a equipamentos e prevenindo interrupções no fornecimento de energia.

Nesse contexto, o software desenvolvido e apresentado neste trabalho se destaca como uma ferramenta para apoiar o projeto e a implementação de sistemas elétricos mais seguros e confiáveis. O CARPa automatiza uma série de cálculos e análises complexas, promovendo uma otimização significativa do tempo de trabalho e diminuindo a probabilidade de erros humanos.

Além disso, o CARPa proporciona uma série de recursos que facilitam a visualização e a interpretação dos resultados relacionados à coordenação e seletividade. Essa funcionalidade permite uma tomada de decisão mais ágil e fundamentada. A capacidade do software de simular diversos cenários e avaliar o impacto das diferentes configurações de proteção representa um diferencial importante, possibilitando a otimização dos projetos e a identificação de potenciais vulnerabilidades.

Em síntese, a coordenação e seletividade são elementos indispensáveis para garantir a segurança e a confiabilidade dos sistemas elétricos. O CARPa se configura como uma ferramenta valiosa, oferecendo suporte aos engenheiros na concepção, implementação e manutenção eficiente e segura desses sistemas. Dessa forma, este trabalho não apenas contribui para a literatura existente, mas também apresenta uma solução prática que pode ser adotada na engenharia elétrica, promovendo a inovação e a excelência nas práticas de proteção de sistemas elétricos.

## REFERÊNCIAS

- [1] Reliability assessment of power distribution system using relative customer average interruptions duration index model. *Network and Complex Systems*, 2022.
- [2] Selectivity problem in adaptive overcurrent protection for microgrid with inverter-based distributed generators (ibdg): Theoretical investigation and hil verification. *IEEE Transactions on Power Delivery*, 2022.
- [3] Alexandre Abrahami Pinto da Cunha. Sistema de internet das coisas para monitoração de motores elétricos industriais. 2023.
- [4] Eletrobrás. Comitê de Distribuição. *Proteção de sistemas aéreos de distribuição*, volume 2 of *Coleção Distribuição de energia elétrica*. Campus / Eletrobrás, Rio de Janeiro, 1982. 235 páginas.

- [5] Bratati Ghosh, Ajoy Kumar Chakraborty, and A. Bhowmik. A technique to boost reliability and efficiency of a radial distribution network by considering the effect of protective devices and system restructuring. *e-Prime*, 2023.
- [6] Ahmad Mirzaei. Coordinated planning of the distribution system and regional energy network in the presence of responsive loads. 2023.
- [7] Yannick Phulpin, Miroslav M. Begovic, and Damien Ernst. Coordination of voltage control in a power system operated by multiple transmission utilities, 2010.
- [8] Paul Cristian Arroyo Quispe. *Coordenação da proteção para topologias de redes de distribuição radiais usando a otimização por enxame de partículas evolucionária diferencial*. PhD thesis, Universidade de São Paulo, 2023.
- [9] Jian Hua Zhang, Hengxu Zhang, and Yong Cao. Desafios da estratégia de controle coordenado de múltiplas fontes de energia ativas na rede de distribuição. In *Proceedings of the 2023 IEEE Power and Energy Society General Meeting (PESGM)*. IEEE, 2023.
- [10] Javor Škare and Miroslav Mesić. Protection devices and selectivity in dc power distribution sub-systems. *Energija*, 2022.