



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA E TECNOLOGIA
CURSO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

RAMON TAVARES CRUZ

**ANÁLISE DA IMPLEMENTAÇÃO DE RELIGADORES MONOFÁSICOS EM
REDES DE DISTRIBUIÇÃO COMO MEDIDA PREVENTIVA PARA FALTAS**

MOSSORÓ

2022

RAMON TAVARES CRUZ

**ANÁLISE DA IMPLEMENTAÇÃO DE RELIGADORES MONOFÁSICOS EM
REDES DE DISTRIBUIÇÃO COMO MEDIDA PREVENTIVA PARA FALTAS**

Projeto de Engenharia Elétrica apresentado a Universidade Federal Rural do Semi-Árido como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Elétrica.

Orientador: Prof. Dr. Idalmir de Souza Queiroz Júnior.
Coorientador: Prof. Dr. Ednardo Pereira da Rocha.

MOSSORÓ

2022

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tomar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

C955a Cruz, Ramon Tavares.
ANÁLISE DA IMPLEMENTAÇÃO DE RELIGADORES
MONOFÁSICOS EM REDES DE DISTRIBUIÇÃO COMO MEDIDA
PREVENTIVA PARA FALTAS / Ramon Tavares Cruz. -
2022.
49 f. : il.

Orientador: Idalmir de Souza Queiroz Júnior.
Coorientador: Ednardo Pereira da Rocha.
Monografia (graduação) - Universidade Federal
Rural do Semi-árido, Curso de Engenharia
Elétrica, 2022.

1. : Religadores monofasicos. 2. Indicadores
de continuidade. 3. . Falhas transitórias. 4.
Fiscalização do setor elétrico. I. Júnior, Idalmir
de Souza Queiroz, orient. II. da Rocha, Ednardo
Pereira, co-orient. III. Título.

Ficha catalográfica elaborada por sistema gerador automático em conformidade
com AACR2 e os dados fornecidos pelo(a) autor(a).
Biblioteca Campus Mossoró / Setor de Informação e Referência
Bibliotecária: Keina Cristina Santos Sousa e Silva
CRB: 15/120

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
Universidade Federal Rural do Semi-Árido – UFERSA
Centro de Engenharias – CE

ATA DE DEFESA DE PROJETO DE ENGENHARIA

Às dez horas e trinta minutos do dia vinte e sete de maio de dois mil e vinte e dois, através do recurso do uso de tecnologias de comunicação à distância, do tipo vídeo conferência e conforme o que determina Portaria nº 36 de 19 de Março de 2020 do Ministério da Educação/Fundação Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior- CAPES e Resolução CONSEPE/UFERSA nº 003/2020, de 25 de setembro de 2020, reuniu-se a Banca Examinadora de defesa do Projeto de Engenharia de autoria do aluno **RAMON TAVARES CRUZ**, aluno do curso de Engenharia Elétrica desta universidade, N° de matrícula **2018001816**, com o título **“ANÁLISE DA IMPLEMENTAÇÃO DE RELIGADORES MONOFÁSICOS EM REDES DE DISTRIBUIÇÃO COMO MEDIDA PREVENTIVA PARA FALTAS”**. A Banca Examinadora ficou assim constituída por três membros: Prof. Dr. Idalmir de Souza Queiroz Júnior, Presidente da Banca e Orientador do Projeto de Engenharia, Prof. Dr. Ednardo Pereira da Rocha, co-orientador e membro da Banca, Prof. Dr. Humberto Dionísio de Andrade, membro da banca. Concluída a defesa, procedeu-se o julgamento pelos membros da banca examinadora, tendo o aluno sido considerado **APROVADO** com correções. E para constar, eu, Idalmir de Souza Queiroz Júnior, lavrei a presente ata que, após lida e aprovada pelos membros da banca examinadora, será assinada por todos.

Mossoró, 27 de maio de 2022.

Assinatura dos membros da Banca Examinadora.

IDALMIR DE SOUZA QUEIROZ
JUNIOR:63510731468

Assinado de forma digital por IDALMIR
DE SOUZA QUEIROZ
JUNIOR:63510731468
Dados: 2022.05.27 11:27:49 -03'00'

Prof. Dr. Idalmir de Souza Queiroz Júnior – UFERSA
Presidente e Orientador

Assinado de forma digital por EDNARDO
PEREIRA DA ROCHA:08220847409
Dados: 2022.05.27 16:18:03 -03'00'

Prof. Dr. Ednardo Pereira da Rocha – UFERSA
co-orientador e Membro

Prof. Dr. Humberto Dionísio de Andrade – UFERSA
Membro

AGRADECIMENTOS

Agradeço a toda minha família principalmente aos meus pais Francisco Wellington Cruz e Maria do Socorro Tavares Cruz, e ao meu irmão Ruan Tavares Cruz por sempre apoiarem minhas decisões e sempre estarem comigo em todos os momentos, acreditando em mim e reconhecendo todas as conquistas alcançadas.

Agradeço aos meus amigos por todo apoio recebido durante o período de graduação, foi de extrema importância o apoio e companheirismo de todos.

Agradeço todos os professores que de alguma forma contribuíram para a minha formação acadêmica e moral.

Agradeço por fim, acima de tudo a Deus, por ter me abençoado e me proporcionado todos os momentos vividos até aqui, por ter me dado sabedoria e discernimento para enfrentar todos os desafios.

“Por vezes sentimos que aquilo que fazemos não é senão uma gota de água no mar. Mas o mar seria menor se lhe faltasse uma gota.”

Madre Teresa de Calcutá

RESUMO

Um dos principais problemas que ocorre no sistema elétrico é a fusão excessiva de elos fusíveis na rede. Com isso, abre-se espaço para o estudo de mecanismos que sejam capazes de minimizar este problema decorrente de faltas temporárias, como os religadores monofásicos *Fusesaver* e o *TripSaver*. O religador automático monofásico é um dispositivo de proteção eletrônico projetado para proteger os equipamentos que constituem a rede de distribuição de energia em áreas urbanas e rurais, e fornecer garantias de segurança para pessoas direta ou indiretamente relacionadas. Seu principal objetivo é minimizar a falta de energia causada pela falha temporária na rede de distribuição. As principais falhas na rede são causadas por descargas atmosféricas, árvores, animais, incêndios, vandalismo e colisões de postes. A demora na religação da rede afeta diretamente os indicadores de Duração Equivalente de Interrupção por Unidade Consumidora (DEC) e a Frequência Equivalente de Interrupção por Unidade Consumidora (FEC) que são utilizados para medir a continuidade do serviço, supervisionados pelo módulo 8 referentes ao Procedimento de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional da ANEEL, responsável pela fiscalização do setor elétrico brasileiro. Um dos principais desafios dos franqueados é manter esses indicadores de continuidade os mais baixos possíveis, a fim de melhorar a qualidade dos serviços de distribuição. Uma diminuição no índice das ocorrências de desligamentos implica em uma redução nas distâncias percorridas pelas equipes durante o deslocamento, provocando assim uma redução nos custos operacionais e de penalizações pelo descumprimento dos níveis dos indicadores DEC e FEC, com isso possibilitando um retorno financeiro de médio a longo prazo.

Palavras-chave: Religadores monofasicos. Indicadores de continuidade. Falhas transitorias. Fiscalização do setor elétrico.

ABSTRACT

One of the main problems that occurs in the electrical system is the excessive fusion of fuse links in the network. This opens space for the study of mechanisms capable of minimizing this problem resulting from temporary faults, such as the single-phase Fusesaver and TripSaver reclosers. The single-phase automatic recloser is an electronic protection device designed to protect the equipment that constitutes the power distribution network in urban and rural areas and provide safety guarantees for directly or indirectly related persons. Its main objective is to minimize the power outage caused by the temporary failure in the distribution network. The main faults in the network are caused by lightning, trees, animals, fires, vandalism and pole collisions. The delay in the reconnection of the network directly affects the indicators of Equivalent Interruption Duration per Consumer Unit (DEC) and the Equivalent Frequency of Interruption per Consumer Unit (FEC) that are used to measure the continuity of the service, supervised by module 8 referring to the Procedure of Electric Energy Distribution in the National Electric System of ANEEL, responsible for the inspection of the Brazilian electric sector. One of the main challenges for franchisees is to keep these continuity indicators as low as possible, in order to improve the quality of distribution services. A decrease in the rate of disconnection events implies a reduction in the distances traveled by teams during the displacement, thus causing a reduction in operational costs and penalties for non-compliance with the levels of the DEC and FEC indicators, thus enabling a financial return of medium to long term.

Keywords: Single-phase reclosers. Continuity indicators. Transient failures. Inspection of the electricity sector.

LISTA DE FIGURAS

<i>Figura 1 - Sistema Elétrico de Potência</i>	<i>13</i>
<i>Figura 2 -Rede aérea convencional</i>	<i>16</i>
<i>Figura 3 - Rede aérea compacta.....</i>	<i>17</i>
<i>Figura 4 - rede subterrânea</i>	<i>18</i>
<i>Figura 5 - Chave-fusível</i>	<i>23</i>
<i>Figura 6 - Disjuntor de Média Tensão</i>	<i>25</i>
<i>Figura 7– Relés.....</i>	<i>26</i>
<i>Figura 8 - Religador automático.....</i>	<i>27</i>
<i>Figura 9 - Religador Monofásico Fusesaver</i>	<i>28</i>
<i>Figura 10 - Religador automático monofásico TripSaver.....</i>	<i>29</i>
<i>Figura 11 - Alimentador BRJ01S1</i>	<i>34</i>
<i>Figura 12 - Alimentador BRJ01S2</i>	<i>35</i>
<i>Figura 13 -Religador monofásico Fusesaver ICL5872 instalado em campo.....</i>	<i>36</i>
<i>Figura 14 - Religador monofásico TripSaver RCL6216 instalado em campo.....</i>	<i>37</i>
<i>Figura 15 – gcore sde.....</i>	<i>38</i>

LISTA DE TABELAS

<i>Tabela 1 - Percentual das causas da ocorrência de faltas.</i>	<i>19</i>
<i>Tabela 2 - Percentual de ocorrência por tipo de falta.</i>	<i>20</i>
<i>Tabela 3 - Faltas de energia no período antes da instalação do religador Fusesaver</i>	<i>38</i>
<i>Tabela 4 - Faltas de energia no período antes da instalação do religador TripSaver</i>	<i>39</i>
<i>Tabela 5 - Faltas de energia no período depois da instalação do religador Fusesaver</i>	<i>39</i>
<i>Tabela 6 - Faltas de energia no período depois da instalação do religador TripSaver</i>	<i>40</i>

LISTA DE GRÁFICOS

<i>Gráfico 1 - Indicador FEC antes e após a instalação do religador monofásico Fusesaver.</i>	<i>43</i>
<i>Gráfico 2 - Indicador FEC antes e após a instalação do religador monofásico Tripsaver.</i>	<i>44</i>

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	11
2	OBJETIVOS.....	12
2.1	Objetivo Geral	12
2.2	Objetivos Específicos	12
3	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	13
3.1	SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO	13
3.1.1	Tipos de Rede de Distribuição	15
3.2	CONCEITO DE FALTAS DE ENERGIA ELÉTRICA	19
3.2.1	Tipos de faltas.....	20
3.3	PROTEÇÃO DAS LINHAS DE DISTRIBUIÇÃO.....	22
3.4	EQUIPAMENTOS DE PROTEÇÃO	22
3.4.1	Chaves Fusíveis	23
3.4.2	Disjuntores.....	24
3.4.3	Relés	25
3.4.4	Religadores	26
3.5	RELIGADORES MONOFÁSICOS.....	27
3.5.1	Fusesaver	27
3.5.2	TripSaver	29
4	METODOLOGIA	31
4.1	MÉTODO DE ABORDAGEM.....	31
4.2	TÉCNICAS DE PESQUISA	31
4.3	METODOLOGIA APLICADA	31
5	ESTUDO DE CASO	33
5.1	ESCOLHA DO EQUIPAMENTO.	33
5.1.1	Características do religador monofásico <i>Fusesaver</i> ICL5872	35
5.1.2	Características do Religador monofásico <i>TripSaver</i> RCL6216.....	36
5.2	AQUISIÇÃO DOS DADOS	37
5.2.1	Dados antes da instalação dos Religadores.....	38
5.2.2	Dados depois da instalação dos Religadores	39

5.3	OBTENÇÃO / DIMENSIONAMENTO DOS INDICADORES	40
5.3.1	Dimensionamento FEC, antes da instalação dos religadores monofásicos.....	40
5.3.2	Dimensionamento FEC, depois da instalação dos religadores monofásicos	41
6	<i>ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS</i>	42
7	<i>CONCLUSÃO.....</i>	45
8	<i>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</i>	46

1 INTRODUÇÃO

Um desafio comum das concessionárias de energia é garantir níveis satisfatórios de confiabilidade e continuidade aos seus consumidores, conforme definidos pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), órgão responsável por supervisionar e regular o setor de energia elétrica da geração a distribuição de energia. Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional (PRODIST), é um conjunto de documentos elaborados pela agência reguladora contendo normas e atividades técnicas relacionadas a função e desempenho do sistema de distribuição de energia elétrica (ANEEL, PRODIST-Módulo 8, 2017).

A rede de distribuição de média tensão é composta principalmente por malha aérea, contendo sua presença em 98% das áreas urbanas e 99% das rurais (AZEVEDO, 2010). Redes estas que apresentam falhas temporárias (árvores, animais na rede, raio, vandalismo) de aproximadamente 80% e falhas permanentes (colisões em postes) de aproximadamente 20% (Kinderman, 1997). Tendo em vista as várias anormalidades que ocorrem no sistema elétrico, um dos principais problemas é a queima excessiva de elos fusíveis na rede (LEME *et al.*, 2013). O trabalho atual propõe o estudo da implementação de religadores monofásicos, especificamente o *Fusesaver* e o *TripSaver* como uma alternativa para minimizar este problema causado em decorrência de faltas transitórias.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

O intuito desse trabalho é realizar o estudo sobre a implementação de religadores monofásicos no sistema elétrico em substituição a chaves fusíveis, e constatar a melhoria nos indicadores de continuidade, com foco principal para o FEC. Implementação do religador *Fusesaver* como uma medida preventiva para a ruptura de elos fusíveis em casos de faltas transitórias e implementação do religador *TripSaver* como uma alternativa para a substituição dos elos fusíveis.

2.2 Objetivos Específicos

- Revisar bibliografia sobre a rede de distribuição e religadores;
- Estudar o Prodist - Módulo 8 e suas implicações;
- Abordar os tipos de faltas de energia elétrica;
- Realizar estudo sobre equipamentos de proteção do sistema de distribuição;
- Compreender o funcionamento de religadores monofásicos automáticos;
- Obter registros de interrupções de uma concessionária;
- Analisar os indicadores de continuidade antes e após a instalação dos religadores;
- Realizar comparação para os indicadores de continuidade obtidos;
- Concluir o trabalho através das análises efetuadas, constatando se foi obtida melhoria dos indicadores de continuidade após a implementação dos religadores monofásicos, na rede de distribuição estudada.

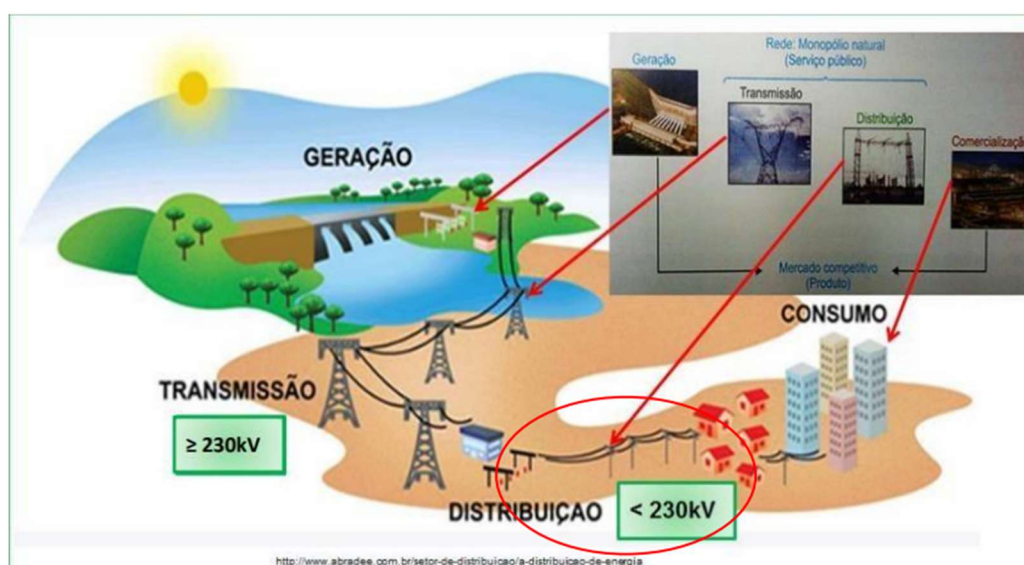
3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO

Um sistema de distribuição é descrito pela parcela do setor elétrico responsável pela entrega de energia elétrica aos usuários finais como principal característica. Com base em regras gerais, um sistema de distribuição elétrica pode ser considerado um conjunto de instalações e equipamentos elétricos, incluindo sistemas de baixa tensão, operando tipicamente em tensões abaixo de 230 kV (ANEEL, 2015a).

O sistema de distribuição de energia é composto pela rede e um grupo de Instalações e equipamentos elétricos operando em níveis de alta tensão (maior em 69 kV e abaixo de 230 kV), média tensão (acima de 1 kV e abaixo de 69 kV) e baixa tensão (igual ou inferior a 1 kV) (ANEEL, 2017). Na Figura 1 é apresentado um exemplo do sistema elétrico de potência.

Figura 1 - Sistema Elétrico de Potência



Fonte: (ABRADEE, 2022)

A Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) estabelece as condições de Fornecimento de Energia Elétrica, por Resolução Normativa (REN) 414, de

9 de setembro de 2010, resultado da evolução regulatória uma série de atos desde 1957 como ação regulamentada, disposições a serem assistidas pelos consumidores e responsáveis por fornecer serviço público de distribuição de energia elétrica, estabelecendo direitos e deveres aplicáveis (ANEEL, 2017).

A ANEEL monitora e controla o desempenho das distribuidoras por meio de métricas e padrões de qualidade. Essas métricas podem ser encontradas nos Procedimentos de Distribuição (PRODIST), que visa estabelecer procedimentos relacionados à qualidade de energia - QEE, para tratar questões de qualidade de produto e qualidade de serviço (ANEEL, 2022).

Os quais serão mencionados a seguir: Indicadores de continuidade (ANEEL, PRODIST - Módulo 8, 2017)

DIC = duração de interrupção individual por unidade consumidora ou por ponto de conexão, expressa em horas e centésimos de hora;

$$DIC = \sum_{i=1}^n t(i)$$

onde:

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

n = número de interrupções da unidade consumidora considerada, no período de apuração;

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

FIC = frequência de interrupção individual por unidade consumidora ou ponto de conexão, expressa em número de interrupções;

DMIC = duração máxima de interrupção contínua por unidade consumidora ou por ponto de conexão, expressa em horas e centésimos de hora;

DICRI = duração da interrupção individual ocorrida em dia crítico por unidade consumidora ou ponto de conexão, expressa em horas e centésimos de hora;

DEC = duração equivalente de interrupção por unidade consumidora, expressa em horas e centésimos de hora;

$$DEC = \frac{\sum_{i=1}^{Cc} DIC}{Cc}$$

onde:

i = índice de unidades consumidoras atendidas em BT ou MT faturadas do conjunto;

C_c = número total de unidades consumidoras faturadas do conjunto no período de apuração, atendidas em BT ou MT.

FEC = frequência equivalente de interrupção por unidade consumidora, expressa em número de interrupções e centésimos do número de interrupções. (ANEEL, 2015b).

$$FEC = \frac{\sum_{i=1}^N C_{ai}}{C_s}$$

onde:

N = número de ocorrências no período estudado;

C_{ai} = número de consumidores atingidos na interrupção “i”;

C_s = número total de consumidores existentes na área em estudo;

T_i = duração da interrupção de suprimento “i” usualmente em minutos;

Em outubro de 2015, a ANEEL aprovou audiência pública Nº 38/2015, atualização para determinar a renovação da concessão referida as concessionárias de energia elétrica do país. Nesta audiência, instituída pelo Decreto nº 8.461/2015, um dos objetivos é, se dentro de 5 anos, franqueados não atingirem as metas anuais para métricas de DEC e FEC por dois anos subsequentes, é prognosticada a extinção da concessão de distribuição de energia elétrica (BRASIL. DECRETO Nº 8.461, 2015).

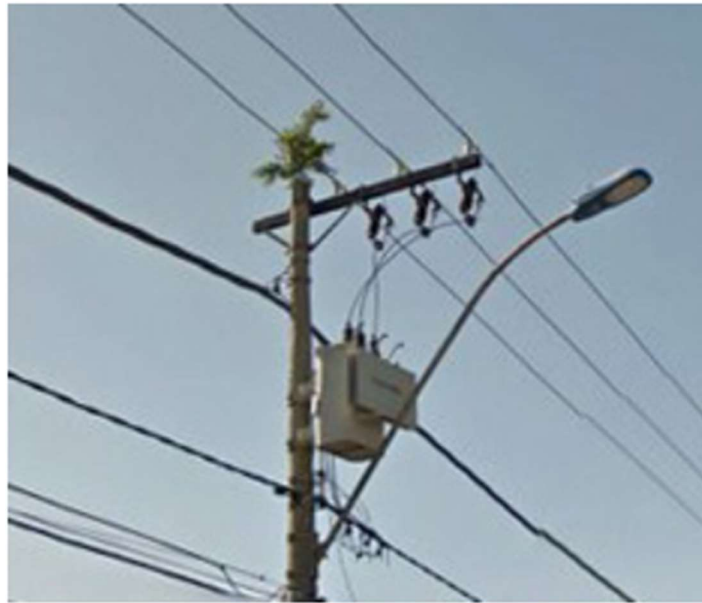
3.1.1 Tipos de Rede de Distribuição

3.1.1.1 Rede de Distribuição Aérea Convencional

A rede de distribuição no Brasil é principalmente aérea no padrão tradicional, utilizando condutores nus de alumínio ou cobre (CELESC, 2012). Buratti (2005) argumenta que as redes convencionais são caracterizadas por condutores não isolados, apoiados em isoladores de porcelana ou vidro, fixados horizontalmente na cruzeta do circuito de média tensão, e vertical em baixa tensão. A Figura 2 mostra a representação da rede aérea convencional.

As redes convencionais possuem baixos fatores de blindagem para descargas atmosféricas e tensões induzidas, ao deixar os condutores expostos, a rede por consequência é mais afetada pelo meio ambiente, resultando em mais interrupções, com isso, requer que sejam realizadas podas regulares das árvores (BURATTI,2005).

Figura 2 -Rede aérea convencional



Fonte: (ADEEL, 2022)

3.1.1.2 Rede de Distribuição Aérea compacta

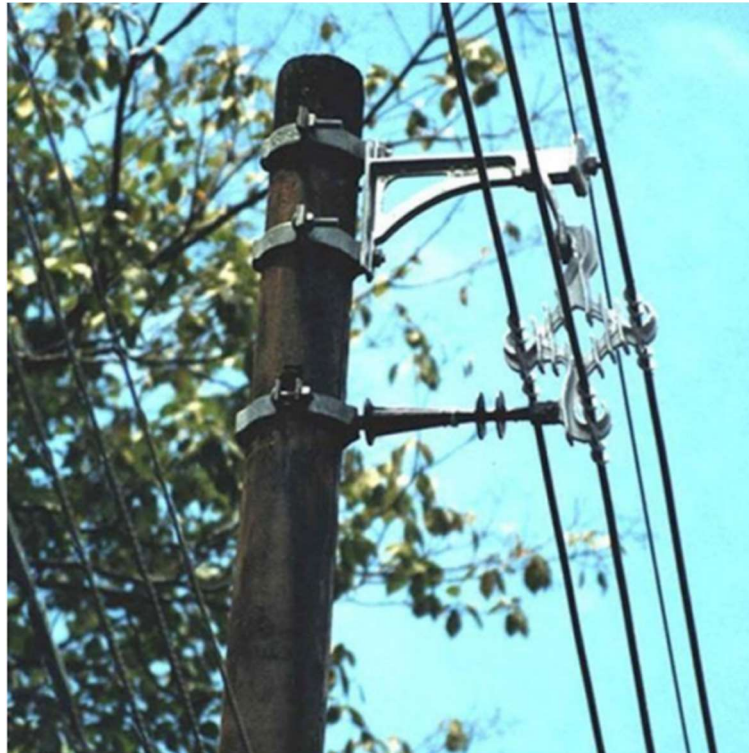
Celesc (2012) argumenta que as redes compactas são as mais utilizadas para construir novos alimentadores em áreas urbanas no Brasil. Ao contrário das redes tradicionais, as redes compactas consistem em condutores protegidos, além do elemento condutor de alumínio, possui uma camada polimérica que protege a rede de distribuição quanto a toques ocasionais, melhorando o índice de confiabilidade em áreas arborizadas (CELESC, 2012).

A rede compacta é muito viável para saídas de subestações e locais em que é necessário mais de um alimentador por poste, visto que a sua construção com circuitos múltiplos economiza espaço no poste, reduzindo os custos na construção da rede, pois possibilita utilizar os dois lados do poste em um espaço vertical reduzido (CELESC, 2012).

Além dos benefícios relacionados ao meio ambiente a rede compacta representada na Figura 3, traz benefícios quanto aos custos de manutenção, tendo em vista que os gastos com equipes para realização das podas diminuirão decorrentes da diminuição da área de possível afetação (CELESC, 2012). Em áreas propensas a falhas por contato acidental, essa vantagem

compensa o maior investimento inicial, pois a rede compacta é mais confiável e possui menores índices de continuidade quanto às redes convencionais (CELESC, 2012).

Figura 3 - Rede aérea compacta



Fonte: (PLP Brasil, 2018)

3.1.1.3 Rede de Distribuição Aérea Isolada

As redes de média tensão isoladas são compostas por três cabos fases, isolados e dispostos em trifólio em torno do cabo mensageiro fabricado com liga de alumínio (Queiroz, 2003).

Segundo Queiroz (2003) a aplicação usual de redes de média tensão multiplexadas são para alimentadores expressos. É uma rede que possui elevado custo tendo como fator principal o custo dos condutores.

A rede multiplexada é blindada e com isso não é afetada por interrupções provocadas por descargas atmosféricas, tensões induzidas e toques ocasionais ou objetos que colidem com a rede, por esses fatores, a

rede possui alto índice de confiabilidade e índices de desligamento baixo (CELESC, 2012).

3.1.1.4 Rede de Distribuição Subterrânea

As redes subterrâneas são as que exigem maior investimento inicial por sua estrutura, porém possuem maior índice de confiabilidade além de apresentarem menores custos de operação e manutenção no decorrer dos anos (CELESC, 2012). Para se tornar viáveis projetos de redes subterrâneas se faz necessário a avaliação da densidade de carga na área, costumeiramente locais que apresentam densidade de carga maior que 10 MVA/km² tendem a retornar o investimento de forma mais rápida que os demais padrões de rede, tendo em vista os baixos custos de operação e pequeno índice de falhas. Locais que apresentam menores densidades também podem ser viáveis economicamente, fazendo-se necessário estudos detalhados e específicos da área (CELESC, 2012). Áreas históricas, onde se deseja a preservação das fachadas das construções, também como áreas turísticas, são exemplos de pontos onde também podem ser aplicadas redes subterrâneas. (CELESC, 2012). A Figura 4 apresenta um exemplo de rede subterrânea.

Figura 4 - rede subterrânea



Fonte: (CELESC, 2017)

3.2 CONCEITO DE FALTAS DE ENERGIA ELÉTRICA

Segundo Cunha e Leme (2010), falta é o termo aplicado para descrever a qualquer fenômeno que ocorra de forma acidental e que implique no impedimento do funcionamento de sistemas ou equipamentos elétricos. As faltas podem ser classificadas em dois tipos, transitórias e permanentes.

As falhas são responsáveis por causarem interrupções, afundamentos de tensão e algumas outras perturbações nos sistemas de distribuição de energia, gerando um impacto significativo na confiabilidade e qualidade da energia (FERREIRA, 2009).

Conforme os estudos apontam cerca de 40% das faltas ocorrem sob influência de condições climáticas desfavoráveis, devido a fatores como descargas atmosféricas e fortes ventos (FERREIRA, 2009).

São mostradas em percentuais na tabela 1, as distribuições de ocorrência das faltas nos sistemas aéreos de distribuição.

Tabela 1 - Percentual das causas da ocorrência de faltas.

Causa da falta	Percentual de ocorrência
Descargas atmosféricas	18%
Contato de árvores	18%
Falha de equipamentos	13%
Animais	8%
Vento	7%
Escavações	3%
Veículos	2,5%
Vandalismo	1%
Outros	29,5%

Fonte: (FERREIRA, 2009)

O fato de os sistemas de distribuição serem compostos por um grande número significativo de ramais monofásicos faz com que pelo menos 80% das faltas envolvam somente uma fase, como as falhas de equipamentos, contato de animais e árvores. Já faltas ocasionadas por fatores como o de descargas atmosféricas tendem a ser bifásicas ou trifásicas (FERREIRA, 2009).

Segue na tabela 2 a distribuição das ocorrências de faltas em relação ao número de fases envolvidas.

Tabela 2 - Percentual de ocorrência por tipo de falta.

Tipo de falta	Percentual de ocorrência
Monofásica ao neutro	63%
Bifásica	11%
Bifásica ao neutro	2%
Trifásica	2%
Monofásica à terra	15%
Bifásica à terra	2%
Trifásica à terra	1%
Outras	4%

Fonte: (FERREIRA, 2009)

3.2.1 Tipos de faltas

3.2.1.1 Faltas transitórias

Faltas Temporárias ou Transitórias – são aquelas que ocorrem sem causar danos permanentes no sistema, o circuito, após a atuação da proteção, se o mesmo possuir um sistema de religamento programado tem o retorno da sua operação em um pequeno espaço de tempo (KINDERMANN, 1997).

O tipo de falta mencionado em questão tem sua maior frequência de ocorrências em sistemas aéreos de distribuição, cerca de 80% e as causas de

suas ocorrências variam de acordo com a posição geográfica da rede (FERREIRA, 2009).

Segundo KINDERMANN (1997) as principais causas responsáveis por causar os defeitos temporários são:

- sobretensão na rede, como consequência há uma ruptura de isolamento do isolador, tornando o sistema propício ao arco elétrico (*flashover*);
- descargas atmosféricas;
- contatos momentâneos entre condutores;
- galhos de árvores, pássaros.
- contaminação do isolador pela poeira e poluição;
- chuva umidade, salinidade, vento, neve;

3.2.1.2 Faltas permanentes

Faltas permanentes ou sustentadas são aquelas que causam danos no sistema de forma permanente, sendo assim necessário a manutenção do sistema ou do ponto afetado. Deste modo, o sistema de proteção presente, elimina a falta, mas gera uma interrupção no sistema de fornecimento de energia para os consumidores presentes no trecho da rede o qual foi afetado, somente após o conserto o sistema será reestabelecido (KINDERMAN, 1997).

Faltas do tipo transitória podem eventualmente se transformar em faltas permanentes, caso não sejam realizadas operações adequadas dos equipamentos de proteção. As principais causas responsáveis por causar defeitos permanentes são (CPLF ENERGIA, 2006):

- queda de uma árvore em cima da linha de distribuição;
- acidentes de trânsito envolvendo postes de energia elétrica;
- atos de vandalismo.

3.3 PROTEÇÃO DAS LINHAS DE DISTRIBUIÇÃO

Os sistemas de distribuição de energia consistem em alimentadores que abastecem cargas em áreas urbanas e/ou rurais. Cada variedade de alimentador tem peculiaridades em relação defeitos que sofre. Os alimentadores urbanos são vulneráveis a acidentes de carro, roubo de cabos, galhos de árvores tocando cabos, pipas etc. Por outro lado, os alimentadores rurais sofrem com outros tipos de defeitos, como por exemplo a queda de galhos e/ou árvores por cima da rede elétrica (MAMEDE & MAMEDE, 2011).

As proteções das linhas aéreas, podem ser distinguidas em dois setores de proteção específicos: o primeiro sendo a proteção das linhas e o segundo a proteção dos equipamentos. A proteção de linha é referenciada como aquela em que os dispositivos de proteção possuem a finalidade de proteger os circuitos primários ou secundários contra sobrecargas ou as correntes de falta e são dimensionados com base nesses fatores, já a proteção de equipamentos é baseada exclusivamente no equipamento, onde busca evitar os danos causados por correntes de curto-circuito, por sobrecargas, ou por descargas atmosféricas (GIGUER, 1988).

3.4 EQUIPAMENTOS DE PROTEÇÃO

A proteção dos sistemas de distribuição de energia elétrica para que tenha um nível significativo em eficiência, se faz necessária a utilização de equipamentos como os dos tipos a seguir: chaves fusíveis, disjuntores, religadores, relés etc. Tendo como objetivo a minimização de qualquer dano provocado ao sistema (MAMEDE & MAMEDE, 2011).

Segundo GIGUER (1988) algumas das principais funções exercidas pelos equipamentos de proteção contra sobrecorrentes e curto-circuito são:

- Interrupção: devem ser capazes de interromper os curtos-circuitos dentro de sua capacidade nominal.
- Detecção: devem ser sensíveis as condições anormais, mas também, devem permitir a circulação contínua das correntes normais.

- Capacidade de manobra: devem ser capazes de manobrar sob correntes normais e anormais.
- Desconexão do circuito: devem ser capazes de realizar a abertura do circuito com ou sem carga.

A seguir serão detalhados alguns tipos de equipamentos de proteção listados abaixo.

3.4.1 Chaves Fusíveis

Chaves fusíveis fazem parte dos equipamentos mais utilizados em proteção de redes de distribuição urbanas e rurais, pelo fato de apresentarem uma economia financeira quando comparada a outros equipamentos, alinhado com o desempenho satisfatório para o nível de proteção aplicada (MAMEDE & MAMEDE, 2011). A chave fusível é dotada de um elemento fusível que responde pelas características básicas de sua operação (MAMEDE FILHO, 2013). A Figura 5 mostra um exemplo de chave-fusível.

Figura 5 - Chave-fusível



Fonte: (MAURIZIO, 2017)

Tendo-se instalado no interior do cartucho pertencente a chave fusível o elo fusível, que é o elemento responsável pela proteção. Ao ocorrer a fusão do elo fusível não implica que haverá interrupção da corrente elétrica do circuito, pelo fato de nos sistemas de média tensão o arco elétrico continua fluindo entre os terminais separados do elo fusível, devido à grande quantidade de íons presentes no ambiente. Para assegurar que de fato ocorra a interrupção da corrente elétrica, o elo fusível possui acoplado um tubinho que cobre seu elemento ativo que, por sua vez ao ser queimado pelo arco, produz uma substância que aquecida libera gases deionizantes, aumentando a atividade de extinção do arco (MAMEDE & MAMEDE, 2011). O cartucho tem a sua pressão interna elevada devido ao aumento da temperatura, o que ajuda a manter o circuito aberto pela abertura das extremidades do cartucho (MOURA, 2010).

3.4.2 Disjuntores

Todos os alimentadores de distribuição devem ser protegidos nas suas origens, ou seja, na saída a subestação. Essa proteção pode ser realizada através de disjuntores de média tensão mostrado na Figura 6, associada a relés de sobrecorrente. Os relés de sobrecorrente responsáveis pelo acionamento dos disjuntores de proteção dos alimentadores necessitam de alguns critérios para que sejam ajustados (MAMEDE & MAMEDE, 2011):

- A tensão nominal do disjuntor deve ser igual ou superior à tensão nominal do sistema;
- A sua capacidade nominal deve ser superior à corrente máxima que possa fluir pelo disjuntor;
- A capacidade de interrupção deve ser igual ou superior à maior corrente de curto-circuito no ponto de instalação do disjuntor;
- O nível de isolamento deve ser compatível com o do sistema.

Figura 6 - Disjuntor de Média Tensão



Fonte: (WEG, 2017)

3.4.3 Relés

Relés são definidos como equipamentos que servem para detectar anomalias na operação do sistema elétrico de potência e realizam medidas corretivas o mais rápido possível, tendo como objetivo reestabelecer o funcionamento normal do sistema. Com isso, a principal funcionalidade dos relés é a finalidade de verificar qual o real problema e gerar ação de maneira automática e rápida, causando o menor impacto possível ao sistema. Os relés de proteção também são equipados com a função auxiliar de indicar a localização e o tipo de falha que ocorreu de forma a melhorar as características de atuação dos próprios relés (SARTORI, 2011). A Figura 7 mostra um exemplo de relé.

Segundo SARTORI (2011) os principais tipos de relés são:

- Relés de Sobrecorrente (funções ANSI 50/51);
- Relés Diferencial (função ANSI 87);
- Relés Direcional (função ANSI 67);
- Relés de Distância (função ANSI 21);

- Relés de Sobretensão (função ANSI 59);
- Relés de Subtensão (função ANSI 27);
- Relés de Religamento (função ANSI 79);
- Relés de Frequência (função ANSI 81).

Figura 7– Relés



Fonte: (Schneider Eletric, 2017)

3.4.4 Religadores

São equipamentos automáticos que realizam a interrupção da corrente elétrica, municiados de uma determinada capacidade de repetição em operações de abertura e fechamento de um circuito, durante a ocorrência de um defeito (MAMEDE & MAMEDE, 2011).

Os religadores possuem ampla aplicação em circuitos de distribuição de redes aéreas presentes nas concessionárias de energia elétrica por serem capazes de diminuir significativamente os defeitos transitórios e reduzir alguns índices de qualidade de energia. São equipamentos que não devem ser aplicados em redes de distribuição subterrâneas e instalações industriais, onde os defeitos em sua maioria são quase sempre de natureza permanente, ao contrário das redes aéreas (MAMEDE & MAMEDE, 2011). A Figura 8 mostra um exemplo de religador automático.

Figura 8 - Religador automático



Fonte: (Noja Power, 2022)

3.5 RELIGADORES MONOFÁSICOS

Os religadores monofásicos são utilizados para proteção de redes de distribuição de energia monofásicas ou ramais monofásicos que derivam de alimentadores trifásicos. No entanto, podem ser utilizados também em circuitos trifásicos aonde as cargas forem predominantemente monofásicas. Sendo assim, na ocorrência de uma falha temporária para a terra, somente a fase com defeito será interrompida, enquanto o fornecimento é mantido para as cargas monofásicas alimentadas pelas fases não defeituosas.

Seu sistema de funcionamento é semelhante ao religador trifásico, porém, seu uso ainda era pouco utilizado devido ao seu elevado custo, não obtendo viabilidade econômica. No entanto, já existem no mercado novos modelos de religadores monofásicos, que visam viabilizar o seu uso na proteção de ramais monofásicos localizados em áreas rurais.

3.5.1 Fusesaver

O *Fusesaver* foi desenvolvido pela *Siemens* para prevenir que falhas transitórias em uma linha de transmissão derivada resultem em paralisações

duradouras em condições de falhas de médias ou baixas correntes. Na Figura 9 mostra-se um religador automático *Fusesaver*.

O *Fusesaver* abre quando uma corrente de falha for detectada. Após o desarme, ele aguarda por um tempo determinado (tempo morto máximo de 30 segundos) e depois fecha automaticamente. Caso a falha no ramal permaneça, o *Fusesaver* abre novamente e assim deixando a(s) fase(s) do ramal com defeito desligada(s) (MAMEDE & MAMEDE, 2011).

Figura 9 - Religador Monofásico Fusesaver



Fonte: (Siemens, 2017)

Principais características do religador monofásico *fusesaver*:

- Interruptor a vácuo;
- Atuador magnético;
- Alavanca externa;
- Montagem em linha, cruzeta ou poste;
- Módulo de comunicações;
- Comunicação sem fio;
- Log de eventos;
- Coordenação com outros dispositivos;

3.5.2 TripSaver

O *TripSaver* é um religador automático monopolar autoalimentado controlado eletronicamente que utiliza a tecnologia de interruptor de carga a vácuo no interior de seu invólucro. Utilizado em redes aéreas de distribuição, principalmente em áreas rurais, nas tensões 13,8kV e 34,5kV, é recomendado para circuitos que frequentemente sofrem interrupções por faltas momentâneas, mantendo o circuito religado, porém em casos de faltas permanentes este equipamento executará a sua abertura definitiva, necessitando a inspeção visual do circuito defeituoso.

O *TripSaver* pode ser configurado para executar até 3 (três) tentativas de religamento automático para casos em que o curto-circuito esteja a jusante do ramal onde este equipamento está instalado. Por se tratar de um religador monopolar, cada equipamento só sente a falta para a fase à qual está conectado, atuando, portanto, de forma individual. Após realizar os ciclos de tentativas de religamento o *TripSaver* executa a operação de abertura permanente e visual, semelhante a uma chave fusível. Neste caso, será necessária a intervenção de um eletricista para realizar a inspeção do circuito com defeito, a manutenção necessária, e posteriormente o rearme do dispositivo (MAMEDE & MAMEDE, 2011). A Figura 10 apresenta um religador *TripSaver*.

Figura 10 - Religador automático monofásico TripSaver



Fonte: (S&C, 2019)

Principais características do religador monofásico *TripSaver*:

- Configurável em centro de serviços. Pode reconfigurar a sequência de operação;
- Pode funcionar como um seccionalizador em um intervalo de correntes de falta;
- Até três operações de religamento antes de desarmar com posição aberta visível;
- Recurso de retenção *inrush* sempre ligado. Não desarmará por perturbações em corrente de *inrush*;
- Excelente coordenação com outros dispositivos;
- Controle do microprocessador alimentado sem necessidade de baterias;
- Elimina interrupções de serviço sustentadas.

4 METODOLOGIA

4.1 MÉTODO DE ABORDAGEM

O método utilizado nesse estudo é caracterizado como de natureza exploratória e a abordagem quantitativa e qualitativa para realização da análise de dados para obtenção dos resultados obtidos. Foram utilizados os conceitos de pesquisa bibliográfica para o embasamento teórico/científico.

O trabalho teve seu estudo desenvolvido com base nos conceitos de qualidade de energia e índices de continuidade abordados no Prodist, especificadamente, no Módulo 8, com a aplicação das regras sobre os dados reais obtidos através de valores adquiridos por meio da empresa na qual é referido o estudo de caso, para a verificação da evolução dos índices de continuidade de serviço.

4.2 TÉCNICAS DE PESQUISA

Segundo Vergara (2004) as pesquisas podem ser classificadas quanto aos fins estabelecidos e quanto aos meios utilizados, considerando que os tipos de pesquisas não são mutuamente excludentes, ou seja, uma pesquisa poderá ser classificada com mais de uma maneira. Com intuito de atingir os objetivos do trabalho e concretizá-lo, o estudo irá abordar uma ampla pesquisa bibliográfica, realizando consultas em livros, artigos, manuais técnicos de equipamentos, dados da empresa, entre outras fontes que tenham a finalidade de contribuir com o embasamento teórico.

4.3 METODOLOGIA APLICADA

A partir dos indicadores apresentados na revisão bibliográfica, normas e tecnologias de religadores será possível avaliar os ganhos ou perdas obtidas por uma concessionária de energia a partir da implantação de religadores monofásicos na rede. Assim, serão analisados os dados reais de operação da rede antes e depois da instalação dos religadores. Com o cruzamento de

informações será possível obter conclusões a respeito da efetividade operacional dos religadores. Para realizar o estudo de caso, o primeiro procedimento realizado foi solicitar à distribuidora a utilização de dados específicos dela, como os índices de continuidade para posterior análise, focando principalmente no índice FEC que nos auxilia na análise em relação a quantidade de interrupções em que os equipamentos atuaram, assim possibilitando uma comparação entre o antes e o depois da instalação do religador monofásico, de caráter preventivo.

Para o estudo da melhoria dos índices de continuidade foram abordados os seguintes critérios:

- Obtenção dos dados da empresa, quantidade de faltas de energias transitórias/permanentes durante 1 ano antes da instalação do religador automático.
- Obtenção dos índices da empresa, FEC para este período.
- Obtenção dos dados da empresa, quantidade de faltas de energias transitórias/permanentes durante 1 ano após a instalação do equipamento na rede.
- Obtenção dos índices da empresa, FEC novamente para comparação dos dados.

5 ESTUDO DE CASO

Com os conhecimentos específicos adquiridos através da revisão bibliográfica, e obtenção dos dados operacionais da empresa, se fez possível realizar o estudo de caso a seguir.

5.1 ESCOLHA DO EQUIPAMENTO.

Para a realização do estudo a escolha do equipamento ocorreu de forma minuciosa, já que é de significativa importância para o desenvolvimento do trabalho.

Foram analisados os equipamentos de religadores automáticos, atualmente instalados na rede de distribuição da ENEL, no Sul do Ceará, foi constatado que alguns possuíam a característica de que os religadores automáticos foram instalados de maneira a realizar a substituição de chaves fusíveis. Com isso, permitindo realizar uma comparação de resultados antes e depois da instalação dos equipamentos de religação.

Conforme mencionado anteriormente no referencial teórico, chaves fusíveis são dispositivos que tem sua atuação de forma súbita e necessitam de manutenção presencial, não sendo capaz de realizar a diferenciação de faltas de energia transitórias de faltas de energia permanentes.

Nos religadores monofásicos automáticos está presente a característica de reverter condições de falta por motivo transitório. Possibilitando assim, possivelmente o decréscimo do número de faltas de energia.

Para a realização do estudo foram escolhidos dois religadores monofásicos:

O primeiro no modelo *Fusesaver*, ICL5872 (Código adotado pela empresa para identificar o religador), o qual está inserido no final do alimentador BRJ01S1 (Código adotado pela empresa para identificar o alimentador), que inicia na subestação de distribuição de (69-13.8) kV, localizada no município de Brejo Santo – CE, o alimentador mostrado na Figura 11, atende os municípios de Brejo Santo, Jati e Penaforte, somando um total de clientes atendidos de aproximadamente 11917 clientes, ao longo de 679 km de rede de distribuição.

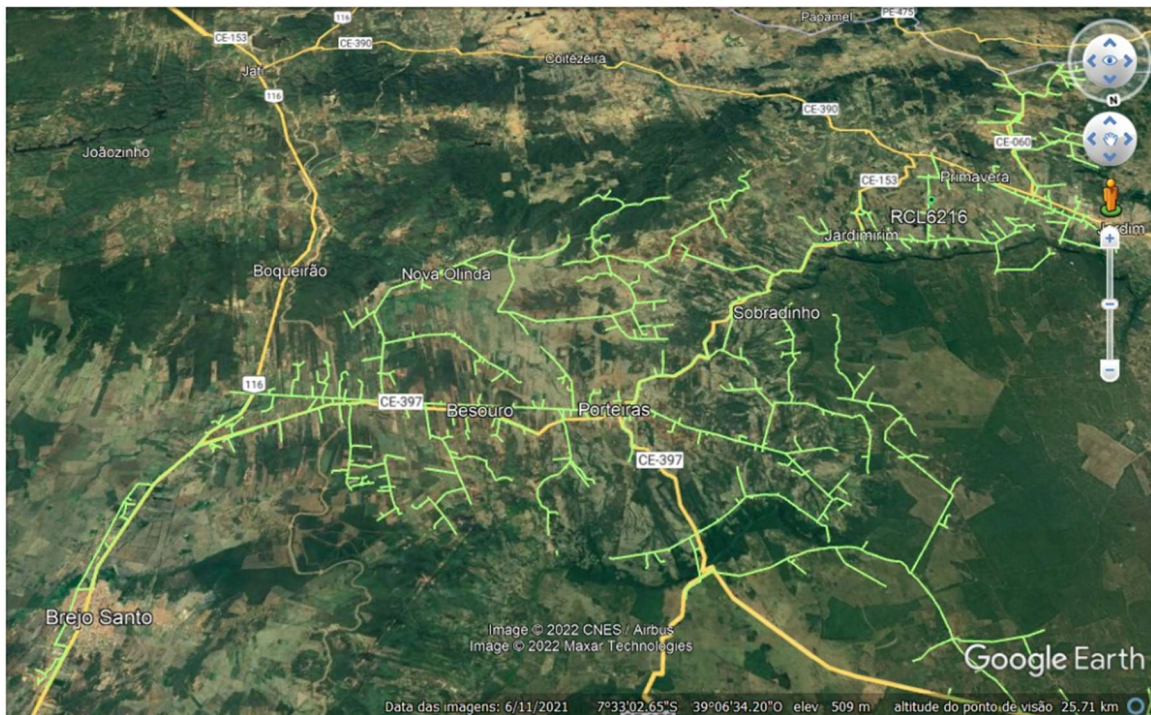
Figura 11 - Alimentador BRJ01S1



Fonte: (Enel)

O segundo no modelo *TripSaver*, RCL6216 (Código adotado pela empresa para identificar o religador), o qual está inserido ao longo do alimentador BRJ01S2 (Código adotado pela empresa para identificar o alimentador), que inicia na subestação de distribuição de (69 - 13.8) kV, localizada no município de Brejo Santo - CE, o alimentador mostrado na Figura 12, atende os municípios de Brejo Santo, Porteiras e Jardim, somando um total de clientes atendidos de aproximadamente 11557 clientes, ao longo de 380 km de rede de distribuição.

Figura 12 - Alimentador BRJ01S2



Fonte: (Enel)

5.1.1 Características do religador monofásico *Fusesaver* ICL5872

O religador estudado possui as seguintes especificações; sendo os critérios de tensão nominal e corrente nominal fornecido pela fabricante *SIEMENS*.

- Tensão nominal 15.5 kV;
- Corrente nominal 100 A;
- Atende cerca de 60 clientes;
- Instalado no dia 05/10/2020.

A Figura 13 mostra o religador monofásico *Fusesaver* ICL5872 instalado em campo.

Figura 13 -Religador monofásico Fusesaver ICL5872 instalado em campo



Fonte: (Autoria própria)

5.1.2 Características do Religador monofásico *TripSaver* RCL6216

O religador estudado possui as seguintes especificações; sendo os critérios de tensão nominal e corrente nominal fornecido pela fabricante S&C.

- Tensão nominal 15 kV;
- Corrente nominal 40 a 200 A;
- Atende cerca de 45 clientes;
- Instalado no dia 20/05/2020.

A Figura 14 mostra o religador monofásico *TripSaver* RLC6216 instalado em campo.

Figura 14 - Religador monofásico TripSaver RCL6216 instalado em campo



Fonte: (Autoria própria)

5.2 AQUISIÇÃO DOS DADOS

Os dados foram obtidos para os religadores monofásicos *Fusesaver* e *TripSaver* no período pré-determinado de um ano antes da substituição da chave fusível pelo religador e um ano após a substituição e o religador estar conectado e operando na rede. Esses valores foram obtidos através do software gcore sde, fornecido pela Endesa, seguindo a sequência de campos: (Utilitários – Relatórios – Extrator de Incidências), utilizado pela empresa ENEL, com a existência de armazenamento dos registros de interrupções, mostrado na Figura 15.

Figura 15 – gcore sde



Fonte: (Enel)

5.2.1 Dados antes da instalação dos Religadores

5.2.1.1 Chave fusível a qual foi substituída pelo religador monofásico Fusesaver ICL5872

Para o período de análise compreendido entre 05/10/2019 até 05/10/2020, a tabela 3 a seguir, apresenta os eventos ocorridos.

Tabela 3 - Faltas de energia no período antes da instalação do religador Fusesaver

INTERRUPÇÕES	DATA	CAUSA	NÚMERO DE CLIENTES AFETADOS
1°	27/03/2020	DESCARGAS ATMOSFÉRICAS	57
2°	21/04/2020	VEGETAÇÃO	57
3°	10/06/2020	VEGETAÇÃO	56
4°	25/06/2020	DESCARGAS ATMOSFÉRICAS	56
5°	21/07/2020	PÁSSARO	57

Fonte: (Autoria própria)

5.2.1.2 Chave fusível a qual foi substituída pelo religador monofásico *TripSaver* RCL6216

Para o período de análise compreendido entre 20/05/2019 até 20/05/2020, a tabela 4 a seguir, apresenta os eventos ocorridos.

Tabela 4 - Faltas de energia no período antes da instalação do religador TripSaver

INTERRUPÇÕES	DATA	CAUSA	NÚMERO DE CLIENTES AFETADOS
1°	13/09/2019	VEGETAÇÃO	41
2°	20/09/2019	DESCARGAS ATMOSFÉRICAS	41
3°	16/11/2019	PÁSSARO	40
4°	25/11/2019	DESCARGAS ATMOSFÉRICAS	40
5°	26/12/2019	CONDUTOR TRANÇADO	40
6°	02/05/2020	PÁSSARO	37
7°	06/05/2020	DESCARGAS ATMOSFÉRICAS	37

Fonte: (Autoria própria)

5.2.2 Dados depois da instalação dos Religadores

5.2.2.1 Religador monofásico *Fusesaver* ICL5872

Para o período de análise compreendido entre 05/10/2020 até 05/10/2021, a tabela 5 a seguir, apresenta os eventos ocorridos.

Tabela 5 - Faltas de energia no período depois da instalação do religador Fusesaver

INTERRUPÇÕES	DATA	CAUSA	NÚMERO DE CLIENTES AFETADOS
1°	30/06/2021	VEGETAÇÃO	60

Fonte: (Autoria própria)

5.2.2.2 Religador monofásico *TripSaver* RCL6216

Para o período de análise compreendido entre 20/05/2020 até 20/05/2021, a tabela 6 a seguir, apresenta os eventos ocorridos.

Tabela 6 - Faltas de energia no período depois da instalação do religador TripSaver

INTERRUPÇÕES	DATA	CAUSA	NÚMERO DE CLIENTES AFETADOS
0°			0

Fonte: Autoria própria

5.3 OBTENÇÃO / DIMENSIONAMENTO DOS INDICADORES

Para realizar a apuração dos resultados obtidos com a implantação do religador, foi realizado observações em suas operações e calculado os indicadores correspondentes.

5.3.1 Dimensionamento FEC, antes da instalação dos religadores monofásicos

5.3.1.1 FEC Chave fusível a qual foi substituída pelo religador monofásico Fusesaver ICL5872

$$FEC = \frac{57 + 57 + 56 + 56 + 57}{60}$$

$$FEC = 4.716$$

O valor de FEC encontrado 4.716 indica a quantidade de vezes, em média, que houve interrupções nas unidades consumidoras, sendo um valor adimensional.

5.3.1.2 FEC Chave fusível a qual foi substituída pelo religador monofásico TripSaver RCL6216

$$FEC = \frac{41 + 41 + 40 + 40 + 40 + 37 + 37}{45}$$

$$FEC = 6.133$$

O valor de FEC encontrado 6.133 indica a quantidade de vezes, em média, que houve interrupções nas unidades consumidoras, sendo um valor adimensional.

5.3.2 Dimensionamento FEC, depois da instalação dos religadores monofásicos

5.3.2.1 FEC Religador monofásico *Fusesaver* ICL5872

$$FEC = \frac{60}{60}$$

$$FEC = 1,0$$

O valor de FEC encontrado 1,0 indica a quantidade de vezes, em média, que houve interrupções nas unidades consumidoras, sendo um valor adimensional.

5.3.2.2 FEC Religador monofásico *TripSaver* RCL6216

$$FEC = 0$$

Não houve interrupções após a instalação do religador monofásico *TripSaver*.

6 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

O trabalho realizado teve como base um cenário em que existiam registros de interrupções caracterizadas como faltas transitórias, que evoluíram para faltas permanentes, ocorridas nas linhas de distribuição do Estado do Ceará, na região Sul do estado, as quais são de responsabilidade da operação e da manutenção da ENEL.

Foi utilizada a metodologia de pesquisa quantitativa e qualitativa por meio da obtenção dos dados de interrupções, do referencial teórico, conceitos básicos sobre rede de distribuição, regulamentação e indicadores de continuidade. Garantindo uma maior assimilação do assunto, tendo em vista que esta é uma área de extrema importância para o bom funcionamento do sistema elétrico, garantindo confiabilidade. Acrescentando que, foram utilizadas as referências normativas da operação de rede de distribuição de energia elétrica e indicadores de continuidade da rede que são controlados e fiscalizados pela Aneel.

Os limites dos indicadores de continuidade DEC e FEC a serem observados pelas distribuidoras estão definidos em resolução específica da Aneel. Esses indicadores são revistos na Revisão Tarifária Periódica (RTP) referente a cada distribuidora, que em média ocorre a cada quatro anos, e tem se tornado cada vez mais rigoroso, a fim de melhorar a qualidade do serviço oferecido e prestado ao cliente (ANEEL, 2017).

Quanto ao presente trabalho desenvolvido, o problema inicial analisado foi realizar um estudo em que comprovasse a melhoria dos indicadores de continuidade após a instalação de um equipamento de religação na rede, principalmente quando instalado em substituição a uma chave fusível, sendo possível mensurar a diferença. Essa comparação pode ser realizada a partir do levantamento da quantidade de interrupções registradas e análise dos indicadores de continuidade da Aneel.

Ao implementar um religador telecomandado é possível operá-lo à distância e nas suas intervenções, em faltas parciais, pode gerar uma economia de tempo significativa na efetiva recuperação da rede elétrica para o

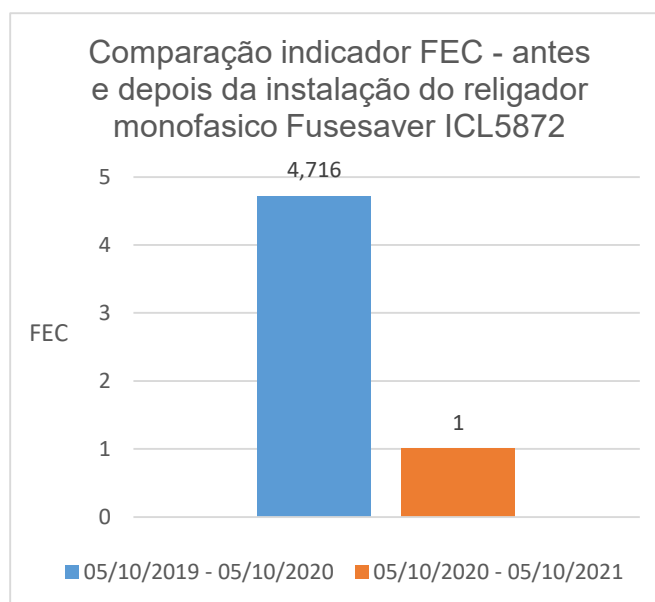
cliente, ao evitar o acionamento e o deslocamento das equipes de manutenção para o local.

O número de interrupções registradas no período de um ano anterior à instalação dos religadores na rede de distribuição obtidas através do software gcore sde, utilizado pela concessionária, foi superior ao número de interrupções registradas no ano posterior a instalação dos religadores.

Diante dos fatos, o trabalho teve definido como objetivo principal avaliar o desempenho dos religadores monofásicos *Fusesaver* e *TripSaver* após serem inseridos na rede de distribuição, comparando os indicadores de continuidade coletivos, com foco principal para o FEC, anteriormente e posteriormente à instalação dos novos equipamentos de proteção na rede.

O gráfico 1, mostra a comparação do indicador de continuidade FEC, anteriormente e posteriormente a instalação do religador monofásico *Fusesaver* ICL5872.

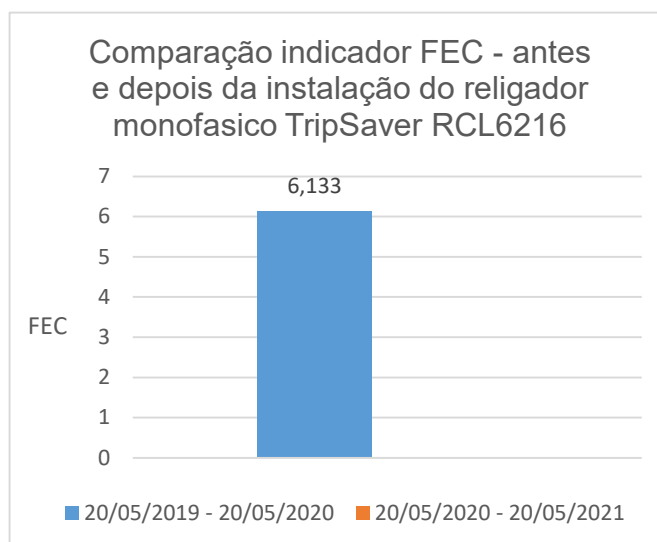
Gráfico 1 - Indicador FEC antes e após a instalação do religador monofásico Fusesaver.



Fonte: (Autoria própria)

O gráfico 2, mostra a comparação do indicador de continuidade FEC, anteriormente e posteriormente a instalação do religador monofásico *TripSaver* RCL6216.

Gráfico 2 - Indicador FEC antes e após a instalação do religador monofásico TripSaver.



Fonte: (Autoria própria)

Analisando e comparando os valores obtidos nos cálculos e nos gráficos 1 e 2 pode-se constatar a melhoria dos indicadores FEC para a concessionária, após a substituição da chave fusível pelos religadores automáticos *Fusesaver* e *TripSaver*.

7 CONCLUSÃO

Este trabalho teve definido como objetivo principal constatar a melhoria nos indicadores de continuidades com foco principal para o FEC, por meio da substituição de chaves fusíveis por religadores automáticos *Fusesaver* e *TripSaver* na rede de distribuição. A metodologia foi baseada no Prodist (Procedimentos de Distribuição) definidos pela Agência Nacional de Energia Elétrica, pelas suas especificações e procedimentos às concessionárias de distribuição de energia que são regulamentadas e fiscalizadas, incluindo nesse contexto os indicadores de continuidade de serviço.

Foram apresentados alguns ganhos da utilização dos religadores monofásicos que estão relacionados à redução de perdas de energia, monitoramento e até operação remota da rede de transmissão e distribuição.

Diante dos dados apresentados e comparações realizadas para o indicador de continuidade FEC, nos períodos anteriores e posteriores as instalações do religadores monofásicos *Fusesaver* e *TripSaver*, pode-se concluir que o trabalho teve seu objetivo principal alcançado, tendo em vista que os índices apresentados para os períodos posteriores a instalação dos religadores, obtiveram resultados significativamente melhores do que quando comparados aos períodos antes da instalação dos religadores. Os dados para realização deste estudo foram fornecidos pela ENEL e os cálculos para mensurar os indicadores foram obtidos pelas equações presentes no Prodist.

O estudo foi realizado com base seu objetivo principal, porém foram observados temas correlatos que, não foram abordados no presente trabalho, mas que podem vir a ser temas de pesquisas futuras como o exemplo a seguir:

- A relação entre o valor investido para a instalação e automatização do religador e os custos relacionados ao deslocamento das equipes de atendimento, para as possíveis ocorrências no período definido pelo estudo, o tempo gasto para realização do deslocamento tendo em vista que a equipe poderia estar desempenhando outras atividades durante esse tempo, incluindo as possíveis penalidades financeiras aplicadas devido a não permanecer dentro dos limites dos indicadores definidos pela Aneel.

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRADEE. (2022). ABRADDE. Acesso em 14 de abril de 2022, disponível em Associação Brasileira de Distribuidores de Energia Elétrica: www.abradee.com.br/setor-eletrico/redes-de-energia-eletrica

ADEEL. Rede de Distribuição Aérea Convencional. Disponível em: https://www.adeel.com.br/rede-compacta-vsconvencional/?fb_comment_id=1184439501670936_1315564428558442. Acesso em: 27 de abril de 2022.

ANEEL. Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional – PRODIST. Módulo 8 – Qualidade de Energia Elétrica. Revisão 8. 2022.

ANEEL. Regulação dos Serviços de Distribuição. 2017. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/regulacao-da-distribuicao>. Acesso em 07 de abril de 2022.

AZEVEDO, Fernando de Araújo. Otimização de Rede de Distribuição de Energia Elétrica Subterrânea Reticulada Através de Algoritmos Genéticos. Curitiba, 2010.

BRASIL. DECRETO Nº 8.461, DE 2 DE JUNHO DE 2015. Disponível em: <https://presrepublica.jusbrasil.com.br/legislacao/194595780/decreto-8461-15>. Acesso em: 26 de março de 2022.

BURATTI, R. P. (2005). Alternativas Para Diminuição dos Índices em um Sistema de Distribuição Real. Ijuí.

CELESC DISTRIBUIÇÃO. (06 de dezembro de 2012). Sistemas de Desenvolvimento de Sistemas de Distribuição e Subsistema Normas e Estudos de Materiais e Equipamentos de Distribuição. Manual de Procedimentos.

CPLF ENERGIA. Norma Técnica: Proteção de Redes Aéreas de Distribuição – Sobrecorrente, de 25 de setembro de 2006.

FERREIRA, Gustavo Dorneles. Otimização da Confiabilidade de Sistemas de Distribuição de Energia Elétrica. Santa Maria-RS, 2009.

FILHO, J. M. e MAMEDE, D. R. Proteção de Sistemas Elétricos de Potência. LTC, 2011.

FILHO, J. M. Manual de equipamentos elétricos. 4. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2013.

KINDERMANN, Geraldo. Curto-Circuito. 2. ed. Porto Alegre-RS, 1997.

LEME, D. M.; CUNHA, M. A.; PITOCCHO, T. A.; RIZZARDI, W. C. Sistemas de Proteção de Rede de Distribuição de Energia Elétrica. Itatiba, 2013.

MALAGUIAS, Luciano. Proteção de Sistemas Elétricos – Aula 9. UNIJUÍ, 2017.

NOJA Power, Religadores Monofásicos de Distribuição. Disponível em: <https://www.nojapower.com.br/produtos/reliador-monofasico.html>. Acesso em 28 de abril de 2022.

PLP Brasil. (2022). Acesso em 14 de abril de 2022, disponível em PLP Brasil, A conexão que você pode confiar: <http://seusiteincrivel.com.br/plpdev/energia/distribuicao/rede-compacta/>

QUEIROZ, L. G. (2003). Análise Regulatória de Alternativas para Distribuição de Energia Elétrica na Rede Primária em Áreas Urbanas. Dissertação de Mestrado, Universidade de Salvador, Salvador.

SARTORI, Renan. Proteção e Seletividade de Sistemas Elétricos. Porto Alegre, 2011.

S&C Electric Company, Religador Monofásico TripSaver II. Disponível em: <https://www.sandc.com/pt/produtos-e-servicos/produtos/religador-montado-emchave-fusivel-tripsaver-ii/>. Acesso em 01 de maio de 2022.

SIEMENS, Fusesaver – Equipamento de Média Tensão, Catálogo. Disponível em: http://w3.siemens.com/powerdistribution/global/DE/mv/freiluftmittelspannungsgeraete/fusesaver/Documents/HG_11_43_Fusesaver_PT.pdf. Acesso em 01 de maio de 2022.

VERGARA, S.C. (2004). Projetos e Relatorios de Pesquisa em Administração. São Paulo: Atlas.

WEG, Disjuntor de Média Tensão. Disponível em: [http://old.weg.net/br/Produtos-eServicos/Controls/Protecao-de-Circuitos-Eletricos/Disjuntor-a-Vacuo-de-Media Tensao-VBW](http://old.weg.net/br/Produtos-eServicos/Controls/Protecao-de-Circuitos-Eletricos/Disjuntor-a-Vacuo-de-Media-Tensao-VBW). Acesso em 14 de abril de 2022.