

Utilização de religadores monofásicos em redes de distribuição de energia elétrica e impactos nos indicadores de continuidade da Celesc

Glaicon Exterkoetter, Matheus Rosendo Cesconeto e Luis Fernando Ferreira de Campos

Resumo – A automação da rede de distribuição de energia elétrica tem estado em foco nos últimos anos com a implementação de equipamentos inteligentes a fim de diminuir a duração de interrupção no sistema elétrico e isolar falhas permanentes, e assim, deixar o maior número possível de consumidores ligados à rede conforme normativa sobre Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica referente qualidade do serviço, em especial a Duração Equivalente de Interrupção por Unidade Consumidora (DEC) e Frequência Equivalente de Interrupção por Unidade Consumidora (FEC). Em regiões mais distantes dos grandes centros os religadores automáticos são de grande ajuda para maior dinamismo do sistema elétrico, fornecendo maior controle e manobrabilidade da rede em caso de faltas. Este trabalho avalia financeiramente a implementação de religadores monofásicos na rede de distribuição da Celesc, principalmente em termos de custos operação e melhora nos indicadores DEC e FEC em cerca de 67% e 38%, respectivamente.

Palavras-chave – Automação. Energia Elétrica. Indicadores. Manobra de rede elétrica. Religadores.

Abstract - The automation of electric energy distribution network has been in evidence in last year with implementation of equipment capable of diminish the interruption time in the electrical system and isolate permanent fault, keeping most of the consumers connected to the network according to Electrical Energy Distribution Procedures referent of quality of service, in special System Average Interruption Duration Index (SAIDI) and System Average Interruption Frequency Index (SAIFI). In farthest regions of major cities, the automatic reclosers are in great help for greater dynamism of the electrical system, providing greater control and maneuverability of the network in case of faults. This paper evaluates the implementation of single-phase reclosers in Celesc's distribution network, mainly in terms of operating costs and financially return of investment and improvement on SAIDI and SAIFI about 67% and 38%, respectively.

Keywords – Automation, Electrical Energy, Index, Maneuverability, Reclosers.

I. INTRODUÇÃO

O setor elétrico brasileiro é regulado e fiscalizado pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), que está

vinculada ao Ministério de Minas e Energia e foi criada por meio da Lei nº9.427/1996 e do decreto nº2.335/1997 [1].

A ANEEL através de leilões faz a contratação das concessões com as empresas prestadoras de serviços de transmissão e distribuição de energia. Nos contratos estão estabelecidas regras a respeito da tarifa, regularidade, continuidade, segurança, atualidade e qualidade dos serviços e do atendimento realizado aos consumidores assim como as penalidades para os casos de que forem constatadas irregularidades pela fiscalização da ANEEL [2].

Os indicadores das atividades técnicas relacionados ao funcionamento e ao desempenho dos sistemas de distribuição de energia estão descritos no Procedimento de Distribuição (PRODIST), o qual é dividido em onze módulos que abrangem as macros áreas de ações técnicas dos agentes de distribuição. Para a esse estudo será utilizado principalmente o conteúdo apresentado no módulo oito (qualidade de energia) do documento.

Os principais indicadores para a avaliação das distribuidoras estão a qualidade dos serviços e do produto oferecido aos consumidores estando esses expressos no módulo supracitado. A qualidade do produto avalia a conformidade de tensão em regime permanente e as perturbações na forma de onda de tensão. A qualidade da prestação dos serviços compreende a avaliação das interrupções no fornecimento de energia elétrica. Destacando os indicadores de continuidade individual Duração de Interrupção Individual por unidade consumidora (DIC), Frequência de Interrupção Individual por unidade consumidora (FIC) e Duração Máxima de Interrupção contínua por unidade consumidora (DMIC) e os indicadores coletivos DEC e FEC [3].

As concessionárias de energia elétrica, geradores e distribuidores, acompanham e avaliam as interrupções de seus sistemas para se orientarem no planejamento estratégico, objetivando melhorar a qualidade de fornecimento de energia a seus clientes [4]. As estatísticas mostram que falhas de origem naturais são as mais comuns no sistema elétrico brasileiro, como aponta a Tabela 1:

Tabela 1 - Estatísticas das interrupções

EVENTOS	PERCENTUAL
---------	------------

Este trabalho foi desenvolvido como requisito parcial para a conclusão do curso de Pós-Graduação em Sistemas de Transmissão e Distribuição de Energia Elétrica da Universidade do Sul de Santa Catarina – UNISUL. 2021.

G. Exterkoetter é graduado em Engenharia Elétrica – Universidade do Sul de Santa Catarina – UNISUL e acadêmico do curso de Pós-Graduação em Sistemas de Transmissão e Distribuição de Energia Elétrica da Universidade do Sul de Santa Catarina – UNISUL (e-mail: glaicon_@hotmail.com).

M.R.Cesconeto é graduado em Engenharia Elétrica – Universidade do Sul de Santa Catarina – UNISUL e acadêmico do curso de Pós-Graduação em Sistemas de Transmissão e Distribuição de Energia Elétrica da Universidade do Sul de Santa Catarina – UNISUL (e-mail: mrcesconeto@gmail.com).

L.F. F. de Campos é mestre em Engenharia Elétrica – Universidade Estadual de Santa Catarina – UDESC e professor titular na Universidade do Sul de Santa Catarina – UNISUL (e-mail: luis.campos1@unisul.br).

Fenômenos naturais	48%
Falhas em materiais e equipamentos	12%
Falhas humanas	9%
Falhas diversas	9%
Falhas operacionais	8%
Falhas na proteção e medição	4%
Objetos estranhos sobre a rede	4%
Condições ambientais	6%

Fonte: Elaboração dos autores, com dados de Mamede [4].

Existe ainda um tipo de interrupção chamado defeito fugitivo. Esta falta corresponde à uma falta monofásica à terra de curto tempo, que pode ser uma árvore tocando os condutores durante uma rajada de vento moderada. Cerca de 80% do total das interrupções são classificadas como fugitivas [4]. Com a redução anualmente dos indicadores firmados nos contratos de concessão, tornam ainda mais necessários os investimentos constantes das concessionárias em novos tipos de equipamentos e estruturas de redes voltadas a redes inteligentes (*smart grid*) a fim de minimizar as interrupções de energia elétrica em sua área de concessão.

Um dos métodos mais utilizados para proteção contra faltas é o uso de religadores em determinados pontos do sistema. Seu funcionamento é simples: quando o religador percebe a corrente de curto-circuito proveniente de qualquer um dos casos da Tabela 1, o equipamento abre seus contatos, respeitando a curva de atuação previamente configurada. Uma vez aberto, o religador fecha após um tempo pré-determinado e se a falta permanecer, ele abre novamente realizando este ciclo por até 3 vezes. Na quarta vez, se o problema persistir, permanece aberto. Caso a falta tenha sido breve, o religador se fecha e mantém neste estado.

Na apuração dos indicadores necessários para os cálculos de DEC e FEC, não são contabilizados períodos de até 3 (três) minutos necessários para o religamento automático do sistema [5]. Por isso, faz-se necessário meios para que o sistema seja reestabelecido o mais rápido possível sem prejuízo aos indicadores de qualidade de energia. Os valores limites anuais dos indicadores de continuidade dos conjuntos de unidades consumidoras são disponibilizados em audiência pública, de acordo com a periodicidade da revisão tarifária da distribuidora [5].

O investimento em automação e proteção da rede elétrica se mostra essencial para que os indicadores sejam cumpridos, tornando o sistema mais dinâmico e confiável. Diante disso esse artigo propõe um estudo de caso realizado em ramal de distribuição localizado em Garopaba, Santa Catarina dentro da área de concessão da Centrais Elétricas de Santa Catarina (CELESC) onde se foi feita instalação de religadores automáticos monofásicos.

II. DESENVOLVIMENTO DO ESTUDO

Por se tratar de equipamentos já implementados no sistema de distribuição e de comprovada eficácia operacional, o caráter da pesquisa se dará em análise quantitativa no qual os dados recebidos serão contabilizados para a duração de interrupção, quantidade de vezes e natureza da interrupção

(transitória ou permanente). Os resultados obtidos refletem no indicador de continuidade da concessionária, sendo de responsabilidade da ANEEL estabelecer metas a serem respeitadas por todas as concessionárias e permissionárias do país.

Verifica-se a efetividade do equipamento no local instalado e quão ágil foi a sua atuação frente às faltas. Em faltas temporárias, o equipamento deve ser capaz de religar o sistema respeitando suas curvas previamente configuradas para o local em que foi instalado, evitando o deslocamento de equipes de emergência e reestabelecendo o sistema de forma mais ágil.

O período de análise dos dados será do dia da instalação dos religadores 05/03/2020 até dia da coleta de dados 05/08/2021 Devido à limitação do *software* do religador que permite o armazenamento das últimas 25 atuações se faz necessário o tratamento dos dados coletados filtrando as ocorrências que efetivamente resultaria em deslocamento de equipes de manutenção e faz-se uma aproximação com base nas últimas ocorrências da média de quantidade de expurgos realizados na contagem das interrupções, fazendo essa aplicação para todo o período Assim, o resultado financeiro obtido pode ser considerado conservador.

Quanto ao resultado técnico operacional, o departamento de pós-operação da Celesc utilizou-se do *software Microsoft Power BI* em conjunto com o sistema interligado de ocorrências para compilar os dados e apresentá-los posteriormente.

III. CARACTERÍSTICA DA REDE

A rede escolhida deve ser uma que historicamente apresenta problemas transitórios e que deslocar uma equipe até a chave fusível aberta demanda um tempo razoável, prejudicando o DEC e FEC. Mesmo com o planejamento de equipes de poda para as áreas de maior vegetação, faltas temporárias continuam a acontecer não só por vegetação, mas também por aves e descargas atmosféricas.

A proteção utilizada para ramais de alimentadores nessas características são elos fusíveis de acordo com a corrente do ramal em questão, seguindo a filosofia de elos fusíveis de expulsão. Uma vez que a falta acontece, o elo fusível utilizado protege a rede elétrica rompendo-se, assim se perde a possibilidade de religação automática caso tenha sido uma falha momentânea. O uso do religador no lugar do elo fusível gera a possibilidade da reativação da rede em 3 tentativas. Caso o sistema não se reestabeleça, a falta é consolidada e o deslocamento de uma equipe se torna inevitável.

As redes de escolha encontram-se distantes da loja de atendimento da Celesc, fazendo com que o atendimento aos consumidores destes ramais seja mais demorado. Os dois ramais são em áreas litorâneas e com vegetação nativa. Dois conjuntos de religadores monofásicos foram instalados protegendo a praia do Siriu (equipamento 89011) e Areias do Macacu (equipamento 89018).

IV. INSTALAÇÃO E CONFIGURAÇÃO

O equipamento escolhido para o estudo foi o Religador Montado em Chave Fusível *TripSaver® II*, da *S&C Eletic Company*. O religador deve proteger tanto para faltas trifásicas como monofásicas. Quanto à última, deve apenas “abrir”

a fase em que foi percebido a falta enquanto as outras permanecem em funcionamento, e assim, reduzindo a quantidade de consumidores sem energia elétrica. A figura 1 mostra o religador na chave fusível.

Figura 1 - *TripSaver*® em chave fusível



Fonte: *S&C Eletric Company* (2021).

A. Manuseio

Uma equipe de linha viva foi utilizada para a instalação desses equipamentos, uma vez que eles possuem meios de trabalho com rede elétrica energizada.

Quanto a operação, é possível realizar com alguns cuidados. A abertura do ramal protegido pelo *TripSaver*® deve ser feito ou abrindo o religador e baixando-o da chave fusível (fazendo assim, um “corte” visível na rede) ou abrindo diretamente com um dispositivo de abertura sob carga instalado na ponta da vara de manobra.

B. Configuração

A configuração dos parâmetros se dá via *software* e a comunicação com o equipamento é feito por *bluetooth* com adaptador proprietário da S&C. No *software* é possível configurar a curva desejada, quantidade de religamentos antes da abertura definitiva, entre outros ajustes.

Antes da instalação, é feito um estudo de proteção para ordenação e seletividade das proteções do equipamento e equipamentos à montante e jusante. A ideia é que o equipamento consiga proteger até o final do circuito. Para isso, utiliza-se o último transformador do circuito. Utilizando um *software* específico para estudos de proteção, a Figura 2 mostra o diagrama unifilar de proteção de um dos religadores com a corrente de curto-circuito em cada ponto para uma impedância de falta de 40 ohms.

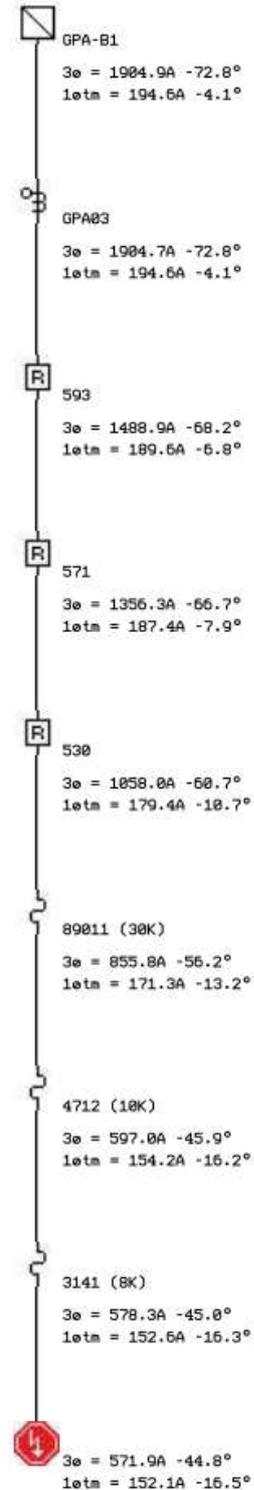
Na localidade escolhida, o *TripSaver*® deve se comportar como um elo fusível de 30K, coordenado com as proteções já existentes.

Como em qualquer religador, é traçado o coordenograma para as curvas de proteção de fase e de neutro. Pela localidade e proximidade, ambos os equipamentos terão o mesmo coordenograma e diagrama unifilar. As figuras Figura 3 e Figura 4 mostram os coordenogramas de um dos religadores monofásicos para curva de fase e neutro, respectivamente. As

correntes de curto-circuito e proteções são em relação ao último transformador do ramal.

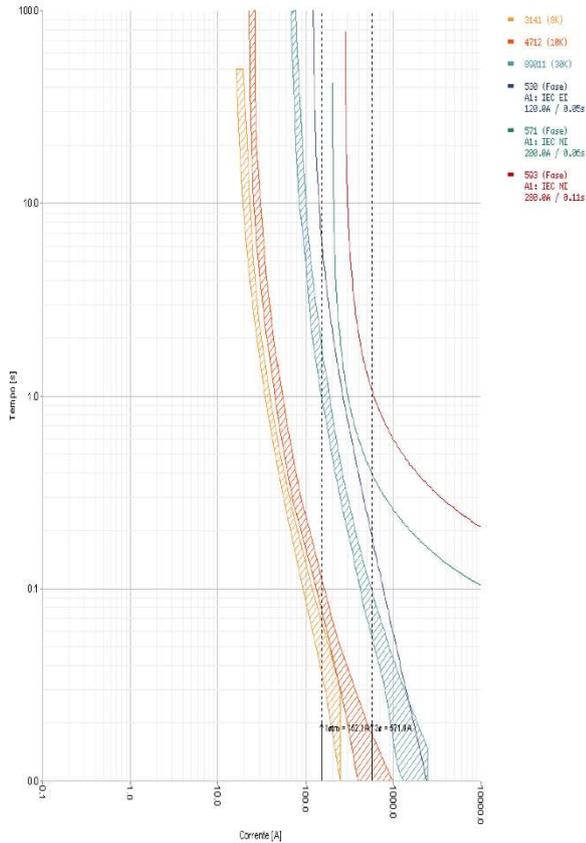
Caso haja necessidade de modificar a curva dos religadores monofásicos para um elo superior a 30K, não haverá coordenação com as proteções existentes. Para isso, um novo estudo para implementação de curvas específicas será feito.

Figura 2 - Diagrama Unifilar de Proteção



Fonte: Elaboração dos autores (2021).

Figura 3 - Coordenograma de fase
 Fonte: Elaboração dos autores (2021).



Exemplificando o que é mostrado nas Figuras 2 e 3, uma possível falta à terra no final do ramal seguirá o traçado pontilhado até a curva do elo de 8K (em alaranjado), abrindo-o. Caso a falha seja de origem trifásica o elo a romper será o de 10K (vermelho). Se o curto-circuito for muito intenso e dependendo do estado de conservação do elo fusível a jusante da *TripSaver*®, os elos poderão não abrir e o equipamento (curva de 30K em azul) perceberá a falta realizando o procedimento de abertura conforme configurado protegendo os consumidores à montante, diminuindo a quantidade de consumidores sem energia.

V. AQUISIÇÃO E ANÁLISE DOS DADOS

A coleta de dados se dá em campo, conectando via comunicação *bluetooth* com o *TripSaver*® e verificando o histórico de atuações. Lá, tem-se acesso à quantidade de vezes que o equipamento operou em faltas transitórias e quantidade de vezes que veio a *drop-out*, isto é, fez-se o ciclo completo de religamentos e a falta persistiu (falta permanente), fazendo com que o equipamento abra em definitivo e caindo da chave fusível. Ambas as informações irão para análise e contabilização de DEC, FEC e economia financeira operacional nos casos de falta transitória.

A Tabela 2 mostra a quantidade de operações no período em que a *TripSaver*® está em funcionamento. Os dados apresentados são por fase.

Figura 4 - Coordenograma de neutro

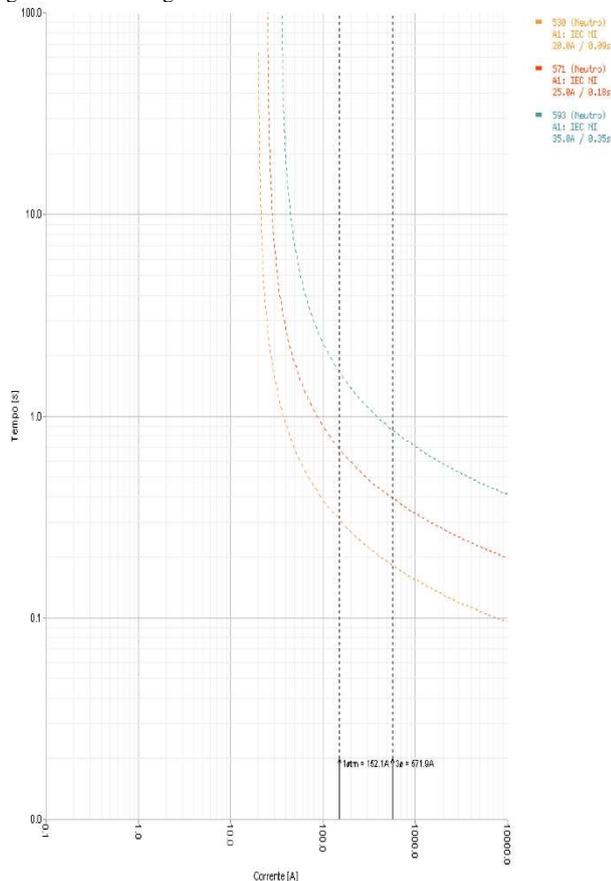


Tabela 2 - Operações por fase de uma *TripSaver*®

EVENTS	QTD
Number of Forced Interrupter Closes	0
Number of Interrupter Open Operations due to Overcurrent	25
Total Number of Interrupter Open Operations	34
Number of Drop-Opens due to Overcurrent	2
Number of Drop-Opens due to Overload	0
Number of Drop-Opens due to Sectionalizing	0
Number of Drop-Opens due to Local Manual Open	3
Total Number of Drop-Opens	7

Fonte: Elaboração dos autores (2021).

A interpretação da Tabela 2 é a seguinte: das 25 interrupções por sobrecorrente, duas foram permanentes; das 7 aberturas permanentes, três foram manuais, duas por faltas permanentes e duas em bancada de teste.

Levando em conta que o religador opera 4 vezes antes de vir a *drop-out*, deve-se descontar as aberturas que antecederam a queda definitiva do equipamento. Então, desconta-se 8 aberturas das 25, resultando em 17 faltas temporárias salvas pelo religador.

A Tabela 3 mostra as últimas 25 atuações do religado separados por dia, curva de atuação, corrente de curto e tempo de atuação.

Fonte: Elaboração dos autores (2021).

Tabela 3 - Histórico de atuação do religador

EVENT	TRIPPED ON	RELATIVE TIME (DD-HH:MM:SS.000)	DURATION (ms)	CURRENT (A)
1	TCC0	51-20:35:35.527	29	29
2	TCC0	67-14:44:44.656	88	30
3	TCC0	77-23:50:46.351	52	26
4	TCC0	123-01:10:21.946	32	25
5	TCC0	135-06:27:43.051	40	25
6	TCC0	217-00:30:59.381	129	36
7	TCC0	217-01:53:57.721	217	37
8	TCC0	230-02:47:36.772	217	543
9	TCC0	324-23:05:16.605	29	33
10	TCC0	418-14:14:09.864	217	673
11	TCC1	418-14:14:14.632	58	702
12	TCC2	418-14:14:18.099	59	701
13	TCC3	418-14:14:21.215	59	737
14	TCC0	460-00:50:18.946	137	40
15	TCC0	461-14:46:17.296	216	526
16	TCC0	461-14:53:25.645	217	530
17	TCC0	461-14:54:26.181	218	506
18	TCC1	461-14:54:31.702	109	493
19	TCC2	461-14:54:48.069	117	492
20	TCC3	461-14:54:51.453	117	491
21	TCC0	476-13:08:11.493	207	30
22	TCC0	476-13:16:25.961	207	38
23	TCC0	483-23:00:04.327	158	42
24	TCC0	485-23:24:53.004	64	31
25	LMO	511-17:54:28.141	0	0

Fonte: Elaboração dos autores (2021).

Sendo, TCC0, 1, 2 e 3 os ciclos de operação do equipamento, LMO abertura local manual, *Relative Time* o tempo relativo entre a ocorrência e a data de instalação do equipamento, a duração do evento em milissegundos e a intensidade de corrente, em ampères. O sistema interno da *TripSaver*® conta o tempo de forma linear a partir do momento em que foi energizada (instalada) na rede.

Dos dados da Tabela 3, filtra-se as ocorrências que estão com menos de 1 hora de intervalo entre si. Faz-se isso imaginando o tempo de deslocamento da equipe até a chave, percorrer o ramal em busca da falha, correção da falha e reposição do elo fusível na chave aberta. Considerando duas ocorrências em menos de 1 hora, expurga-se a ocorrência por não se fazer necessário o deslocamento da equipe por duas vezes. Analisando tabela acima temos 3 eliminações por atuações próximas, totalizando uma média de 0,12 expurgos a cada 25 eventos.

Quanto a falta é permanente, o religador faz o ciclo completo de religamentos caracterizados na Tabela 3 por TCC0, TCC1, TCC2 e TCC3. Essas ações já estão contabilizadas na Tabela 2 como *drop-outs* por sobrecorrente.

Filtrando os resultados obtidos, chega-se em 14 faltas temporárias. Obtemos uma média de 1,68 expurgos a cada 14 faltas, o que nos dá um número de 12,32 faltas transitórias salvas, evitando deslocamento de equipes em cada uma delas.

A obtenção dos dados, análise e resultados são realizados em todos os equipamentos do estudo, individualmente. Por se

tratar de ramais trifásicos, são utilizados 3 *TripSavers*® em cada ramal. As tabelas Tabela 2 e Tabela 3 mostram os dados de uma unidade do equipamento.

Reproduzindo esse método de análise para todos os equipamentos, o religador 89011 evitou 59 deslocamentos de equipes, enquanto o religador 89018 evitou 75.

VI. ANÁLISE FINANCEIRA

A Celesc conta com equipes terceirizadas e equipes próprias para a operação e manutenção da rede elétrica. Durante a temporada de verão são desenvolvidas ações específicas, pois nesse período com a vinda de milhares de turistas ao litoral catarinense, o crescimento do consumo relacionado a equipamentos de refrigeração (refrigeradores, ar-condicionados.) além do aumento da incidência de temporais, ventanias e descargas atmosféricas formam m desafio ainda maior para se manter a disponibilidade de energia elétrica.

Em consulta a Diretoria de Distribuição da Celesc, o custo de despacho de equipe (dois eletricitas, veículo e ferramentas/equipamentos) durante a Operação Veraneio é de:

- Horário Normal: R\$160,00/hora
- Adicional Noturno: R\$ 185,00/hora

Em um cenário em que todas as ocorrências são em horário normal e o tempo médio de recomposição do sistema é de uma hora, o religador 89011 economizou R\$9.440,00, enquanto o religador 89018 economizou R\$12.000,00. Em apenas horário noturno, também considerando o tempo médio de

recomposição do sistema de uma hora, os valores são outros: R\$10.950,00 de economia para o equipamento 89011 e R\$13.875,00 para o religador 89018.

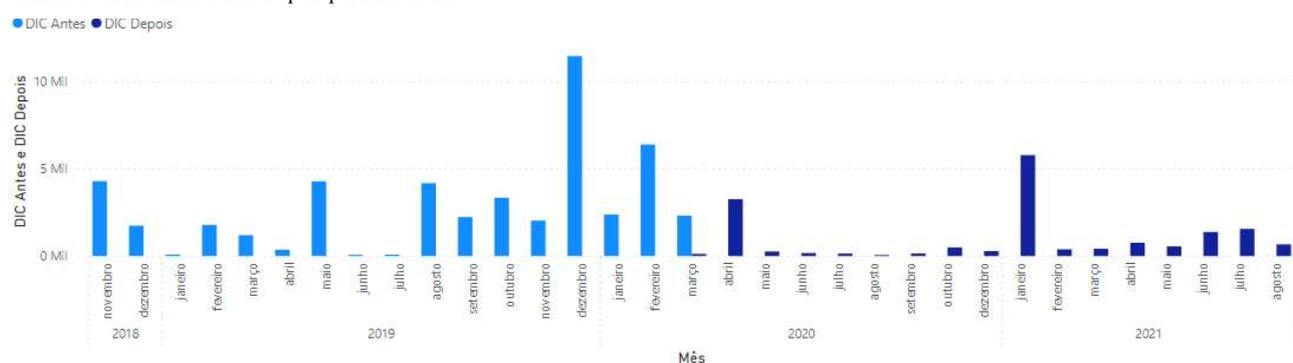
VII. ANÁLISE OPERACIONAL

Conforme exposto anteriormente, em parceria com a Divisão de Tecnologia da Informação, foi realizado a análise das ocorrências nos circuitos dos religadores e contabilizado para a confecção dos gráficos e resultados obtidos com o investimento em automação da rede.

Entende-se por “conjunto” a subestação e seus respectivos alimentadores. Logo, o conjunto Garopaba, onde foi realizado este trabalho, compreende a subestação de Garopaba e todos os seus alimentadores. O resultado obtido leva em consideração os indicadores do conjunto antes e depois da implementação dos religadores.

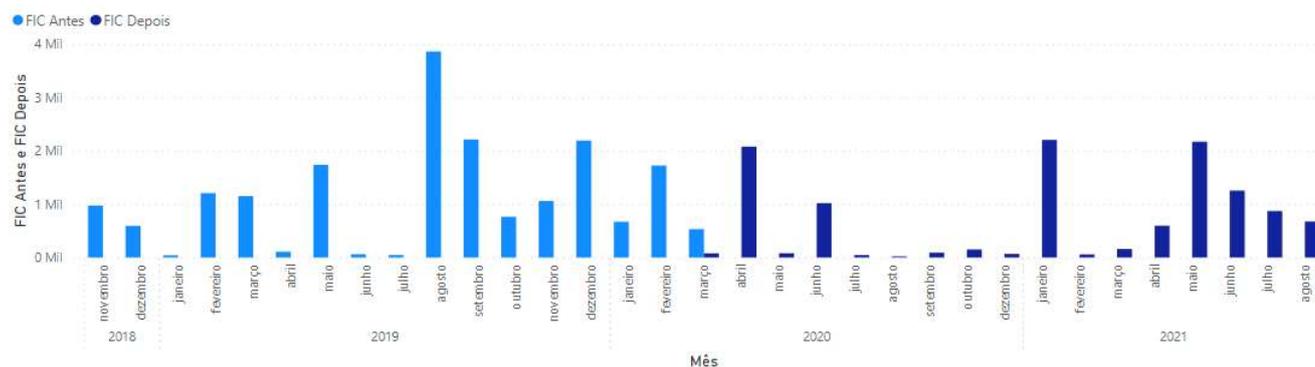
O Gráfico 1 mostra a evolução no DIC durante o período de análise e o Gráfico 2 mostra o impacto no FIC dos religadores no período analisado.

Gráfico 1 - DIC Antes e DIC Depois por Ano e Mês



Fonte: Elaboração dos autores, com dados de Celesc (2021).

Gráfico 2 - FIC Antes e FIC Depois por Ano e Mês



Fonte: Elaboração dos autores, com dados de Celesc (2021).

Figura 5 - Evolução dos indicadores

4,96	1,62	1,95
DEC Cj Antes	DEC Cj Depois	FEC Cj Antes
1,15	-67,23%	-38,63%
FEC Cj Depois	Varição DEC CJ	Varição FEC

Fonte: Elaboração dos autores, com dados de Celesc (2021).

A Figura 5 mostra a evolução dos indicadores do conjunto no período de análise.

VIII. CONCLUSÕES

O trabalho se mostrou eficaz no que diz respeito a quantificar de maneira geral a economia financeira da aplicação dos equipamentos quanto a redução do número de acionamento de equipes de eletricitas. O fator não menos importante que

foram constatados com maior precisão foram os de dos índices DEC e FEC que no conjunto onde foram instalados obtiveram reduções de 67,23% e 38,63% respectivamente. Como sugestões para trabalhos futuros podem ser utilizados os dados obtidos nesse artigo para possibilitar calcular a viabilidade econômica dos equipamentos instalados levando e novos pontos de aplicação desta tecnologia.

IX. AGRADECIMENTOS

Como agradecimento não podemos de deixar citar a Centrais Elétricas de Santa Catarina (CELESC) que disponibilizaram os dados principais para a realização do estudo e a instituição a Universidade do Sul de Santa Catarina (Unisul) em especial a coordenação e o corpo docente do curs de Pós-Graduação em Sistemas de Transmissão e Distribuição de Energia Elétrica.

Agradecemos a *S&C Eletric Company* pelo apoio no desenvolvimento deste estudo e suporte técnico necessário para entendimento e implementação dos religadores na Celesc.

X. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica, Jan. 2021. Disponível em:<https://www.aneel.gov.br/a-aneel>. Acesso em:21 de ago. 2021
- [2] ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica, Jan. 2021. Disponível em:<https://www.aneel.gov.br/contratos1>. Acesso em:21 de ago. 2021
- [3] ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica, Jan. 2021. Disponível em:<https://www.aneel.gov.br/indicadores>. Acesso em:21 de ago. 2021
- [4] J. M. Filho, D. R. Mamede, *Proteção de Sistemas Elétricos de Potência*. Rio de Janeiro: LTC, 2013, pp 23-24.
- [5] ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica, “Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional – PRODIST”, Jan. 2021. Disponível em: <https://www.aneel.gov.br/modulo-8>. Acesso em: 23 de ago. 2021.