



UNIVERSIDADE DO SUL DE SANTA CATARINA

MARCOS JOSÉ TEXEIRA

**REDUÇÃO DOS CUSTOS DE MANUTENÇÃO UTILIZANDO A TERMOGRAFIA
EM REDES DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA**

Palhoça

2022

MARCOS JOSÉ TEXEIRA

**REDUÇÃO DOS CUSTOS DE MANUTENÇÃO UTILIZANDO A
TERMOGRAFIA EM REDES DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Elétrica da Universidade do Sul de Santa Catarina como requisito parcial à obtenção do título de engenheiro eletricista.

Orientador: Prof. Fabiano Max da Costa, Eng./Esp.

Palhoça
2022

MARCOS JOSÉ TEXEIRA

**REDUÇÃO DOS CUSTOS DE MANUTENÇÃO UTILIZANDO A
TERMOGRAFIA EM REDES DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA**

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado à obtenção do título de Engenharia Elétrica e aprovado em sua forma final pelo Curso de engenharia elétrica. Da Universidade do Sul de Santa Catarina.

Palhoça, 23 de novembro de 2022.

Professor e orientador Fabiano Max da Costa, Eng./Esp.
Universidade do Sul de Santa Catarina

Professor Anderson Soares André, Dr.
Universidade do Sul de Santa Catarina

Diego Garcia, Eng.
Centrais Elétricas de Santa Catarina

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por ter me dado saúde e sabedoria para enfrentar a difícil caminhada dessa graduação.

Agradeço a minha família, especialmente minha esposa e meu filho, pela compreensão nessa jornada de estudos.

Agradeço ao meu Prof. Fabiano Max da Costa, Eng./Esp pelo apoio, contribuição, profissionalismo e principalmente pelo tempo dedicado à realização desta monografia.

“Só há duas maneiras de viver a vida: a primeira é vive-la como se os milagres não existissem. A segunda e vive-las como se tudo fosse milagre.” (ALBERT EINSTEIN).

RESUMO

O sistema elétrico brasileiro, ao longo dos anos, tem sofrido alterações em sua regulamentação a fim de obter maior confiabilidade na continuidade do fornecimento de energia elétrica. Com o avanço da tecnologia e a redução de custos, a termografia se tornou uma ferramenta indispensável na detecção preventiva de possíveis avarias futuras. Este trabalho temo objetivo de apresentar os benefícios da inspeção termográfica aplicada ao sistema de Distribuição de Energia Elétrica, de forma a auxiliar na melhoria dos índices de continuidade estabelecidos pelo agente regulador. Apresenta-se uma análise das variáveis envolvidas em uma inspeção termográfica, bem como, a comprovação da redução dos custos de manutenção quando aplicada essa forma de inspeção.

Palavras-chave: Termografia. Termograma. Chave Seccionadora

ABSTRACT

The Brazilian electrical system, over the years, has undergone changes in its regulation in order to obtain greater reliability in the continuity of electric power supply. With the advancement of technology and cost reduction, thermography has become an indispensable tool in the preventive detection of possible future breakdowns. This work aims to present the benefits of the thermographic inspection applied to the Electric Power Distribution system, in order to assist in improving the indicator of continuity established by the regulator. It presents an analysis of the variables involved in a thermographic inspection as well as proof of the reduction in maintenance costs when this form of inspection is applied.

Keywords: Thermography. Thermogram. Switch-disconnector (outdoor). Heating. Maintenance. DEC. Methodology.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Espectro Eletromagnético	15
Figura 2 - Termovisor Resfriado a nitrogênio líquido	16
Figura 3 - Termovisor resfriado Eletricamente	16
Figura 4 - Termovisor não Resfriado.....	16
Figura 5 - Nova Geração de Termovisores (Flir T-620).....	17
Figura 6 - Termografia de Tumor de Mama.....	20
Figura 7 - Imagem Termográfica de Seccionadora pouco aquecida.....	31
Figura 8 - Imagem Termográfica de Seccionadora com Aquecimento Alto 1	32
Figura 9 - Imagem termográfica de seccionadora com aquecimento alto 2.....	33
Figura 10 - Imagem termográfica de seccionadora aquecimento extremo	34
Figura 11 - Relatório atual de inspeção termográfica	38
Figura 12 - Novo relatório de inspeção	39
Figura 13 - Diagrama Unifilar do Alimentador PLA-07 e RCO-08	42
Figura 14 - Diagrama Unifilar do Alimentador TDE-08.....	44

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Pontos quentes por agência	28
Gráfico 2 - Chaves seccionadoras aquecidas por agência.....	28
Gráfico 3 - Potência e Corrente Elétrica na Seccionadora nº 2257.....	46
Gráfico 4 - Potência e Corrente Elétrica na Seccionadora nº 1062.....	47
Gráfico 5 - Potência e Corrente Elétrica na Seccionadora nº 1190.....	49

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Limites admissíveis de temperatura	24
Tabela 2 - Histórico de inspeções	26
Tabela 3 - Aquecimento nos equipamentos e componentes	27
Tabela 4 - Dec Fec Padrão Aneel para os conjuntos	29
Tabela 5 - Tempos médios de atendimentos.....	30
Tabela 6 - custo de troca de chave seccionadora	36
Tabela 7 - Dados do SICOTEN para o 1º caso	45
Tabela 8 - Dados do SICOTEN para o 2º caso	47
Tabela 9 - Dados do SICOTEN para o 3º caso	48

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
1.1 OBJETIVOS	11
1.2 JUSTIFICATIVA	12
1.3 OBJETIVO GERAL	12
1.4 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	12
2 REVISÃO DA LITERATURA.....	13
2.1 RADIAÇÃO INFRAVERMELHA	14
2.2 EVOLUÇÃO DOS TERMOVISORES.....	15
2.2.1 Termografia na área elétrica.....	17
3 METODOLOGIA.....	21
3.1 ENFOQUES METODOLÓGICOS	21
3.2 METODOLOGIA DE OBTENÇÃO DOS RESULTADOS	22
4 ESTUDO DE CASO	23
4.1 LIMITES ADMISSÍVEIS DE TEMPERATURA	23
4.2 INSPEÇÃO TERMOGRÁFICA EM REDES DE DISTRIBUIÇÃO	25
4.2.1 Histórico das inspeções termográficas	25
4.2.2 Histórico dos aquecimentos nos equipamentos.....	26
4.2.3 DEC e DEF dos conjuntos por equipamentos e padrão ANEEL para os conjuntos (Subestações).....	29
4.2.4 Exemplo de Termogramas de Aquecimento em Chaves-Faca.....	30
4.3 CASOS DE AQUECIMENTO EM CHAVES SECCIONADORAS	39
4.4 ENERGIA NÃO SUPRIDA (ENS).....	45
4.5 CÁLCULO DO DEC NOS TRÊS CASOS	50
5 CONCLUSÃO.....	52
REFERÊNCIAS	54
ANEXOS	56

1 INTRODUÇÃO

A recente evolução tecnológica e a necessidade de maior confiabilidade dos processos produtivos da indústria e do setor elétrico transformaram a termografia numa ferramenta crucial e imprescindível na manutenção preditiva das empresas.

Na natureza, todos os corpos, pelo fato de se encontrarem a uma temperatura superior ao zero absoluto emitem radiação térmica. A termografia consiste na técnica de estudo da temperatura dos corpos através da radiação infravermelha emitida, sendo técnica não destrutiva, pois utiliza os raios infravermelhos para medir temperaturas ou observar padrões diferenciais de distribuição de temperatura. Esta técnica fornece informações úteis relativas às condições operacionais de um componente, equipamento ou processo.

O monitoramento constante e a detecção precoce de alterações na temperatura de um determinado componente (devido, por exemplo, à sobre corrente ou vida útil comprometida) permitem a prevenção de falhas e consequentes perdas de produtividade, além de resultar em redução significativa nos custos com manutenção corretiva. A apresentação de imagens térmicas se tornou uma das mais valiosas ferramentas de diagnóstico de manutenção preditiva através da detecção de anomalias, muitas vezes invisíveis a olho nu, a termografia permite ações corretivas tomadas antes que uma falha (na maior parte das situações, bastante dispendiosa) ocorra.

As câmeras de infravermelho se transformaram em sistemas compactos, como as de vídeo normais, fáceis de usar e geram imagens de alta resolução em tempo real. Com a chegada da nova geração de termovisores (Flir T-620), observou-se um grande ganho de qualidade e de confiabilidade na detecção das anomalias, tendo em vista a alta resolução desses equipamentos e seus acessórios de comunicação, o que também dá agilidade nas tomadas de decisão, fator fundamental devido à menor tolerância da Agência Nacional de Energia Elétrica nos índices de continuidade.

1.1 OBJETIVOS

Este trabalho tem a intenção de apresentar os benefícios da manutenção preventiva por Termovisão, pois antecipa a futura anomalia, pela detecção precoce do aquecimento. Dessa forma, ajuda a assegurar os índices de continuidade estabelecidos pela Agência Nacional de Energia Elétrica, pela Resolução Normativa n.º 956, publicada pela ANEEL (2021), que aborda os Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional –

PRODIST módulo 8, e com as variáveis que envolvem a termografia, qualificar a futura manutenção com comparação de custos.

1.2 JUSTIFICATIVA

A Agência Nacional de Energia tem o intuito de proporcionar e aprimorar as resoluções em vigência, de forma a promover a modicidade tarifária, bem como garantir a continuidade do fornecimento de energia elétrica no máximo do tempo possível, aplicando multas e também a extinção da concessão¹.

Desta forma, as concessionárias têm que investir em processos que ajudem a garantir os índices de continuidades, como por exemplo, manutenção preventiva por inspeção termográfica, efetuada a distância, em tempo real e com segurança para o técnico de termografia.

1.3 OBJETIVO GERAL

Esta pesquisa tem por objetivo quantificar e comparar o custo envolvido em uma manutenção de uma chave seccionadora quando detectado problema, levando em consideração a temperatura de aquecimento obtida pelo termovisor, a Duração Equivalente de Interrupção por Unidade Consumidora (DEC), a corrente elétrica, a energia não-suprida e a experiência do termografista.

1.4 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- a) Realizar o levantamento do custo da manutenção por Termovisão;
- b) Quantificar a Energia Não-Suprida (ENS) pela indisponibilidade do sistema com uma possível avaria por aquecimento;
- c) Avaliar o impacto negativo da avaria de uma chave seccionadora para a Duração Equivalente de Interrupção por Unidade Consumidora (DEC) da concessionária;
- d) Avaliar os benefícios da inspeção termográfica;
- e) Comparar o custo de manutenção.

¹ Com o Decreto n.º 8.461 de 2 de junho de 2015 (BRASIL, 2015), ficou estabelecido que as concessionárias que descumprirem uma das metas anuais (financeira, Dec e Fec), por dois anos consecutivos, ou de qualquer dessas metas ao final do prazo de cinco anos, acarretará a extinção da concessão.

2 REVISÃO DA LITERATURA

A radiação infravermelha foi descoberta no ano de 1800 por Sir William Herschel, astrônomo real do Rei Jorge III da Inglaterra, já famoso por ter descoberto o planeta Urano, (MALDAGUE; MOORE, 2001). Ao testar várias amostras de vidro de cor que permitiam reduções do brilho emitido pelo Sol, ficou intrigado quando percebeu que algumas das amostras deixavam passar pouco calor do Sol, enquanto outras deixavam passar tanto calor que corriam risco de sofrerem lesões se observadas por muito tempo.

Assim, Sir Herschel realizou uma experiência sistemática, com o objetivo de descobrir um único material que permitisse obter a redução do brilho pretendida, bem como uma redução máxima do calor (CHRZANOWSKI, 2001). Então iniciou o seu trabalho, repetindo a experiência de Newton sobre o prisma, tentando, no entanto, estudar o efeito térmico em vez da distribuição visual da intensidade no espectro.

Utilizando-se de um termômetro de mercúrio em vidro sensível, como detector de radiações, procedeu ao teste do efeito térmico das várias cores do espectro formado sobre a superfície de uma mesa e percebeu que as leituras da temperatura registravam um aumento contínuo desde o violeta até ao vermelho. Devido à utilização de vidro no prisma da sua primeira experiência, Sir Herschel se envolveu em algumas controvérsias com os seus contemporâneos acerca da existência real dos comprimentos de onda dos infravermelhos. Em experiências posteriores, Sir Herschel realmente constatou as limitações na transparência do vidro, sendo obrigado a concluir que a óptica de infravermelhos estaria provavelmente condenada.

Isto apenas foi verdade até 1830, ano em que o cientista italiano Macedónio Melloni (1798 – 1854) fez a sua grande descoberta: o cloreto de sódio (sal-gema) de origem natural (disponível em cristais naturais), que é um elemento transparente aos infravermelhos. Com o resultado desta descoberta, o “sal-gema” tornou-se o principal material ótico de infravermelho e assim se manteve até os anos 1930, período em que foi dominada a arte de criar cristais sintéticos (VERMINNEN; VERATTI; RABELLO JUNIOR, 1984).

Já os termômetros, utilizados como detectores de radiações, mantiveram-se insubstituíveis até 1829, ano em que Nobili inventou o par termoelétrico; tendo um avanço quando Melloni ligou vários pares termoelétricos em série para formar a primeira termopilha. O novo dispositivo era pelo menos 40 vezes mais sensível que o melhor termômetro para detecção da radiação térmica, capaz de detectar o calor libertado pelo corpo de uma pessoa a uma distância de três metros (CHRZANOWSKI, 2001).

A primeira imagem térmica tornou-se possível em 1840, resultado encontrado por Sir John Herschel, filho do descobridor dos infravermelhos. Baseando-se na evaporação diferencial de uma película fina de petróleo quando exposta a um padrão térmico incidindo nela, era possível se ver a imagem térmica por meio da luz refletida, onde os efeitos de interferência da película de petróleo tornavam a imagem visível a olho nu. Sir John conseguiu ainda obter um registro rudimentar da imagem térmica em papel, a que chamou de “termógrafo”.

O primeiro sistema operativo, no sentido atual de termografia, só começou a ser desenvolvido durante a Primeira Guerra Mundial, em que ambas as partes possuíam programas de investigação para a exploração militar dos infravermelhos. Durante esse período, as regras do sigilo militar proibiam terminantemente a divulgação do estado de desenvolvimento da tecnologia da formação de imagens de infravermelhos (HOLST, 2000).

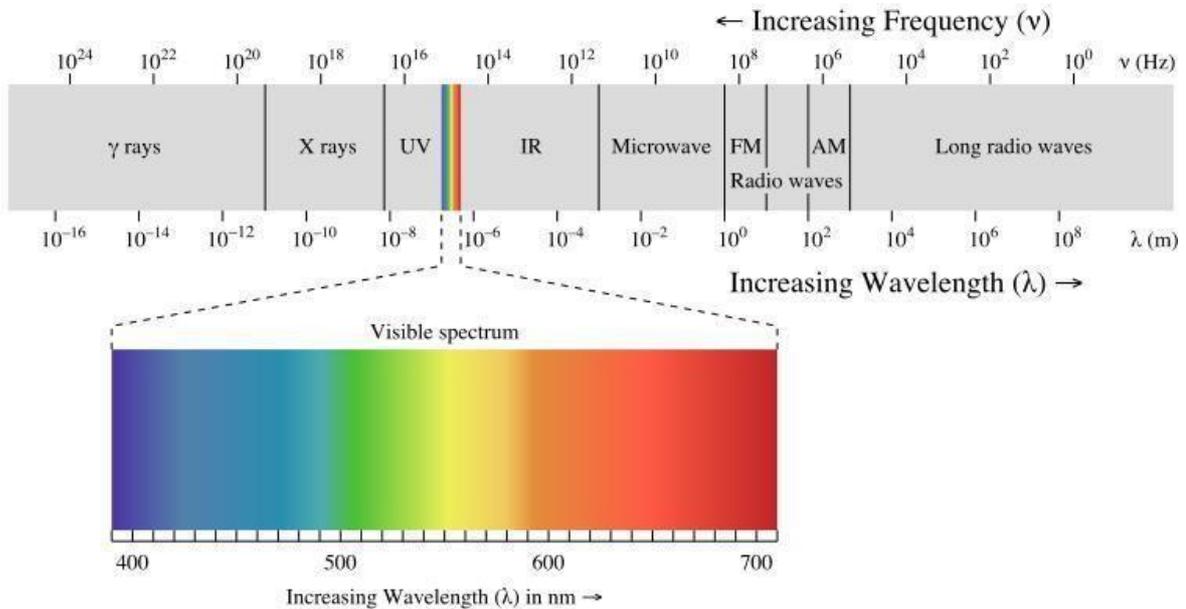
Em meados dos anos 1950, começaram finalmente a estar à disposição das comunidades industrial e científica civil os dispositivos apropriados de formação de imagens térmicas.

2.1 RADIAÇÃO INFRAVERMELHA

Ao observar os vários comprimentos de onda do espectro eletromagnético, verificamos que a faixa do espectro da luz visível é apenas uma pequena parte comparada ao vasto mundo das ondas eletromagnéticas que nos rodeiam. O comprimento de onda do espectro de luz visível se localiza entre 380 a 750nm e pode variar de pessoa para pessoa, a máxima sensibilidade dos olhos se situa-se na faixa de 555nm, correspondente a cor verde-amarelada.

O comprimento de onda do infravermelho no espectro eletromagnético situa-se faixa que vai de 2 a 12 μ m, sendo impossível de ser detectado pelo olho humano, por ser um comprimento de onda muito longo, apenas percebemos seus efeitos sob a forma de calor ou frio (Figura 1).

Figura 1 - Espectro Eletromagnético.



Fonte: Madeira (2010).

A teoria da termografia diz que qualquer corpo com temperatura acima do zero absoluto ($0\text{K} = -273,15\text{ }^\circ\text{C}$) emite uma radiação infravermelha, permitindo assim, mapear uma região com a utilização de um aparelho específico, conhecido como termógrafo ou termovisor. Utiliza-se o termovisor para distinguir diferentes temperaturas por meio da radiação infravermelha naturalmente emitida pelos corpos, de modo que depois de feita a coleta das informações, possa desenvolver uma análise técnica das imagens obtidas pelo aparelho na faixa espectral do infravermelho.

2.2 EVOLUÇÃO DOS TERMOVISORES

Os primeiros termovisores começaram a chegar ao Brasil no início da década de 1970. Esses aparelhos empregavam detectores resfriados a nitrogênio líquido (Figura 2), sistemas de varredura ópticos-mecânicos e a transformação das imagens térmicas e a temperatura do objeto inspecionado eram feitas através de cálculos pelo operador. Com o avanço na tecnologia foram fabricados termovisores com resfriamento elétrico (Figura 3) e detectores sem resfriamento com microprocessadores (Figura 4).

Os aparelhos, que pesavam aproximadamente 40 kg nos anos 70, diminuiram para menos de 2 kg, as leituras de temperatura passaram a ser mostradas diretamente no monitor do Termovisor com o aumento da sensibilidade térmica. Os termovisores, atualmente, parecem mais com câmeras fotográficas portáteis que podem ser conectados ao computador e possuem

softwares para análise das imagens, facilitando assim, a aplicação da termografia em sistemas elétricos.

Figura 2 - Termovisor Resfriado a nitrogênio líquido.



Fonte: Banco de dados da Celesc Distribuição (2010).

Figura 3 - Termovisor resfriado eletricamente.



Fonte: Banco de dados da Celesc Distribuição (2010).

Figura 4 - Termovisor não Resfriado.



Fonte: Banco de dados da Celesc Distribuição (2010).

A última geração de termovisores adquiridos pela Celesc, como o Flir T-620 vem equipada de alguns acessórios, como por exemplo:

- a) O meter link que é a importação para câmera de dados externos como medição de corrente elétrica;
- b) O bluetooth que permite inserir comentários de voz ao arquivo de imagem;
- c) A elaboração de relatório na própria câmera no ato da inspeção;
- d) O envio de relatório ou somente imagens via wi-fi; e
- e) A geolocalização do ponto da imagem.

Isto tudo promove o Flir T-620 (Figura 5), num termovisor de alto desempenho que combina uma excelente ergonomia com qualidade superior de imagem, proporcionando uma maior precisão nas medições e maior confiabilidade nas informações para os técnicos desenvolverem a manutenção corretiva do aquecimento.

Figura 5 - Nova Geração de Termovisores (Flir T-620).



Fonte: Banco de dados da Celesc Distribuição (2010).

2.2.1 Termografia na área elétrica

Os termovisores mais compactos e mais acessíveis do ponto de vista financeiro tornaram-se ferramentas indispensáveis do dia a dia das Concessionárias de Energia Elétrica Brasileira, com compras expressíveis de termovisores para aparelhar suas equipes de manutenção em diversos pontos de sua área de concessão. Pode-se citar aqui, como exemplo, as concessionárias CEMIG de Minas Gerais, COPEL do Paraná, CELESC de Santa Catarina, e CEEE do Rio Grande do Sul, essas no seguimento de distribuição, e ELETROSUL, CHESF, ITAIPU, FURNAS no seguimento de geração e transmissão.

Com essa demanda crescente por termovisores, observou-se a necessidade do

desenvolvimento de procedimentos do uso dos aparelhos nas inspeções, com isso surgiram normas e procedimentos, entre os quais:

- a) MIL-STD-2194 - Military Standard Infrared Thermal Imaging Survey Procedure for Electrical Equipment, elaborado pela United States Navy, que aborda os procedimentos científicos detalhados de imagem térmica por infravermelho em equipamentos elétricos, desenvolvido pela Marinha dos Estados Unidos da América;
- b) E1934 - Standard Guide for Examining Electrical and Mechanical Equipment with Infrared Thermography desenvolvido pela American Society for Testing and Materials – ASTM, é um guia de análise termográfica em equipamentos elétricos e mecânicos, este guia descreve as responsabilidades do usuário final e também o conteúdo específico necessário para documentar as inspeções termográficas tanto do ponto de vista qualitativos como quantitativos de equipamentos elétricos e mecânicos;
- c) ABNT NBR 16292 (ABNT, 2014) – Ensaios Não Destrutivos – Termografia – Medição e compensação da temperatura aparente refletida utilizando câmeras termográficas. Aborda a interferência de outras fontes de calor sobre o ponto em análise termográfica, a chamada temperatura aparente refletida e trata de como medir essa temperatura aparente refletida e sua compensação sobre a temperatura do ponto em análise. Sua contribuição foi de suma importância para a avaliação do aquecimento sob questão, pois o termovisor capta não só a radiação infravermelha que vem do ponto sob análise quanto das fontes de calor que os circundam.
- d) ABNT NBR 15572 (ABNT, 2013) – Ensaios Não Destrutivos – Termografia – Guia para inspeção de equipamentos elétricos e mecânicos. Esta norma define e qualifica os envolvidos na inspeção termográfica, que trata das responsabilidades do usuário final e do inspetor termografista descrevendo uma rotina adequada para a inspeção de equipamentos elétricos e mecânicos;
- e) ABNT NBR 15866 (ABNT, 2010) – Ensaios Não Destrutivos – Termografia – Metodologia de avaliação de temperatura de trabalho de equipamentos em sistemas elétricos, que aborda a metodologia de avaliação térmica, qualitativa e/ou quantitativa, a ser realizada pelo responsável da análise termográfica, de acordo com as diversas situações e contextos em que os diferentes equipamentos elétricos estão submetidos;
- f) ABNT NBR 15763 (ABNT, 2009) – Ensaios Não Destrutivos – Termografia – Critérios de definição de periodicidade de inspeção em sistemas elétricos de potência, que aborda o período para a inspeção termográfica recomendando assim intervalo de seis meses entre inspeções termográficas para os sistemas elétricos de alta tensão;

Na área acadêmica foram publicados vários artigos e estudos sobre Termografia dos quais podemos citar:

g) Snell e Spring (1992) que publicaram o artigo intitulado “Desenvolvimento de protocolo operacional para programas de inspeção termográfica”, que diz que o sucesso de uma boa inspeção passa pela escolha do termovisor correto, a segurança do pessoal envolvido na inspeção, a periodicidade da inspeção, bem como um bom banco de dados com relatórios de inspeção;

h) Veratti (1981) publica o artigo intitulado “A Termografia Aplicada à Indústria Petroquímica” relatando os critérios de temperatura para priorizar as manutenções, correlacionando-os com a corrente do circuito, importância da linha, tipo de componente e a sua tolerância.

A publicação dessas normas e artigos entre outros, deram subsídios para uma maior confiabilidade nas inspeções termográficas, porém existem ainda casos e segmentos na área elétrica que não foram contemplados nas suas especificidades, e é exatamente isso o que é proposto nesse trabalho de monografia.

2.2.2 Termografia em outras áreas

Na área mecânica a Termografia abrange uma variedade grande de equipamentos a inspecionar. A Termografia se tornou imprescindível para a inspeção de motores e equipamentos giratórios. São captadas imagens desses equipamentos e seus componentes para verificar se há aumento de temperatura, é normalmente comparada com a imagem anterior, são diagnosticados as possíveis causas e feito da manutenção corretiva para evitar uma possível parada e conseqüente perda na produção. Os problemas relacionados nos motores são, entupimento da ventilação por poeira, desalinhamento ou desbalanceamento, e rolamentos danificados (FLUKE, 2009).

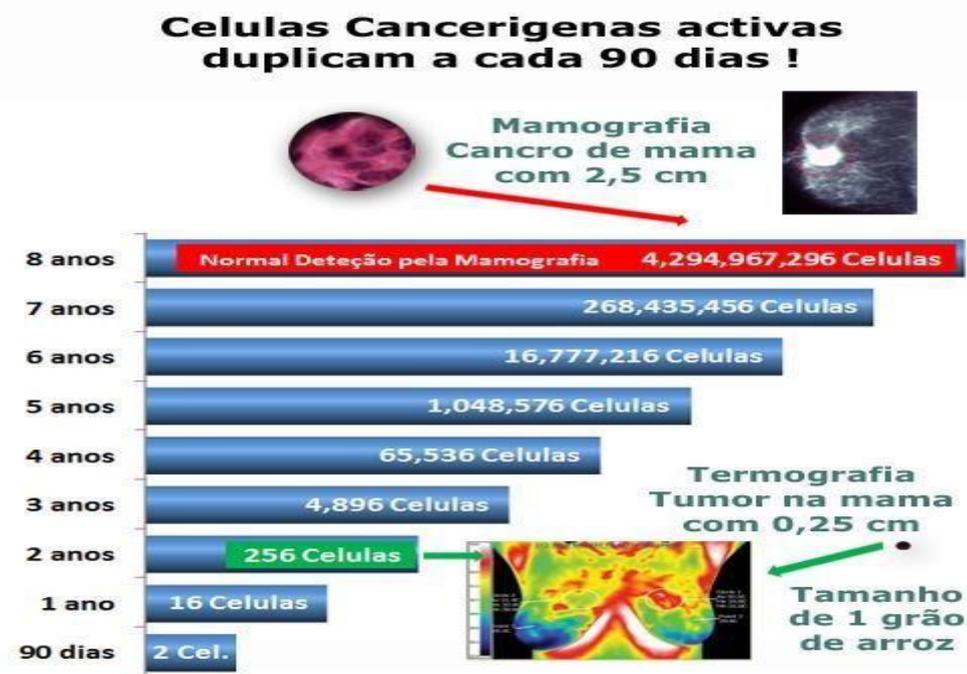
A Termografia também é amplamente utilizada na construção civil para diagnosticar vazamentos de água, para inspeção de umidade em telhados, danos nas estruturas causados por infiltrações, etc. (FLUKE, 2009).

Outras áreas de aplicação da Termografia são a Química e a petroquímica, com inspeções minuciosas, que minimizam os riscos de falhas e principalmente de incêndio, nos quadros de disjuntores, motores e bombas.

Já na área médica com objetivos muito específicos, como na prevenção e combate a células cancerígenas e várias outras enfermidades. A ciência da Termografia na medicina é um exame totalmente não invasivo e sem nenhum contato físico, além de não emitir nenhum tipo de radiação e totalmente indolor. Portanto, pode ser usado em crianças e grávidas, nas quais podem ser efetuados exames sem nenhum tipo de risco. É, também, particularmente indicado para pessoas que já sofreram outros tipos de exames e procedimentos dolorosos que mostram resistência na realização de mais exames, podem ser repetidas quantas vezes necessárias sem risco ou dor para o paciente. A termografia pode detectar alterações suspeitas de malignidade na mama alguns anos antes de serem visíveis pelos outros métodos de diagnóstico de imagem como a mamografia e ecografia (BEZERRA, 2007).

A Figura 6 mostra a detecção precoce de um tumor de mama antes mesmo de ser detectado pela mamografia.

Figura 6 - Termografia de Tumor de Mama.



Fonte: Sounatura (2017).

3 METODOLOGIA

A metodologia significa às formas de operações que vão sistematizar os procedimentos de atendimento aos objetivos preestabelecidos, a fiel e consistente revisão da literatura, a clareza na formulação do problema e aos objetivos estabelecidos, na adequada escolha das técnicas de pesquisas, definição da programação das atividades, bem como a coleta de dados, análise, conclusão e recomendações (OLIVEIRA, 1997).

Para Cajueiro (2015), metodologia nada mais é do que a busca da mais eficiente maneira de executar uma tarefa ou problema, e quando se refere a Metodologia de Pesquisa Científica faz referência a ação científica propriamente dita.

Metodologia pode ser descrita como o conjunto de estudos das análises de investigação e de provas, bem como o estudo e reflexão sobre as atividades científicas propostas (DENCKER; VIÁ, 2001).

Metodologia de Pesquisa é o processo inicial do tema da pesquisa, que passa pelo estágio de análise dos dados, bem como suas recomendações, até resolução ou não do problema pesquisado. Dessa forma Metodologia pode ser definido como um processo que engloba métodos, técnicas de análise, conhecimentos empíricos da realidade e produção de novos conhecimentos (OLIVEIRA, 1997).

Em suma e simplifadamente falando, o processo metodológico consiste nas formas para se alcançar o conhecimento (ANDRADE, 2017).

3.1 ENFOQUES METODOLÓGICOS

Trata-se de projeto de pesquisa de estudo de caso/estudos bibliográficos caracterizados cientificamente por ser de caráter exploratório e quantitativo.

Pesquisas exploratórias tem por objetivo facilitar a familiaridade do pesquisador com a problemática do objeto da pesquisa em estudo, e dessa forma permitir a elaboração de suposições ou tornar a questão mais visível (GIL, 2010).

Por fim será quantitativa, pois segundo Gil (2010), aborda o método que emprega medidas padronizadas sistematicamente, com respostas pré-determinadas, facilitando a comparação e a análise de medidas estatísticas de dados. É facilmente apresentada em pouco tempo, de aplicação recomendável nos casos de categorias de análise não pré-determinadas, de estudo das questões com profundidade, de avaliação de informações sobre menor número de fenômenos em estudo e de descrição detalhada sobre os fenômenos observados.

3.2 METODOLOGIA DE OBTENÇÃO DOS RESULTADOS

O levantamento dos custos de manutenção por termovisão dar-se-á através de documentação histórica dos custos de aquisição dos aparelhos de termovisão, planilhas de custos de viagem, despesas com veículos, bem como custo de homem/hora. Todo o levantamento será possível realizar devido a base concreta dos valores envolvidos na referida ação.

Já a obtenção da quantificação da energia não suprida, bem como a avaliação do impacto negativo que uma chave seccionadora avariada tem para o “DEC” da concessionária, será realizada através de análise de softwares e registros de reclamação do consumidor por uma eventual descontinuidade do sistema. Estudo de planilhas quanto à avaliação do “DEC” por conjunto, se o mesmo está bom, precário ou violado, apuração dos conjuntos da concessionária quanto ao número de consumidores e situação geral. As reclamações e informações de descontinuidade são de interesse público e obtido através de apuração no histórico de documentação da concessionária.

Por fim a avaliação dos benefícios da inspeção termográfica bem como o comparativo do custo da manutenção, será realizada através de estudo de caso, exemplos de relatórios de pontos quentes, histórico de temperatura em chaves seccionadoras comparando com a máxima temperatura admissível pelo fabricante, histórico de inspeções termográficas, análise dos bancos de imagem do antes e depois do aquecimento nas chaves seccionadoras, entre outros. Com esses levantamentos e com os números atualizados, será possível comparar o custo da manutenção em uma chave seccionadora, antes e depois de uma avaria.

4 ESTUDO DE CASO

Os critérios para inspeção termográfica foi estabelecido com parâmetros levando em consideração a transmissão de energia elétrica em alta tensão, isso devido à relevância dos impactos que uma falha teria no Sistema Interligado Nacional. Com isso foram estabelecidos critérios rigorosos e especificamente térmicos para a tomada de decisão da realização de uma manutenção corretiva.

Já a Distribuição de Energia Elétrica têm características diferentes da Transmissão, porém não menos importantes, mas que deve também, avaliar o aquecimento e mais alguns parâmetros como a energia não suprida com a possível avaria, a corrente elétrica e o impacto sobre a Duração Equivalente de Interrupção por Unidade Consumidora (DEC) da concessionária e também a experiência do termografista. O que se propõem nesse estudo é a equacionalização desses parâmetros, voltados principalmente para a área de Distribuição de Energia Elétrica em média tensão, e mais especificamente nas chaves seccionadoras de distribuição.

4.1 LIMITES ADMISSÍVEIS DE TEMPERATURA

A Tabela 1 mostra a máxima temperatura admissível para os diferentes componentes de uma chave faca, como por exemplo, para os contatos cobre nu ou liga de cobre nu, que a temperatura máxima admissível é de 75 °C, proveniente do limite de elevação da temperatura de 35 °C mais a temperatura ambiente considerada (40 °C). A corrente nominal da seccionadora é aquela conduzida constantemente sem que sejam excedidos os limites de temperatura estabelecidos em norma.

Tabela 1 - Limites admissíveis de temperatura.

Partes do equipamento (no ar, à pressão atmosférica)	Temperatura (°C)	Limite de elevação de temperatura para um ambiente não excedendo 40° C
Contatos		
cobre nu ou liga de cobre nu	75	35
prateados ou niquelados	105	65
estanhados	90	50
Conexões aparafusadas ou equivalentes		
cobre nu, liga de cobre nu ou liga de alumínio nu	90	50
prateadas ou niqueladas	115	75
estanhadas	105	65
Terminais para conexão e condutores externos através de parafusos		
nus	90	50
prateados, niquelados ou estanhados	105	65

Fonte: Manual Especial E-3130013 da CELESC.

A seguir algumas particularidades que fogem à regra da Tabela 1, bem como algumas precauções a ser seguida:

- a) Segundo a sua função, a mesma parte pode pertencer a diversas categorias listadas na Tabela 1. Neste caso, os valores máximos permissíveis de temperatura e de elevação de temperatura a serem considerados são os menores entre as categorias correspondentes;
- b) Todas as precauções necessárias devem ser tomadas para que nenhum dano seja causado aos materiais isolantes circunvizinhos;
- c) Quando partes do contato têm revestimentos diferentes, as temperaturas e as elevações de temperatura permissíveis devem ser aquelas da parte que têm o menor valor permitido na Tabela 1;
- d) A qualidade dos contatos revestidos deve ser tal que uma camada de material de revestimento permaneça na área de contato após os ensaios de estabelecimento e abertura, se existirem, de corrente suportável e de resistência mecânica. Caso contrário os contatos deverão ser considerados nus;
- e) Para contatos de fusíveis, a elevação de temperatura deve ser conforme NBR 8562;
- f) Quando outros materiais, além daqueles dados na Tabela 1 são usados, suas propriedades devem ser consideradas, principalmente a fim de se determinar as elevações de temperatura máximas permissíveis;
- g) os valores de temperatura e de elevação de temperatura são válidos ainda que o condutor

- conectado aos terminais seja nu;
- h) a temperatura não deve alcançar um valor tal que a elasticidade do material seja prejudicada.

4.2 INSPEÇÃO TERMOGRÁFICA EM REDES DE DISTRIBUIÇÃO

A inspeção termográfica em redes de Distribuição de Energia Elétrica é feita através da termografia embarcada (viatura equipada com um termovisor portátil que segue a rede tronco do alimentador sob inspeção), à medida que se observa algum padrão térmico suspeito, para-se e faz-se uma medição mais minuciosa, para confirmar ou não uma possível anomalia. Na inspeção é utilizado o equipamento Flir T-620, equipamento portátil, de última geração e que proporcionam mais eficiência, agilidade e conforto nas inspeções. A inspeção é conduzida por um inspetor de termografia da área, preferencialmente que possua alguma certificação em termografia, sendo este auxiliado por um motorista que conduz a viatura, e interage com o inspetor durante todo o processo de inspeção.

4.2.1 Histórico das inspeções termográficas

A Tabela 2 mostra a quilometragem e quantidade alimentadores de redes de distribuição inspecionados por Agência Regional da Celesc, bem como a quantidade de pontos quentes encontrados e o respectivo índice de pontos quentes por quilômetro, (a meta para esse índice é de 0,70, que é o benchmark estabelecido pela concessionária). Na Agência Regional de Florianópolis (FLO), Agência n.º 1, foram percorridos 3290,03 quilômetros de redes, com a inspeção de 425 alimentadores e registrados 1470 pontos quentes, resultando em um índice de 0,45 (que é a divisão do número de pontos quentes pela quilometragem percorrida). Para o desenvolvimento deste trabalho foram avaliados os históricos de termografia da CELESC no período de 2016 a 2021.

Tabela 2 - Histórico de inspeções.

Incidência de Aquecimento por Agência Regional						
Agências Regionais:				Período 2016 a 2021		
Agência	nº	km RD's percorrido	Alim. Insp.	Pontos quentes	Pontos / km	
FLO	1	3.290,03	425	1470	0,45	
BLU	2	3.437,89	352	941	0,27	
JVE	3	2.036,95	371	817	0,4	
LGS	4	1.336,71	176	197	0,15	
VID	5	884,24	115	98	0,11	
CDA	6	867,27	92	103	0,12	
JSL	7	883,71	131	294	0,33	
JOA	8	1.242,83	101	55	0,04	
CRI	10	2.149,09	230	549	0,26	
SMO	11	1.129,28	115	189	0,17	
TUB	13	1.067,80	115	171	0,16	
RSL	14	1.276,67	135	236	0,18	
MAF	15	1.311,27	151	297	0,23	
SBS	16	1.107,84	111	307	0,28	
ITA	17	3.979,38	450	603	0,15	
CHA	18	1.158,52	146	210	0,18	
TOTAL GERAL		27.159,48	3.216,00	6.537,00	0,24	

Fonte: Relatório Anual de Inspeção DPMS/DVMA.

4.2.2 Histórico dos aquecimentos nos equipamentos

A Tabela 3 nos mostra o número de equipamentos aquecidos, como chave faca (seccionadora), chave fusível, para-raios, conector, emendas, mufla e outros equipamentos, bem como em qual dos seus componentes foi o aquecimento, mostra, também, o somatório desse equipamento aquecido de todas as agências regionais e o percentual de aquecimento desse equipamento sobre o total de aquecimento de todos os equipamentos. Por exemplo, no equipamento “TOTAL DE CHAVE-FACA”, correspondem aos seus componentes até o próximo equipamento. E que o total de chave faca aquecido por agência regional mostra 793 chaves aquecidas em Florianópolis (FLO), 571 em Blumenau (BLU), 510 em Joinville (JOI), 124 em Lages (LAG), assim sucessivamente.

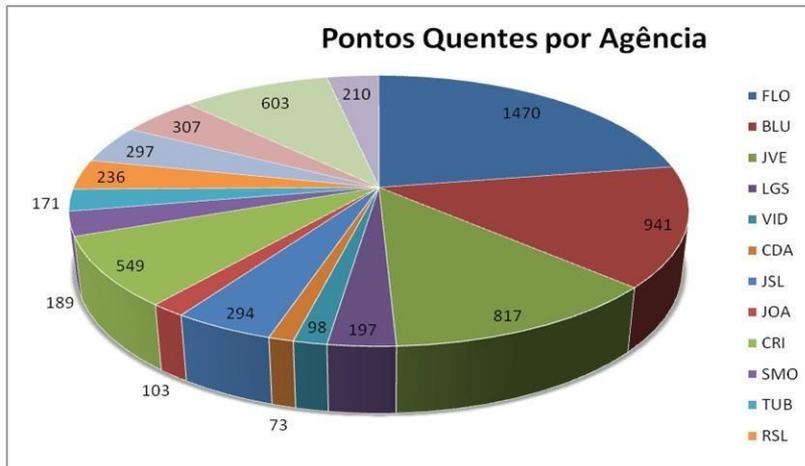
Tabela 3 - Aquecimento nos equipamentos e componentes.

Inspeção Termográfica																					
Agências Regionais:		GERAL																Período:		2016 a 2021	
Equipamento		FLO	BLU	JVE	LGS	VID	JOA	JSL	CDA	CRI	SMO	TUB	RSL	MAF	SBS	ITA	CHA	TOTAL	%		
TOTAL CHAVE-FACA		793	571	510	124	42	40	199	58	209	114	112	146	155	216	394	160	3843	59%		
COMPONENTE	Chave-faca	5	0	7	0	0	0	0	0	0	0	23	0	2	30	4	0	71	1,7%		
	Terminal	250	197	164	17	17	10	90	27	60	47	3	43	46	38	21	33	1063	26,1%		
	Contato Lado fonte	523	344	344	102	27	28	118	30	127	70	74	108	103	103	328	108	2537	62,2%		
	Contato Lado carga	81	54	20	6	0	2	12	4	35	6	20	8	14	38	41	17	358	8,8%		
	Lâmina	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	2	0,0%		
	Isolador	9	8	0	2	0	1	0	0	4	3	0	1	2	2	2	14	48	1,2%		
TOTAL CHAVE-FUSIVEL		102	144	79	21	22	6	32	11	56	5	7	16	25	46	27	15	614	9%		
COMPONENTE	Chave-fusível	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8	0	0	8	1%		
	Contato superior	35	50	27	6	5	0	9	4	32	1	9	2	14	17	18	0	229	36%		
	Contato inferior	8	18	9	5	0	0	5	0	2	0	2	0	2	12	2	0	65	10%		
	Isolador	25	52	25	7	15	5	8	6	15	4	1	9	5	0	1	13	191	30%		
	Conexão inferior	23	12	18	3	2	1	5	2	7	0	0	3	4	4	1	2	87	14%		
	Conexão superior	11	21	7	1	0	0	4	0	1	0	0	1	6	5	1	0	58	9%		
	Cartucho	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0%		
TOTAL PARA-RAIOS		101	62	35	7	6	8	12	0	52	8	6	7	20	8	12	6	350	5%		
COMPON.	Para-raios	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	8	0	0	10	3%		
	Corpo	98	65	34	7	6	8	15	0	48	8	6	7	19	15	16	6	358	94%		
	Conjunto terminal superior	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	2	0	0	0	0	4	1%		
	Conjunto terminal inferior	1	2	1	0	0	0	1	0	2	0	1	0	1	0	0	0	9	2%		
TOTAL CONECTOR		176	34	94	26	6	10	20	7	143	20	22	25	18	13	70	6	690	11%		
TIPO	Conector	3	0	1	0	0	4	1	0	0	0	13	0	0	9	0	0	31	4%		
	Aparafusado	51	15	1	17	0	5	1	2	46	13	4	8	8	0	2	2	175	25%		
	Cunha	122	21	91	8	6	3	20	5	96	7	9	17	10	0	70	4	489	70%		
TOTAL EMENDAS		47	39	19	5	0	0	0	0	14	3	2	2	20	2	12	1	166	3%		
TIPO	Emendas	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	2	1%		
	Pré-formada	34	20	7	5	0	0	0	0	5	3	0	1	17	2	3	1	98	59%		
	Compressão	13	13	12	0	0	0	0	0	5	0	0	1	0	0	7	0	51	31%		
	Emergência	0	4	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	8	5%		
	Torção	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	2	0	6	4%		
TOTAL MUFLA		107	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	108	2%		
TIPO	Mufla	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0%		
	Terminal	109	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	110	96%		
	Corpo	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	5	4%		
	Conexão	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0%		
TOTAL OUTROS EQUIPAMENTOS		144	91	80	14	22	9	31	27	74	39	22	40	59	22	88	22	784	12%		
TIPO	Outros equipamentos	0	9	6	1	0	0	0	0	4	1	11	0	12	3	3	3	53	7%		
	Religador	9	15	4	2	0	2	13	7	3	0	1	5	5	2	0	0	68	9%		
	Regulador	29	4	8	1	7	1	2	11	6	13	0	13	17	2	19	7	140	18%		
	By-pass	81	43	41	8	11	6	12	9	49	23	4	18	16	5	39	10	375	48%		
	Outros	27	25	24	2	2	1	2	2	14	4	2	5	8	4	16	2	140	18%		
TOTAL	1470	941	817	197	98	73	294	103	549	189	171	236	297	307	603	210	6555				
%	22,43%	14,36%	12,46%	3,01%	1,50%	1,11%	4,49%	1,57%	8,38%	2,88%	2,61%	3,60%	4,53%	4,68%	9,20%	3,20%	100,00%				

Fonte: Relatório Anual de Inspeção DPMS/DVMA.

O Gráfico 1 mostra a quantidade de pontos quentes totais por Agência Regional da Celesc por toda sua área de concessão, onde mostra que no período sob estudo (conforme o capítulo 4.2.1), a Agência Regional de Florianópolis foi onde se registrou mais pontos quentes num total de 1470.

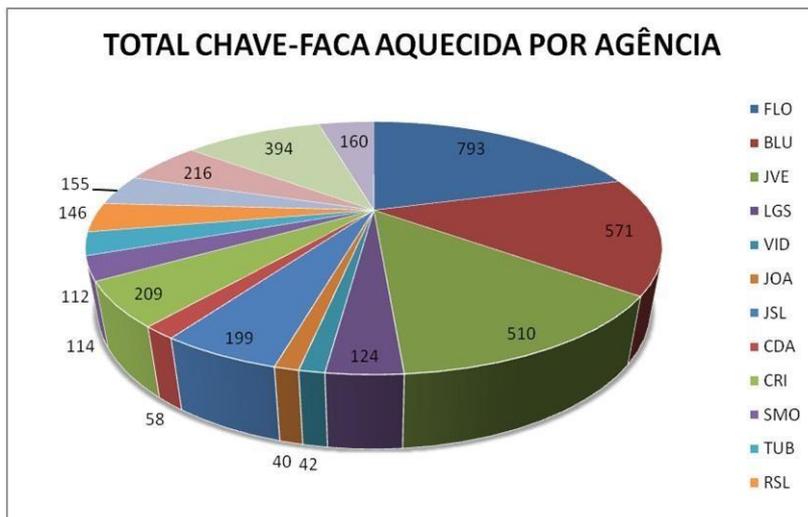
Gráfico 1 - Pontos quentes por agência.



Fonte: Relatório Anual de Inspeção DPMS/DVMA.

Já o Gráfico 2 mostra a quantidade de pontos aquecidos especificamente em chaves seccionadoras por Agência Regional, também em toda sua área de concessão, onde mais uma vez se identifica que, a Agência regional de Florianópolis registra o maior número de chaves aquecidas com um total de 793.

Gráfico 2 - Chaves seccionadoras aquecidas por agência.



Fonte: Relatório Anual de Inspeção DPMS/DVMA.

4.2.3 DEC e DEF dos conjuntos por equipamentos e padrão ANEEL para os conjuntos (Subestações)

A Tabela 4 mostra o DEC e FEC dos conjuntos (subestações) da Agência Regional de Florianópolis, por exemplo, a subestação n.º 101 que é exatamente o conjunto de Coqueiros, onde o limite do DEC e FEC anual é 7,00, e que no acumulado do 8º mês tem que estar no máximo 4,63 para que a meta anual seja atingida. Logo em seguida está o número total de unidades consumidoras desse conjunto (subestação) que é de quarenta e cinco mil e cento e dezenove unidades consumidoras (45.119), após temos o DEC e FEC real realizado até o mês oito corrente e em seguida temos o nível de qualidade desses indicadores para esse conjunto (subestação), que está bom tanto para o DEC quanto para o FEC.

Tabela 4 - Dec Fec Padrão Aneel para os conjuntos.

PADRÃO ANEEL											
AG. REG	CONJUNTOS	ANUAL		ACUMULADO 8º MÊS		CONSUMIDOR	REALIZADO		Nível de Qualidade		
		DEC	FEC	DEC hora	FEC núm.		DEC hora	FEC núm.	DEC hora	FEC núm.	
ARFLO	101	COQUEIROS	7,00	7,00	4,63	4,63	45.119	4,08	3,18	BOM	BOM
ARFLO	102	ROÇADO	9,00	7,00	5,95	4,63	88.691	10,40	8,71	VIOLADO	VIOLADO
ARFLO	103	USINA GARCIA	27,00	21,00	17,85	13,88	3.402	32,37	19,18	VIOLADO	PRECÁRIO
ARFLO	105	TIJUCAS	14,00	12,00	9,25	7,93	43.096	17,85	12,03	VIOLADO	VIOLADO
ARFLO	106	TRINDADE	8,00	7,00	5,29	4,63	41.533	8,83	5,44	VIOLADO	PRECÁRIO
ARFLO	107	ILHA NORTE	9,00	8,00	5,95	5,29	67.207	9,69	5,38	VIOLADO	PRECÁRIO
ARFLO	109	BIGUAÇÚ QUINTINO BOCAIUVA	12,00	10,00	7,93	6,61	34.745	10,72	6,29	PRECÁRIO	BOM
ARFLO	111	ILHA CENTRO	8,00	7,00	5,29	4,63	14.713	3,66	2,77	BOM	BOM
ARFLO	112	PALHOÇA	15,00	13,00	9,92	8,59	84.840	12,58	8,37	PRECÁRIO	BOM
ARFLO	114	ILHA SUL	9,00	8,00	5,95	5,29	37.233	8,90	7,10	PRECÁRIO	PRECÁRIO
ARFLO	115	PINHEIRA	17,00	13,00	11,24	8,59	9.007	18,89	12,01	VIOLADO	PRECÁRIO
ARFLO	116	FLORIANÓPOLIS AGRONÔMICA	8,00	8,00	5,29	5,29	30.443	4,97	2,97	BOM	BOM
ARFLO	122	GOVERNADOR CELSO RAMOS	18,00	11,00	11,90	7,27	2.252	13,98	8,75	PRECÁRIO	PRECÁRIO

Fonte: Relatório Anual de Inspeção DPMS/DVMA.

A Tabela 5 indica o tempo médio de atendimento da concessionária, que é a soma do TMD+TME+TMP, isso dado em minutos. Os valores mensais dos indicadores NIE (número de ocorrências emergenciais com interrupção de energia elétrica) e NUMOCORR (número de ocorrências emergenciais) são obtidos pela soma dos valores informados para cada conjunto em um dado mês, enquanto que os valores mensais dos indicadores TMD (tempo médio de deslocamento), TME (tempo médio de execução) e TMP (tempo médio de preparação) são obtidos das médias ponderadas desses indicadores pelo número de ocorrências (NUMOCORR),

O mesmo procedimento foi adotado para os valores anuais mostrados para a distribuidora.

Tabela 5 - Tempos médios de atendimentos.

Nome do Indicador	Sinal	Unidade	E/O				
				2018	2019	2020	2021
				Resultado	Resultado	Resultado	Resultado
TMP - Tempo Médio de Preparo	↓	min	O	152,97	135,69	169,07	116,06
TMD - Tempo Médio de Deslocamento	↓	min	O	38,12	40,88	26,39	26,16
TME - Tempo Médio de Execução	↓	min	O	54,26	56,47	20,40	20,89
TMA - Tempor Médio de Atendimento	↓	min	E/O	245,35	233,04	215,86	163,11

Fonte: Site ANEEL.

A média em horas do atendimento de emergência da Celesc em 2021 foi de 2,72 horas. O banco de dados das Concessionárias de Energia Elétrica, e mais especificamente o banco de dados da Celesc Distribuição S.A, contam com uma gama de informações inerentes a:

- a) Quantidade de unidades consumidoras (UC) ligadas a uma determinada chave;
- b) Corrente (A) do Alimentador onde essa chave fica está ligada;
- c) Quanto que essa chave fica desligada por um determinado tempo contribui negativamente para o DEC Global e para o DEC do conjunto;
- d) Se o DEC de um determinado conjunto (subestação) no qual está ligado um determinado alimentador, já apresenta-se comprometido.

No presente estudo leva-se em consideração somente o indicador “DEC”, pois o mesmo está norteado pelo o equipamento “chave seccionadora”, que quando avariado contribui expressivamente para o “DEC”, e sem expressividade para o indicador “FEC”.

4.2.4 Exemplo de Termogramas de Aquecimento em Chaves-Faca

A Figura 7 mostra um exemplo de aquecimento relativamente baixo em uma chave seccionadora de redes de distribuição. O aquecimento encontra-se especificamente no terminal parafusado da chave, com uma temperatura máxima de 75 °C na temperatura ambiente de 12 °C, tendo assim uma variação de aquecimento de 63 °C. Esta figura mostra ainda a data e hora da inspeção, bem como a emissividade a qual o termovisor está calibrado, e as imagens são apresentadas no espectro infravermelho e visual.

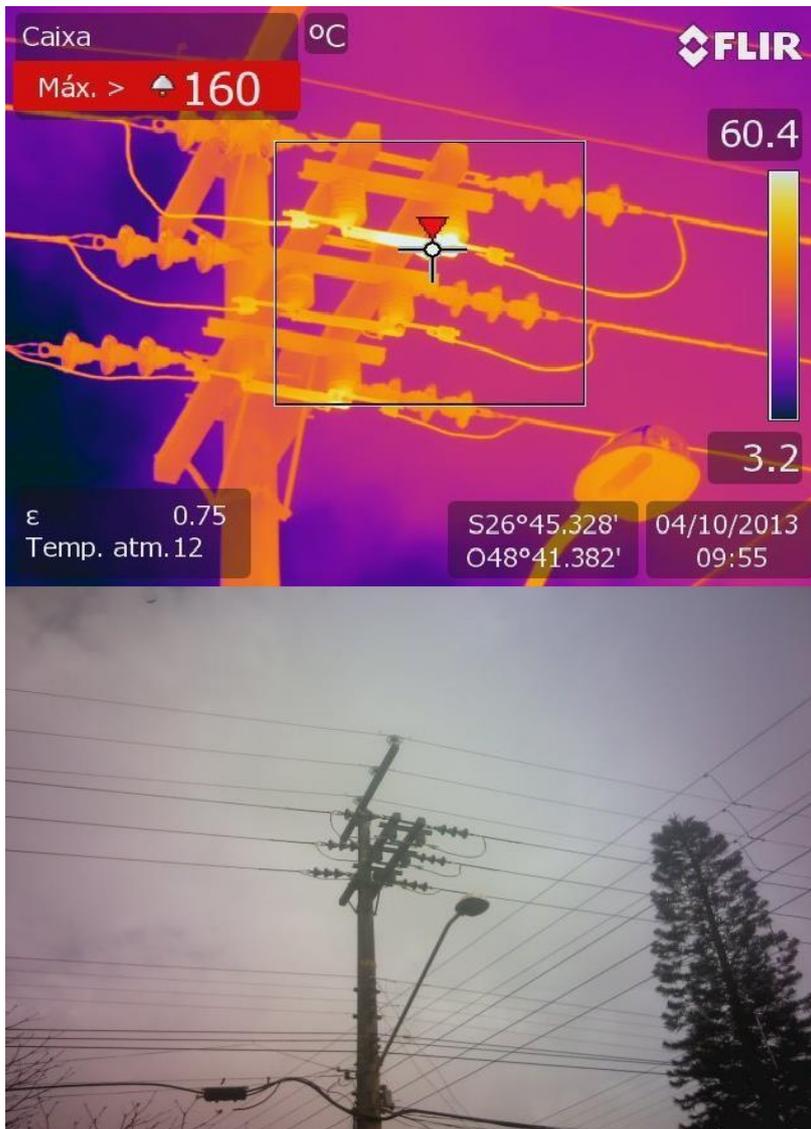
Figura 7 - Imagem Termográfica de Seccionadora pouco aquecida.



Fonte: Banco de dados de inspeção termográfica DPMS/DVMA.

Nas Figuras 8 e 9 verifica-se um aquecimento elevado para os padrões da concessionária, com aquecimento de 160 °C e 185 °C na mesma temperatura ambiente de 12°C, respectivamente. porém na Figura 8 o aquecimento está no contato móvel do lado da fonte, enquanto na Figura 9 o aquecimento é no conector cunha do jumper da chave-faca.

Figura 8 - Imagem Termográfica de Seccionadora com Aquecimento Alto 1.



Fonte: Banco de dados de inspeção termográfica DPMS/DVMA.

Figura 9 - Imagem termográfica de seccionadora com aquecimento alto 2.



Fonte: Banco de dados de inspeção termográfica DPMS/DVMA.

A Figura 10 mostra um aquecimento considerado extremo, mesmo com uma temperatura ambiente maior de 28 °C, com aquecimento pontual nos terminais da chave-faca.

Figura 10 - Imagem termográfica de seccionadora aquecimento extremo.



Fonte: Banco de dados de inspeção termográfica DPMS/DVMA.

O ponto indicado por uma seta vermelha dentro da caixa nas imagens térmicas das Figuras 7-12, refere-se a maior temperatura dentro da área dessa caixa, representado pela cor mais clara, no canto superior esquerdo identifica-se o valor da máxima temperatura em °C, no canto inferior esquerdo tem-se a emissividade e a temperatura atmosférica, ao lado o geolocalização e a direita data e hora de inspeção.

4.2.4.1 Custo da troca de uma chave seccionadora

A troca de uma chave seccionadora está relacionada e condicionada a algumas variáveis, tais como:

- a) Temperatura de aquecimento acima de 100 °C;
- b) Indicação do termografista;
- c) Análise pontual do eletricitista de linha viva;
- d) Emergência.

Estudando essas condicionantes já é possível ter uma idéia da importância da Inspeção Termográfica, pois o custo da troca de uma chave é bem oneroso. O custo do homem/hora para a troca de uma chave seccionadora é de R\$ 148,50 e executado por cinco (5) eletricitistas. O valor para a troca de uma chave faca fica estabelecida com um valor de R\$ 360,00, soma a esse valor o deslocamento da equipe. Esse valor é somente de mão de obra, que também varia por contrato e região geográfica do estado de Santa Catarina

Consultando o banco de dados de compra de equipamentos da Celesc, que também varia por demanda comprada, concorrência, período do ano e aspectos legais de licitação, têm-se como valor médio atual de R\$ 407,15 por unidade.

A Tabela 6 está baseada na informação da tabela 3 no que se diz respeito à quantidade de chaves-faca aquecidas, e nos mostra a quantidade das mesmas na Agência regional de Florianópolis (FLO), com um total de 793 chaves, com preço unitário de R\$ 407,15 e custo de mão de obra de R\$ 360,00, e que o custo para a troca de todas as 793 chaves fica na ordem de R\$ 608.349,95, correspondendo a um percentual de 20,63 % sobre o total de R\$ 2.948.157,45.

Tabela 6 - Custo de troca de chave seccionadora.

INSPEÇÃO TERMOGRÁFICA											
CUSTO DE TROCA DE CHAVE SECCIONADORA											
AGÊNCIA REGIONAL		GERAL				PERÍODO 2016 a 2021					
EQUIPAMENTO	FLO	BLU	JVE	LGS	VID	JOA	JSL	TOTAL			
TOTAL CHAVE-FACA	793	571	510	124	42	40	199				
CUSTO	Insumo (R\$)	407,15	407,15	407,15	407,15	407,15	407,15	407,15			
	Mão de Obra (R\$)	360,00	360,00	360,00	360,00	360,00	360,00	360,00			
	Total (R\$)	608349,95	438042,65	391246,5	95126,6	32220,3	30686	152662,85			
	% sobre o Total	20,63%	14,86%	13,27%	3,23%	1,09%	1,04%	5,18%			
INSPEÇÃO TERMOGRÁFICA											
CUSTO DE TROCA DE CHAVE SECCIONADORA											
AGÊNCIA REGIONAL		GERAL				PERÍODO 2016 a 2021					
EQUIPAMENTO	CDA	CRI	SMO	TUB	RSL	MAF	SBS	ITA	CHA	TOTAL	
TOTAL CHAVE-FACA	58	209	114	112	146	155	216	394	160	3.843,00	
CUSTO	Insumo (R\$)	407,15	407,15	407,15	407,15	407,15	407,15	407,15	407,15	407,15	
	Mão de Obra (R\$)	360,00	360,00	360,00	360,00	360,00	360,00	360,00	360,00	360,00	
	Total (R\$)	44494,7	160.334,35	87.455,10	85920,8	112003,9	118908,25	165704,4	302257,1	122.744,00	2.948.157,45
	% sobre o Total	1,51%	5,44%	2,97%	2,91%	3,80%	4,03%	5,62%	10,25%	4,16%	100,00%

Fonte: Relatório Anual de Inspeção DPMS/DVMA.

4.2.4.2 Custo de inspeção termográfica

A inspeção Termográfica, como já relatada, é feito em toda a área de concessão e de responsabilidade de execução da Administração Central da Celesc. Feito por dois (2) termografista, que percorrem todos os alimentadores das redes de distribuição em duas caminhonetes equipadas com dois termovisoeres.

A execução da inspeção acarreta em alguns custo para a Celesc, como compra do aparelho de termografia, custo com a compra, manutenção e combustível da caminhonete, bem como o custo de hospedagem e de mão-de-obra do funcionário. Esses custos para efeito

de análise será apresentado com valores de um período passado, como no período amostral das inspeções, que foram feitas de 2016 a 2021. Relatando os custos, têm-se:

- a) A compra da caminhonete ao custo de R\$ 150.000,00 cada, totalizando um montante de R\$ 300.000,00;
- b) Custo com mão de obra unitária por ano de R\$ 80.000,00 em média, totalizando um montante de R\$ 160.000,00 por ano e chegando a um montante de 960.000,00 em todo o amostral de seis (6) anos;
- c) Custo de hospedagem e refeição durante todo o período amostral R\$ 489,600,00;
- d) Custo de manutenção e combustível das caminhonetes durante todo o período amostral R\$ 576.000,00.

Levando em consideração todos os custos envolvidos na inspeção termográfica durante todo o período amostral chegamos a um montante de R\$ 2.325.000,00, frente ao custo da troca de todas as chaves seccionadoras com aquecimento que chega a um montante de R\$ 2.948.157,45. Sabendo-se que a inspeção termográfica não é feita somente em chaves seccionadoras, e sim em toda a extensão das redes de distribuição e equipamentos que a compõem em toda a área de concessão da Celesc, pode-se prever que o custo de manutenção corretiva fica muito acima desse montante especificado.

4.2.4.3 Relatórios de inspeção termográfica

A Figura 11 mostra um exemplo de como é o relatório atual de inspeção termográfica, que mostra no seu cabeçalho o número do relatório, o inspetor responsável, a Agência regional a qual foi realizado a inspeção, o alimentador inspecionado e o número da chave com aquecimento. A esquerda da imagem térmica mostra os parâmetros da medição e geolocalização, abaixo da imagem visual está descrita a localização detalhada, o local de instalação do equipamento (n.º do equipamento), é descrito qual o problema dessa chave do ponto de vista térmico e a classificação da manutenção levando em consideração o aspecto quantitativo.

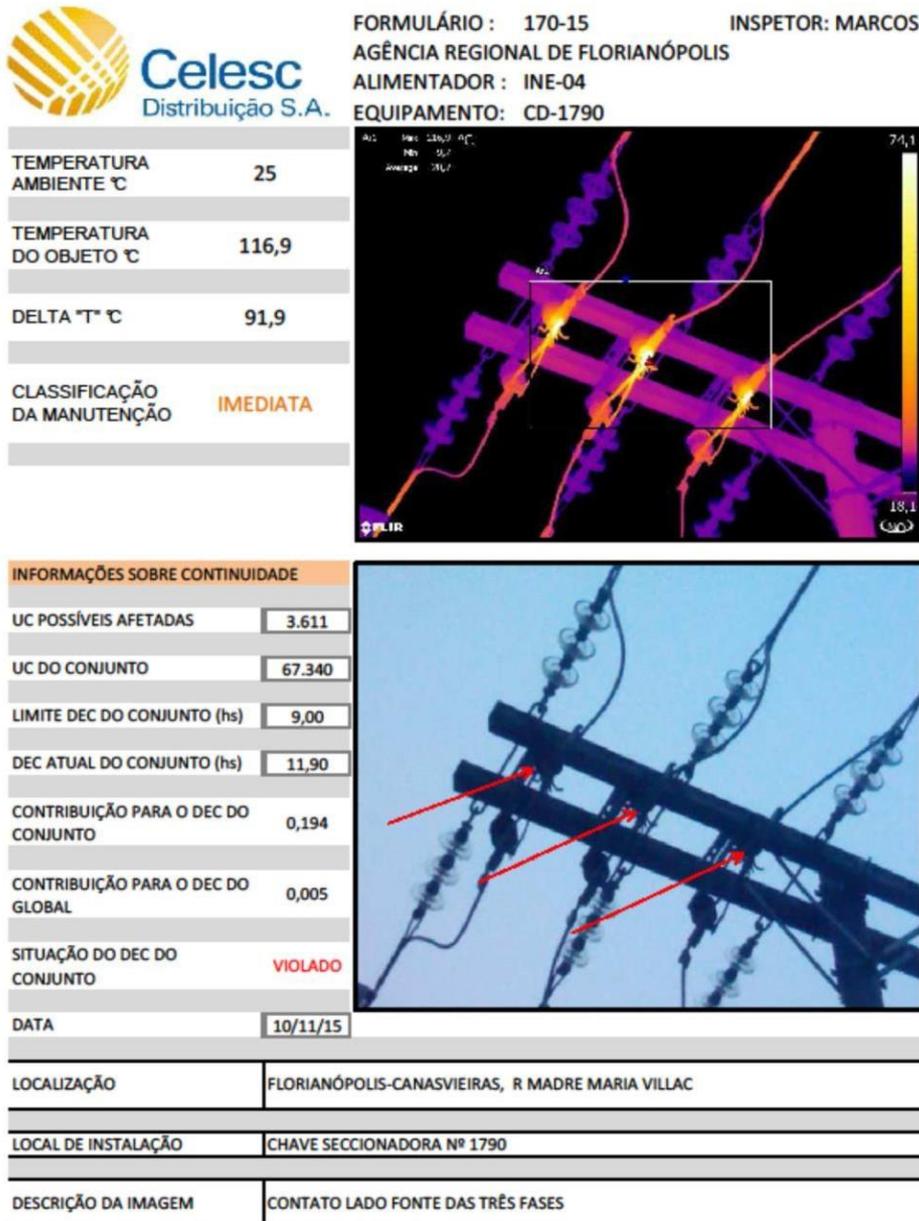
Figura 11 - Relatório atual de inspeção termográfica.



Fonte: Banco de Dados de Inspeção Termográfica DPMS/DVMA.

Já na Figura 12 tem-se um novo tipo de relatório, com informações mais simples e visíveis sobre temperatura com a classificação da manutenção destacada. Uma nova informação foi adicionada ao lado da imagem visual, trata-se dos parâmetros sobre o “DEC”, com informação de quantas unidades consumidoras seriam afetadas se a chave-faca aquecida sofresse uma avaria, bem como a quantidade total de unidades consumidoras do conjunto, o limite de seu “DEC”, o “DEC” atual do conjunto, e a situação do “DEC”, se ele está ótimo, bom, precário ou violado.

Figura 12 - Novo relatório de inspeção.



Fonte: Banco de Dados de Inspeção Termográfica DPMS/DVMA.

4.3 CASOS DE AQUECIMENTO EM CHAVES SECCIONADORAS

O estudo de caso exemplifica três casos distintos de aquecimento de chaves seccionadoras instaladas ao longo da rede de distribuição de energia elétrica, quantificando a corrente elétrica na hora da inspeção, a temperatura de aquecimento da chave, qual o alimentador pertence essa chave, qual o conjunto pertence esse alimentador e o total de unidades consumidoras desse conjunto, quantas unidades consumidoras poderão ficar sem energia se essa chave sofrer uma avaria e qual o DEC equivalente desse avaria. Como a sobre

corrente de uma seccionadora é função da elevação da temperatura sofrida pelo equipamento (Tabela 1), é necessário, então, se estabelecer os limites admissíveis de temperatura suportável, de sorte que não provoquem modificações temporárias ou permanentes das características técnicas de quaisquer de seus componentes. Admitindo-se, por exemplo, um aquecimento exagerado nos componentes condutores de cobre, estes podem chegar ao ponto de recozimento, com drástica redução de suas propriedades mecânicas.

A norma estabelece que a máxima temperatura ambiente admitida para chaves seccionadoras é de 40 °C. Caso essas chaves operem em temperaturas inferiores à temperatura ambiente, é admissível uma sobrecarga contínua de conformidade com a Equação 10. Ressalta-se que o limite de elevação de temperatura é estabelecido para o componente da seccionadora que primeiro atingir a sua temperatura máxima de operação (Tabela 1) (MAMEDE FILHO, 2005).

$$I_{sc} = I_n \times \sqrt{\frac{T_m - T_a}{T_m - 40}} \quad (10)$$

Onde:

I_{sc} → corrente de sobrecarga admissível na temperatura ambiente considerada, em A;

I_n → corrente nominal da seccionadora referida à temperatura ambiente de 40 °C;

T_m → temperatura permissível no ponto mais quente da seccionadora que normalmente se localiza nos contatos, conexões e terminais e que, pode ser obtida através da Tabela 3;

T_a → temperatura ambiente.

Logo, o fator de sobrecarga pode ser determinado pela Equação 11:

$$F_s = \frac{I_{sc}}{I_n} \quad (11)$$

Onde:

I_{sc} → corrente de sobrecarga admissível na temperatura ambiente considerada;

I_n → corrente nominal da seccionadora referida à temperatura ambiente de 40 °C;

F_s → Fator de carga.

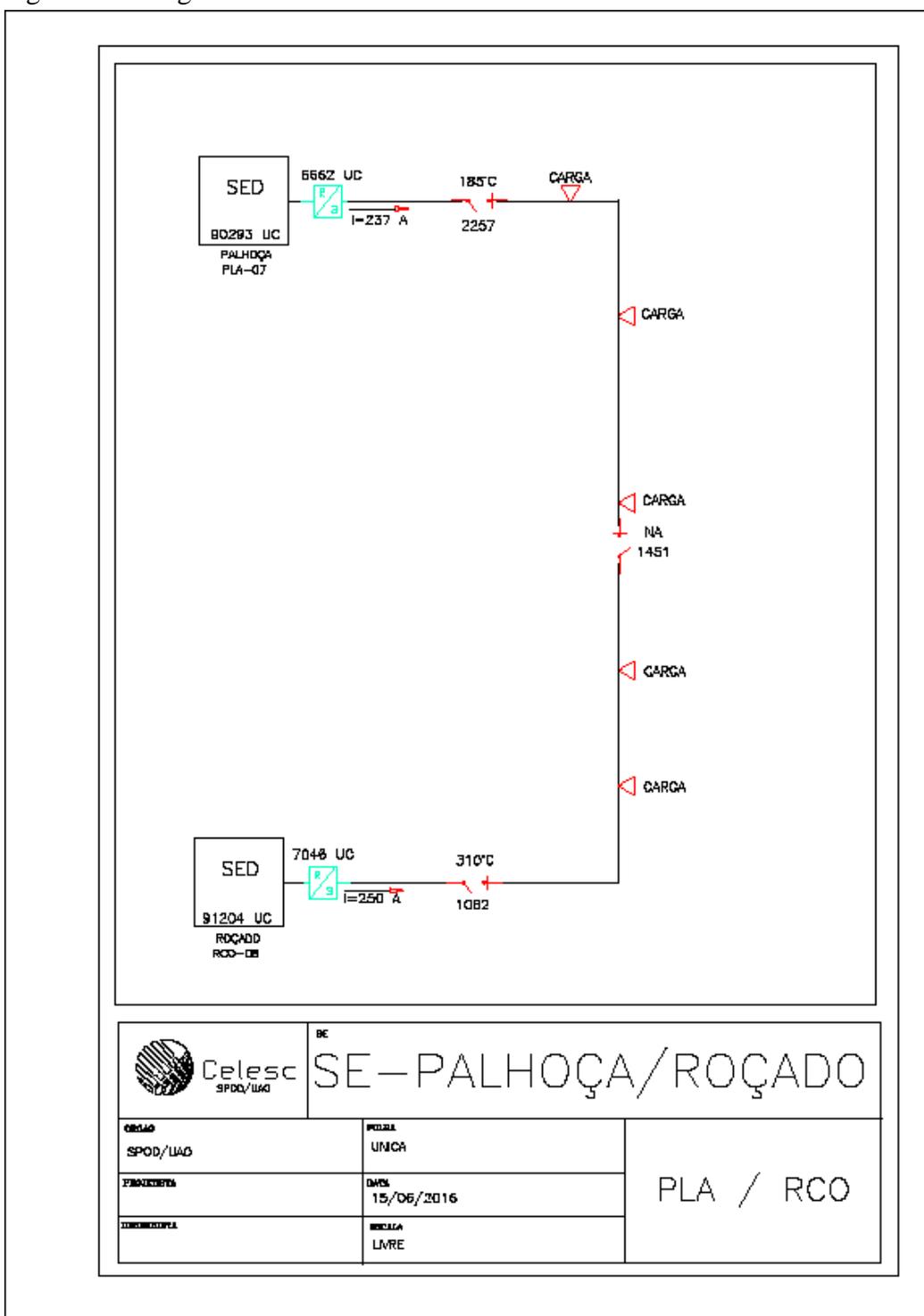
O 1º caso, tem-se a chave seccionadora de número operacional 2257 da Figura 9 comum a corrente elétrica de inspeção verificada em 308,55 A, às 13:00 horas, instalado em um alimentador com carga de 13350 kVA de uma carga total do alimentador de 14257 kVA, e com temperatura de aquecimento de 185°C. Neste caso, uma possível avaria, deixaria sem energia elétrica 6662 unidades consumidoras, pertencente ao conjunto da subestação Palhoça que têm em sua totalidade 90293 unidades consumidoras. Esse alimentador é denominado como PLA-07, a chave com aquecimento é padrão e relativamente nova.

No 2º caso, tem-se a chave seccionadora com o número operacional 1062 da Figura 10 com uma corrente elétrica de inspeção verificada em de 410,44 A, às 13:00 horas, instalado em um alimentador com carga de 21043 kVA de uma carga total do alimentador de 21338 kVA, e com temperatura de aquecimento de 310 °C. Nesse caso uma possível avaria deixaria sem energia elétrica 7046 unidades consumidoras, pertencente ao conjunto da subestação Roçado que têm em sua totalidade 91204 unidades consumidoras. Esse alimentador é denominado como RCO-08, a chave com aquecimento está fora de padrão, é relativamente antiga e instalada em um alimentador com cliente cadastrado como energia de suporte a vida.

Ressalta-se nesses dois primeiros casos, que os alimentadores PLA-07 e RCO-08 têm uma chave normalmente aberta “NA” entre eles, para uma possível manobra, possibilitando assim, um alimentador assumir a carga do outro, limitado pela capacidade máxima de corrente do cabo e da curva de desligamento do religador de saída do alimentador, que nesses caso é de 500 A, com isso se somaria as correntes e as unidades consumidoras dos dois alimentadores.

A Figura 13 mostra o diagrama unifilar envolvendo o primeiro e o segundo casos do estudo sobre aquecimento em chaves seccionadoras. Lembrando que se for feita a manutenção em tempo hábil, não há a necessidade de desligamento do alimentador, pois a manutenção é feita com equipe de linha viva que trabalha ao contato com equipamentos isolados.

Figura 13 - Diagrama Unifilar do Alimentador PLA-07 e RCO-08.



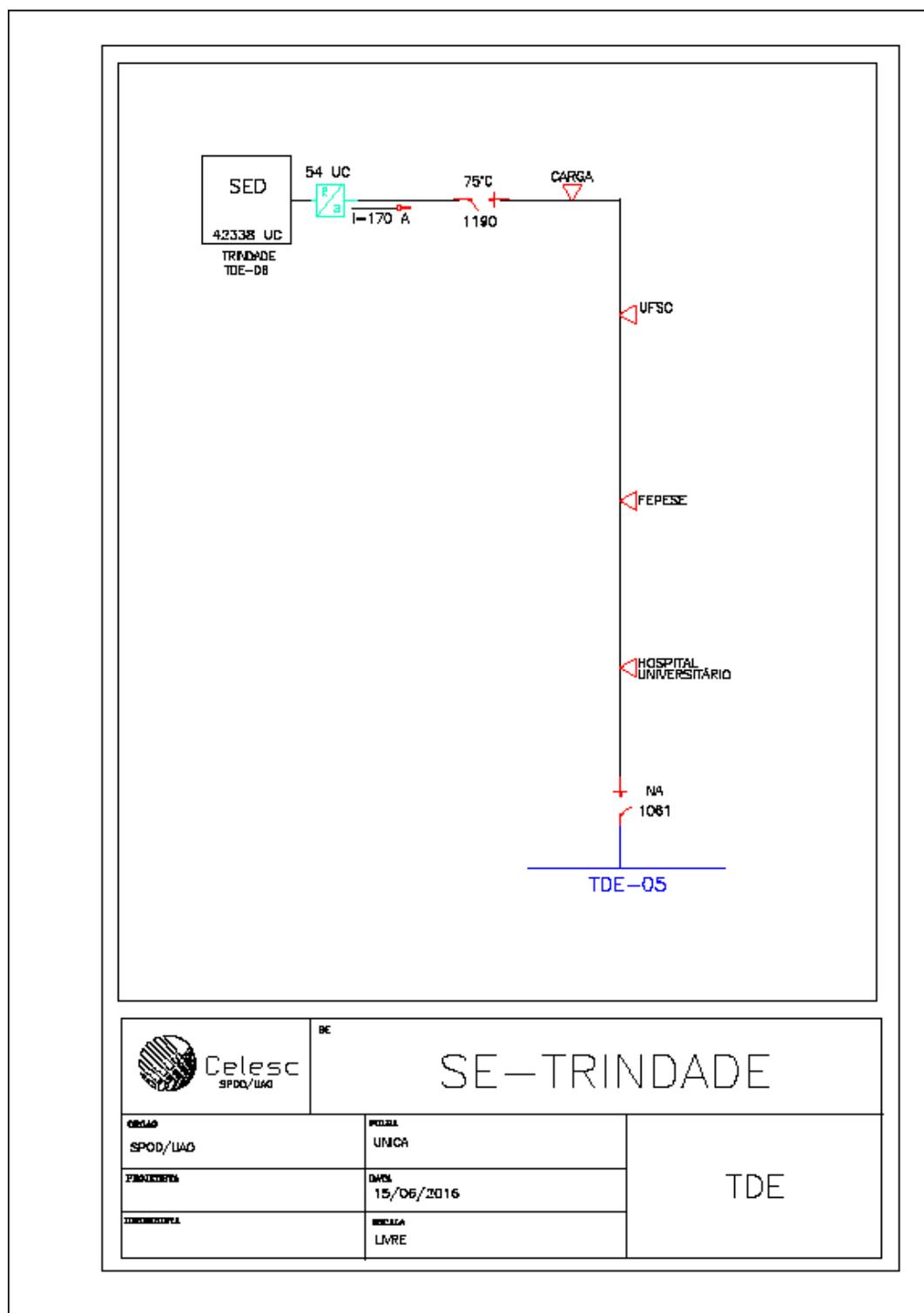
Fonte: Desenho do autor (2022).

No 3º caso tem-se a chave seccionadora de número operacional 1190 da Figura 7, com uma corrente elétrica de inspeção verificada em 315,33 A, às 13:00 horas, instalada em um alimentador com carga de 9619 kVA de uma carga total do alimentador de 9619 kVA e com temperatura de aquecimento de 75 °C.

Nesse caso, uma possível avaria deixaria sem energia elétrica 54 unidades

consumidoras, pertencente ao conjunto da subestação Trindade que tem em sua totalidade 42338 unidades consumidoras. Esse alimentador é denominado como TDE-06 e apesar de ter poucas unidades consumidoras, têm cargas importantes como Universidade Federal de Santa Catarina e o Hospital Universitário. A chave com aquecimento está fora do padrão, é bem antiga, com histórico de aquecimento, e instalada em um alimentador com cliente cadastrado como energia de suporte a vida. A Figura 14 mostra o diagrama unifilar envolvendo o terceiro caso do estudo sobre aquecimento em chaves seccionadoras.

Figura 14 - Diagrama Unifilar do Alimentador TDE-08.



Fonte: Desenho do autor (2022).

Percebe-se que o aquecimento atinge de forma diferente os três casos, já que o mesmo depende diretamente da corrente elétrica e do grau de comprometimento do equipamento com a possível avaria. Leva-se em consideração também para o cálculo dos custos, o impacto negativo da indisponibilidade da energia perante a opinião pública.

4.4 ENERGIA NÃO SUPRIDA (ENS)

A energia não suprida (ENS) foi obtida nos três casos a partir do software SICOTEN, que é baseada em medição (memória de massa) e curvas típicas, onde são consideradas as classes de consumo (residencial, comercial, rural, outros), as faixas de demanda, de demanda/consumo e dias típicos (útil, sábado e domingo).

No SICOTEN² é possível a realização de estudos de carregamento e queda de tensão, manobra e remanejamentos de carga, regulação de tensão e compensação de reativos, ligação de novos consumidores, planejamento de curto-prazo, estudos de proteção, subsídio para cálculo da tensão de contrato (PRODIST), dentre outros, para os alimentadores da Celesc.

A Tabela 7 mostra os resultados do 1º caso, com os dados do SICOTEN para a chave seccionadora n.º 2257 num determinado período do ano, com dados das 24 horas do dia, medindo corrente e tensão de fase, e calculado a potência trifásica. A Tabela 7 apresenta, também, ainda a hora da simulação da falha, com o Tempo Médio de Atendimento de Emergência (TMAE), a Energia Não Suprida (ENS) em cada hora ou fração no período de falha, e a Energia Não Suprida (ENS) total.

Tabela 7 - Dados do SICOTEN para o 1º caso.

		CHAVE N° 2257											
Grand.	unid.	Hora											
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
I	A	224,15	204,36	194,52	186,62	181,34	185,02	178,02	192,60	239,55	273,42	290,31	306,92
V	kV	7,85	7,86	7,82	7,82	7,84	7,83	7,92	7,87	7,80	7,79	7,77	7,80
P3f	KW/h	5277,46	4817,51	4563,44	4375,35	4262,42	4347,30	4228,08	4544,95	5607,63	6387,41	6769,67	7181,08
		Hora											
Grand.	unid.	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
I	A	283,92	308,55	326,41	317,44	305,05	289,92	272,33	304,06	305,56	301,19	290,67	269,41
V	kV	7,84	7,77	7,76	7,81	7,83	7,81	7,86	7,78	7,80	7,82	7,85	7,87
P3f	KW/h	6679,48	7193,27	7602,77	7437,55	7163,86	6789,42	6419,02	7092,27	7148,29	7069,63	6847,12	6359,96
SIMULAÇÃO DA FALHA AS 13:00 HORAS Energia/hora(KWh)													
TMAE (horas)													2,72
													7193,27 7602,77 7437,55 4369,95
Total ENS (kwh)													26603,54

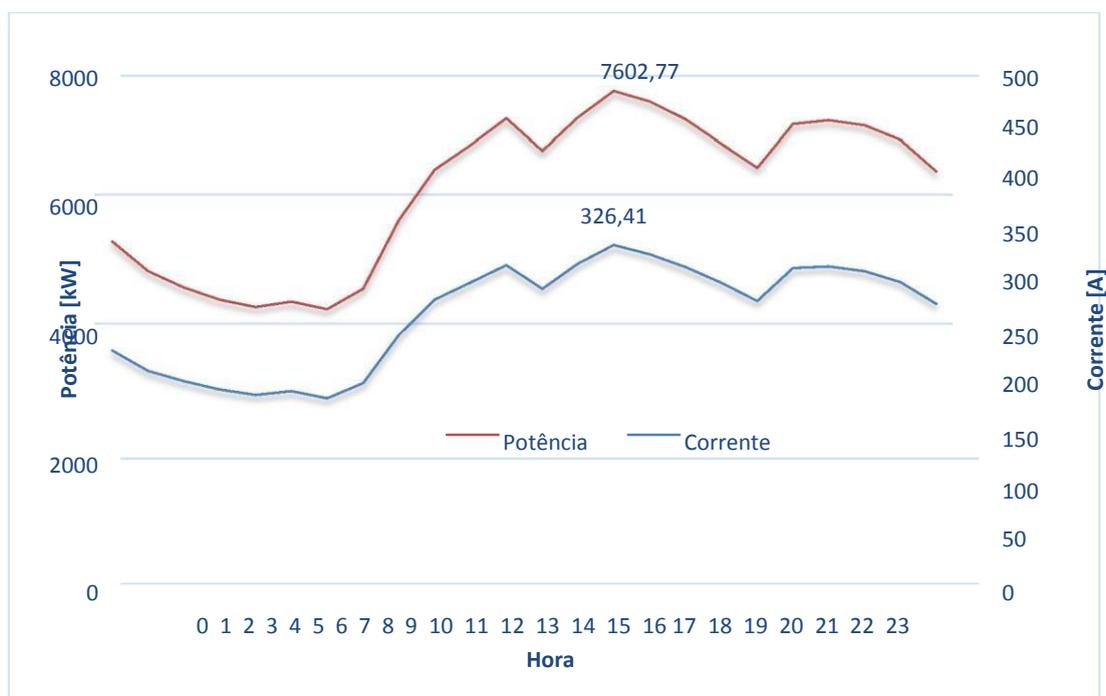
Fonte: Banco de dados Celesc (Software Sicoten).

O Gráfico 3 mostra o comportamento da Potência e Corrente Elétrica em função do

² O SICOTEN foi desenvolvido a partir de um projeto P&D com a PUC-RS, ciclo 2004/2005, com o objetivo de coordenação de controle de tensão em alimentadores de distribuição. O SICOTEN roda sobre a plataforma PSL@DMS, a qual possui ferramentas de simulação e análise de fluxo de potência em redes de Distribuição de Energia Elétrica. Devida a grande potencialidade do PSL@DMS, a Celesc optou em adquirir a ferramenta e implantar de forma corporativa.

tempo no primeiro caso, com um pico de corrente de 326,41 A às 14h e automaticamente também com um pico de potência de 7602,77 kW no mesmo horário. O horário da simulação da falha foi escolhido exatamente no período de maior demanda de carga, isso para simular o maior impacto na possível avaria da chave seccionadora aquecida, e que não recebeu a devida manutenção.

Gráfico 3 - Potência e Corrente Elétrica na Seccionadora nº 2257.



Fonte: Do próprio autor (2022).

A Tabela 8 mostra os resultados do 2º caso, com os dados do SICOTEN para a chave seccionadora nº 1062 num determinado período do ano, com dados das 24 horas do dia, medindo corrente e tensão de fase, e calculado a potência trifásica. A Tabela 8 apresenta, também, a hora da simulação da falha, com o Tempo Médio de Atendimento de Emergência (TMAE), a Energia Não Suprida (ENS) em cada hora ou fração no período de falha, e a Energia Não Suprida (ENS) total.

Tabela 8 - Dados do SICOTEN para o 2º caso

CHAVENº1062													
Grand.	unid.	Hora											
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
I	A	293,90	271,11	255,16	245,81	235,93	228,79	218,24	247,38	320,60	363,50	382,88	405,19
V	kV	7,83	7,84	7,89	7,80	7,82	7,82	7,85	7,83	7,81	7,84	7,77	7,79
P3f	KW/h	6904,55	6377,30	6036,67	5748,24	5537,63	5368,86	5136,84	5813,88	7512,67	8547,34	8929,41	9464,52

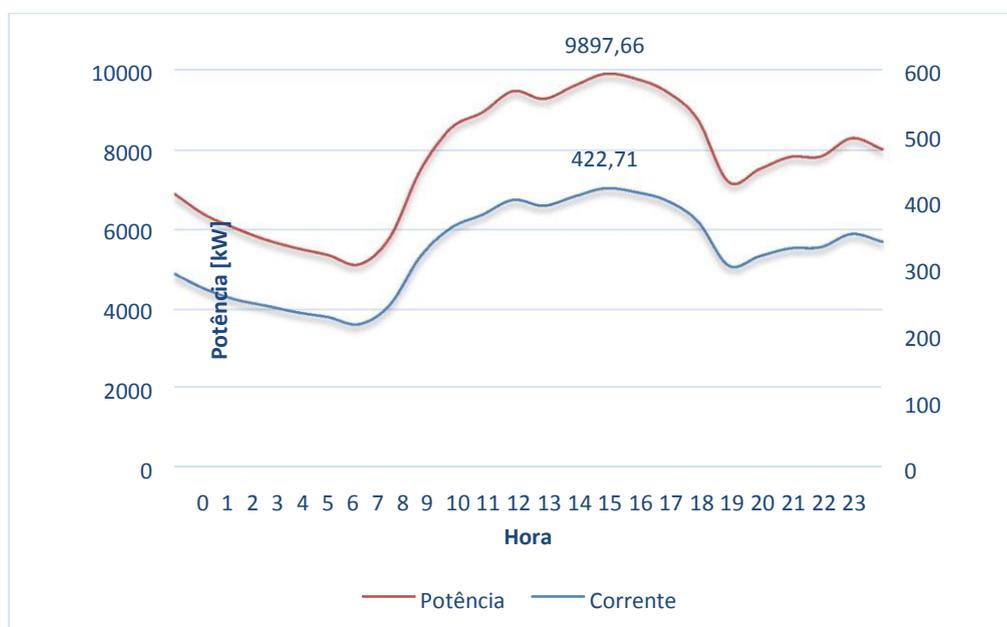
SIMULAÇÃO DAFALHAAS13:00HORAS													
Grand.	Unid.	Hora											
		12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
I	A	396,43	410,44	422,71	416,85	404,02	373,14	306,57	320,40	332,34	334,16	353,94	342,32
V	kV	7,80	7,80	7,81	7,82	7,80	7,82	7,83	7,83	7,86	7,82	7,82	7,81
P3f	KW/h	9270,45	9601,76	9897,66	9773,00	9447,91	8756,13	7205,08	7523,29	7832,57	7843,43	8301,21	8021,58

TMAE(horas)	2,72
Energia/hora(KWh)	9601,76 9897,66 9773,00 5763,22
TotalENS(kwh)	35035,65

Fonte: Banco de Dados Celesc (Software Sicoten).

O Gráfico 4 mostra o comportamento da Potência e da Corrente Elétrica em função do tempo no segundo caso, com um pico de corrente de 422,71 A às 14h e automaticamente também com um pico de potência de 9897,66 kW no mesmo horário. O horário da simulação da falha foi escolhido exatamente no período de maior demanda de carga, isso para simular o maior impacto na possível avaria da chave seccionadora aquecida, e que não recebeu a devida manutenção.

Gráfico 4 - Potência e Corrente Elétrica na Seccionadora nº 1062



Fonte: Do próprio autor (2022).

A Tabela 9 mostra os resultados do 3º caso com os dados do SICOTEN para a chave seccionadora n.º 1190 num determinado período do ano, com dados das 24 horas do dia, medindo corrente e tensão de fase, e calculado a potência trifásica. A Tabela 9 apresenta, também, a hora da simulação da falha, com o Tempo Médio de Atendimento de Emergência (TMAE), a Energia Não Suprida (ENS) em cada hora ou fração no período de falha, e a Energia Não Suprida (ENS) total.

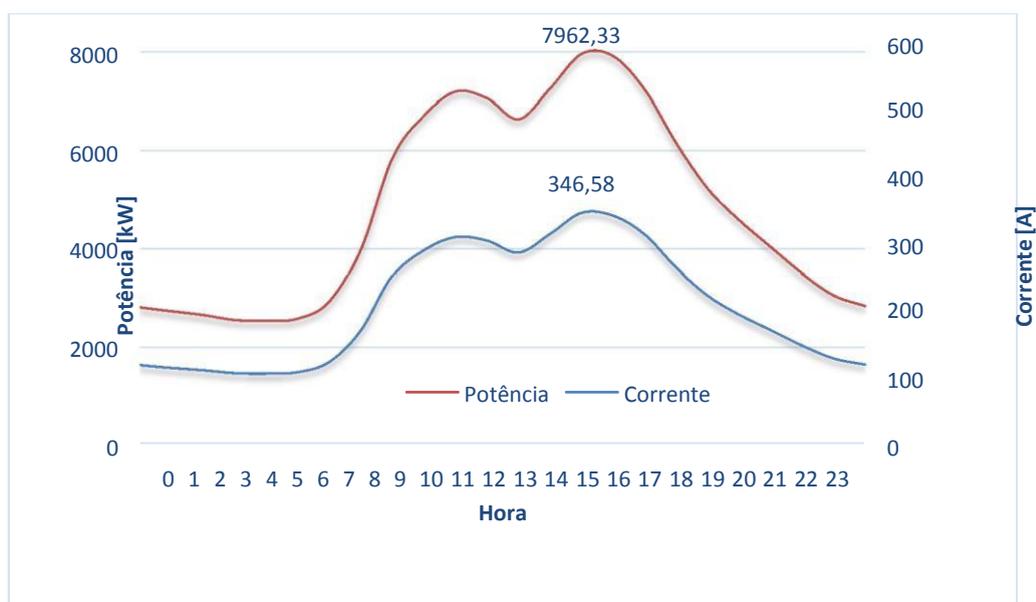
Tabela 9 - Dados do SICOTEN para o 3º caso

CHAVE Nº 1190													
		Hora											
Grand	Unid	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
I	A	120,27	116,18	112,8	108,46	107,77	109,8	124,82	171,3	252,46	291,21	310,49	304,98
V	kV	7,81	7,86	7,87	7,87	7,88	7,85	7,82	7,79	7,74	7,69	7,73	7,72
P3f	kW/h	2817,16	2739,8	2663,98	2562,02	2546,16	2587,2	2929,75	4003,23	5860,49	6714,6	7197,56	7058,67
		Hora											
Grand	Unid	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
I	A	287,59	315,33	346,58	342,07	313,95	264,66	223,83	195,47	172,68	149,54	130,32	121,22
V	kV	7,7	7,68	7,66	7,71	7,67	7,74	7,77	7,81	7,79	7,81	7,83	7,83
P3f	kW/h	6638,95	7266,24	7962,33	7911,99	7227,78	6147,06	5217,5	4580,52	4035,61	3501,36	3059,19	2845,59
SIMULAÇÃO DA FALHA AS 13:00 HORAS													
TMAE (horas)													2,72
Energia/hora (kWh)			7266,24	77962,33	7911,99	4498,946							
Total de ENS (kWh)													27549,50

Fonte: Banco de dados Celesc (Software Sicoten).

O Gráfico 5 mostra o comportamento Potência e da Corrente Elétrica em função do tempo do terceiro caso, com um pico de corrente de 346,58 A às 14h e automaticamente também com um pico de potência de 7962,33 kW no mesmo horário. O horário da simulação da falha foi escolhido exatamente no período de maior demanda decarga, isso para simular o maior impacto na possível avaria da chave seccionadora aquecida, e que não recebeu a devida manutenção.

Gráfico 5 - Potência e Corrente Elétrica na Seccionadora n.º 1190



Fonte: Do próprio autor (2022).

Ao observar as Tabelas 7, 8 e 9 com os dados do Sicoten e os seus respectivos gráficos, podemos chegar a conclusão que é muito oneroso para a Celesc a indisponibilidade de um alimentador, com perdas de faturamento e conseqüentemente de caixa.

4.5 CÁLCULO DO DEC NOS TRÊS CASOS

Determinação do DEC em uma eventual falha da chave seccionadora será calculado segundo Equação 12:

$$DEC_{cd} = \frac{UC_{cd} \times TMAE}{UC_{cj}} \quad (12)$$

Onde:

DEC_{cd} → duração equivalente de Interrupção por Consumidor, expresso em horas e centésimos de hora na falha da chave seccionadora;

U_{ccd} → quantidade de unidades consumidoras sem energia pela falha da chave seccionadora;

$TMAE$ → tempo médio de atendimento de emergência (igual a 3,61 para a CELESC); e

U_{ccj} → número de consumidores do conjunto (subestação) no qual a chave seccionadora está instalada.

Primeiro caso: utilizando a Equação 12

$$DEC_{1^\circ CASO} = \frac{6662 \times 2,72}{90293}$$

$$DEC_{1^\circ CASO} = 0,201$$

Segundo caso: utilizando a Equação 12

$$DEC_{2^\circ CASO} = \frac{7046 \times 2,72}{90293}$$

$$DEC_{2^\circ CASO} = 0,212$$

Terceiro caso: utilizando a Equação 12

$$DEC_{3^\circ CASO} = \frac{54 \times 2,72}{90293}$$

$$DEC_{3^o \text{ caso}} = 0,002$$

Avaliando também o incremento negativo que se tem no DEC da Celesc quando da possível avaria de uma chave seccionadora, que por ocasião não foi dada a devida manutenção ou troca, conclui-se que a mesma pode ser o divisor de águas de uma possível multa do órgão regulador, caso seja extrapolado o limete do DEC para esse determinado conjunto.

5 CONCLUSÃO

Com o decorrer do trabalho de conclusão de curso (TCC), com as teorias e casos práticos descritos no mesmo, bem como, o levantamento de custo de tudo que envolve uma inspeção termográfica, chegamos a uma conclusão que já tínhamos intuitivamente, com a prática dos mais de 15 anos de termografista. Em que a temperatura de aquecimento é um fator muito relevante na decisão da troca ou da manutenção corretiva da chave seccionadora.

Ficou comprovado que os custos com a inspeção termográfica fica bem abaixo dos custos operacionais com esse tipo de manutenção preditiva. Comprovado com os dados de compra dos termovisores, com a aquisição de veículo próprio para a inspeção embarcada, com os custos de manutenção e combustível com os veículos, e com todos os custos que envolve a figura do termografista.

Outro fato que se conclui é a respeito da energia não suprida, isso em caso de falha do equipamento aquecido, pois com a avaria, muitas unidades consumidoras ficam com indisponibilidade de energia, causando uma má impressão da sociedade a respeito da Celesc. Também com essa energia não suprida, acarreta em redução do incremento do caixa companhia e sobre tudo multas e devolução na fatura por indisponibilidade de energia.

Existem ainda fatores que não foram mensurados nesse trabalho de conclusão de curso (TCC), que é providencial salientar para enaltecer a grandeza e certificar do custo/benefício da inspeção termográfica para a diminuição de custos operacionais de manutenção da Celesc. Trata-se do fato que quando inspecionado um alimentador, não é só a chave seccionadora que é inspecionada, e sim todos os equipamentos e seus componentes ao longo de todo o trecho inspecionado, em média e baixa tensão.

Junto com o levantamento de todos os custos operacionais envolvidos numa inspeção termográfica, também foi aperfeiçoado um novo formato de relatório, substituindo o antigo que só apresentava informações térmicas do equipamento sob inspeção. Acrescentou-se informações de contribuição negativa de DEC (Duração Equivalente de Interrupção por Unidade Consumidora), no caso de uma falha do equipamento que não foi dada a devida manutenção em tempo hábil. Essa nova informação dá subsídios gerenciais para a tomada de decisão, pois com o conhecimento do acréscimo do DEC, sabendo-se da real situação do conjunto ANEEL que esse equipamento pertence, se está ótimo, bom, precário ou violado o gestor toda a decisão mais coerente e com justo conhecimento de causa.

Por fim é de suma importância ponderar, que não é só os custos diretos tratados e comprovados nesse trabalho de TCC quanto ao seu benefício e economia para a Celesc, que

são beneficiados com a inspeção termográfica. Quando é feita a manutenção termográfica, detectado um aquecimento, desenvolvido um bom relatório e entregue ao gestor para as devidas providências, está se evitando multas pesadíssimas do órgão regulador quando da violação do conjunto ANEEL sob inspeção.

REFERÊNCIAS

- AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). Tempo de Atendimento às Ocorrências Emergenciais. **ANEEL**, 28 jan. 2016. Disponível em: <https://antigo.aneel.gov.br/tempo-de-atendimento-as-ocorrencias>. Acesso em: 13 nov. 2015.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. Prodinst Módulo 8. **ANEEL**, 2021. Disponível em: https://www2.aneel.gov.br/cedoc/aren2021956_2_7.pdf. Acesso em: 15 mar. 2015.
- ANDRADE, Maria Margarida de. **Introdução à Metodologia do Trabalho Científico**. 10. ed. São Paulo: Atlas, 2017.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15572:2013. **Informação e documentação – Citações em Documentos - Apresentação**. Rio de Janeiro, 2013.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15763:2009. **Informação e documentação – Citações em Documentos - Apresentação**. Rio de Janeiro, 2009.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15866:2010. **Informação e documentação – Citações em Documentos - Apresentação**. Rio de Janeiro, 2010.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 16292:2014. **Informação e documentação – Citações em Documentos - Apresentação**. Rio de Janeiro, 2014.
- BEZERRA, Luciete Alves. **Uso de Imagens Térmicas em tumores mamários para validação de simulação computacional**. 2007. 73 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2007.
- BRASIL. Decreto n.º 8.461, de 2 de junho de 2015. **Regulamenta a prorrogação das concessões de distribuição de energia elétrica**. Brasília: Presidência da República, 2015. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2015-2018/2015/Decreto/D8461.htm. Acesso em: 19 out. 2022.
- CAJUEIRO, Roberta Liana Pimentel. **Manual para elaboração de trabalhos acadêmicos: guia prático do estudante**. 3. ed. Petrópolis: Rio de Janeiro, 2015.
- CHRZANOWSKI, K. **Non-Contact Thermometry — Measurement Errors, Research and Development Treaties**, 7, Warsaw: SPIE Polish Chapter, 2001.
- DENCKER, Ada de Freitas Maneti; VIÁ, Sarah Chucid da. **Pesquisa empírica em ciências humanas (com ênfase em comunicação)**. São Paulo: Futura, 2001.
- FLUKE. **Introdução aos princípios da termografia**. [S.l.]: Ed. ATP, 2009.
- GIL, Antônio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 5. ed. São Paulo: Atlas, 2010.
- HOLST, Gerald C. Common Sense approach to thermal imaging. **Winter Park (FL)**: JCD Publishing, 2000.

MADEIRA, Daniel. A relação da frequência com o comprimento de onda eletromagnética. **Dan Scientia**, 25 mar. 2010. Disponível em: <http://dan-scientia.blogspot.com/2010/03/relacao-da-frequencia-com-o-comprimento.html>. Acesso em: 19 out. 2022.

MALDAGUE, Xavier P.V.; MOORE, Patrick. **Infrared and Thermal Testing**. 3. ed. [S.l.]: ASNT, 2001.

MAMEDE FILHO, João. **Manual de equipamentos elétricos**. 3. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2005. Disponível em: <https://doceri.com.br/doc/manual-de-equipamentos-eletricos-joao-mamede-filhopdf-xv36m8yqee>. Acesso em: 7 out. 2022.

NUSSENZVEIG, Herch Moysés. Curso de Física Básica. **Fluidos, Oscilações e Ondas**. 3. ed. [S.l.]: Edgard Blücher, 1996.

OLIVEIRA, Silvio Luiz. **Tratado de metodologia científica**. São Paulo: Pioneira, 1997.

SNELL, J.; SPRING, R. W. Developing Operational Protocol for Thermographic Inspection Programs. *In: AN INTL CONF ON THERMAL SENSING AND IMAGING DIAGNOSTIC APPLICATIONS*, 14., 1992. **Proceedings** [...] SPIE 1682, Thermosense, 1992. Disponível em: <https://doi.org/10.1117/12.58519>. Acesso em: 7 out. 2022.

SOU NATURA. **Termografia clínica**. Braga, Portugal, 12 fev. 2017. Facebook: bragasounatura. Disponível em: <https://pt-br.facebook.com/bragasounatura/posts/959587550842253/>. Acesso em: 14 nov. 2022.

VERATTI, A. B. A Termografia Aplicada à Indústria Petroquímica. **Revista C&I**, p. 2-6, 1981.

VERMINNEN, Paul; VERATTI, A. B.; RABELLO JUNIOR, O. **Termografia – Princípios e Aplicações**. São Paulo: AGA S. A Sistemas Infravermelhos, 1984. Disponível em: <http://www.termonautas.com.br/artigos/101/101.pdf>. Acesso em: 10 out. 2022.

ANEXOS

DEFINIÇÃO DOS ENVOLVIDOS EM UMA INSPEÇÃO TERMOGRÁFICA

Para a utilização da termografia nas mais diversas áreas, bem como na área elétrica é necessário o conhecimentos de algumas teorias e conhecimento das funções interna de um termovisor, bem como a busca pela qualificação nos órgãos certificadores, como a ABENDI e INFRA RED TRAINING CENTER. Com tudo, a norma ABNT NBR 15572 (2013) dá a definição dos envolvidos em uma inspeção termográfica, e dos parâmetros da termografia, onde segue:

- a) inspetor termografista, pessoa responsável pela realização da inspeção e que tem conhecimentos dos equipamentos a serem inspecionados; que é capaz de executar e interpretar os resultados; conhece a operação do termovisor; e obedecem as práticas e normas de segurança (NR 10) e da empresa;
- b) assistente qualificado, pessoa que tem conhecimento sobre a operação do equipamento a ser inspecionado e sobre os requisitos de segurança; e
- c) usuário final, pessoa que assume a responsabilidade por consequências provenientes de ações tomadas, como os resultados obtidos da inspeção e designe um assistente qualificado para acompanhar o termografista.

DEFINIÇÃO DOS PARÂMETROS DA TERMOGRAFIA

- a) Termovisor, Equipamento que transforma em imagem térmica os diferentes níveis de radiação infravermelhos;
- b) Emissividade, capacidade que um corpo tem de emitir radiação infravermelha, a uma dada temperatura e comprimento de onda;
- c) Corpo negro, Equipamento feito em laboratório que exprime a característica do copo ideal, onde emite toda radiação por ele produzida, emissividade igual a um ($\epsilon=1$);
- d) Corpo real, na prática a emissividade varia com o comprimento de onda, então seria difícil medir a radiação infravermelha, pois não saberíamos qual valor de emissividade estabelecer, então no corpo real não conseguimos definir exatamente sua emissividade, sabemos que existe porém não mensurável.

- e) corpo cinza, um corpo cinza tem emissividade constante inferior a um ($\epsilon < 1$), seria a média da emissividade de um corpo real. Podemos sempre tratar um corpo real como se ele fosse um corpo cinza assim como é feito nos cálculos de temperatura da câmara;
- f) calor, calor é a transferência de energia de uma região para outra, como resultado de uma diferença de temperatura entre elas. Essa energia se origina da agitação das moléculas das quais a matéria é constituída e sua transferência se processa da região mais quente para a mais fria (HOLST, 2000);
- g) temperatura, “existe uma grandeza escalar chamada de temperatura, que é uma propriedade de todos os sistemas termodinâmicos em equilíbrio térmico” (NUSSENZVEIG, 1996). Ainda nessa mesma linha de considerações, a quantidade que informa quão quente ou frio é um objeto em relação a algum padrão é chamada de temperatura, e uma vez que corpos estejam em equilíbrio térmico (mesma temperatura), sua temperatura não se altera mais, a menos que seja perturbado por um meio externo (HALLIDAY; KRANE; RESNICK, 1996; OLIVEIRA, 1997; FLUKE, 2009).

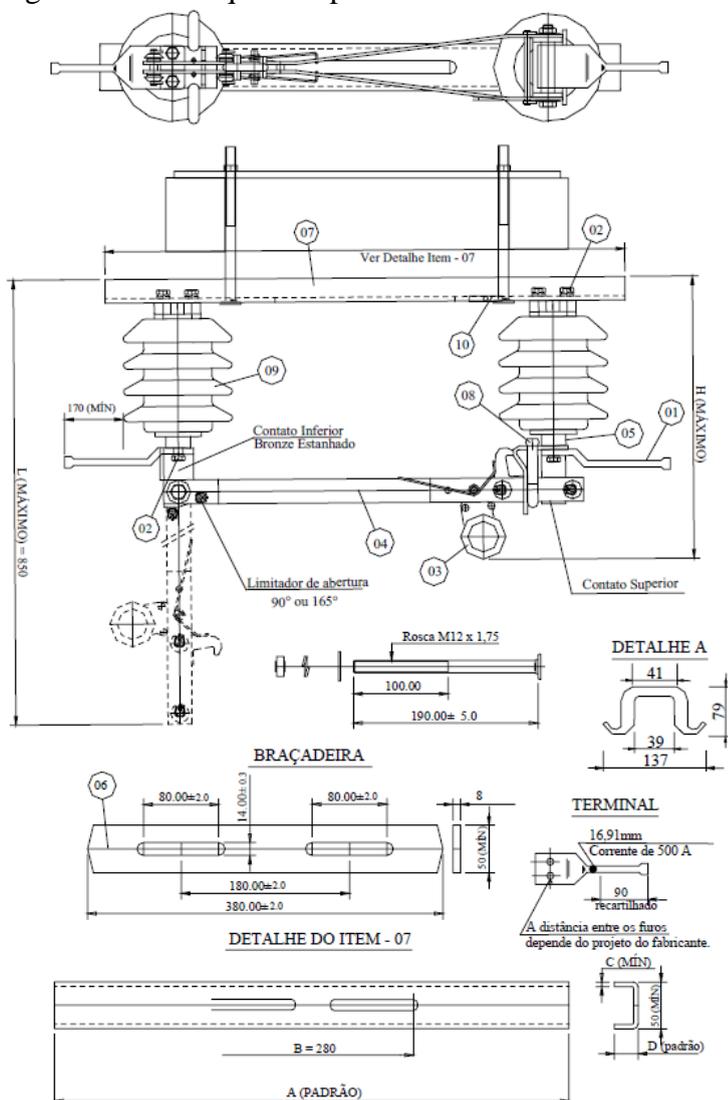
CHAVE SECCIONADORA E SEUS COMPONENTES

Conforme a norma NBR 6935, a chave seccionadora é um dispositivo mecânico de manobra capaz de abrir e fechar um circuito elétrico quando uma corrente de intensidade desprezível é interrompida ou restabelecida. Também é capaz de conduzir correntes sob condições normais do circuito e, durante um tempo especificado, correntes sob condições anormais, como curto-circuito.

Devido ao estudo de caso ser especificamente em cima de chaves seccionadoras faz-se necessário o conhecimento das partes que representam uma chave seccionadora de redes de distribuição de energia elétrica, conforme Figura 1.

A Figura 1 mostra em detalhes as partes que compõem uma chave seccionadora.

Figura 1 - Partes que compõem uma chave seccionadora



Fonte: Manual Especial da CELESC E-31300.13

A Tabela 1 apresenta a legenda referente aos itens da Figura 1, bem como o material empregado em sua fabricação, principalmente nas partes móveis que conduzem a corrente elétrica, fato esse muito relevante para se ponderar o possível aquecimento deles.

Tabela 1 - Componentes da Chave Seccionadora

ITEM	DENOMINAÇÃO	QTD	MATERIAL	OBS
01	Terminais	2	Liga de "cu"	Estanhado
02	Parafusos e Arruelas	8	Zincado	
03	Gatilho da Chave	1	Bronze	
04	Lâmina de Cobre Unipolar	1	"cu" Eletrolítico	
05	Ferragem de Fixação na Porcelana	4	"fe" Fundido Galv.	
06	Braçadeira	1	Aço	Galv. a quente
07	Base (chassi unipolar)	1	Aço	
08	Gancho para Abertura Sob Carga	1	Metal não Ferroso	Galv. a quente
09	Isolador cor Cinza	2	Porcelana/Polimérico	
10	Placa de Identificação	1	Alumínio	Anodizado

Fonte: Manual Especial da CELESC e-31300.13

A Tabela 2 apresenta principalmente a tensão de trabalho da chave seccionadora, como também sua capacidade de condução de corrente elétrica.

Tabela 2 - Chave seccionadora Características Elétricas

Item	Tensão Máx de operação (kV)	Corrente Nominal (A)	Tensão Suportável de impulso atmosférico (crista kV)		Tensão suportável à frequência industrial 1 min (kV)		Corrente suportável nominal de curta duração (kA/s)	Código Celesc
			À terra e entre polos	Entre contatos abertos	À terra e entre polos	Entre contatos abertos		
A	24,2	500	125	140	50	55	12,5	7716
B	36,2	500	150	165	70	77	12,5	7717

Fonte: Manual Especial da CELESC e-31300.13

CARACTERÍSTICAS DAS CHAVES SECCIONADORAS

As chaves devem ser adequadas para montagem em cruzetas, operáveis por vara de manobra com ou sem equipamento auxiliar para abertura em carga, e devem ser projetadas para trabalhar sob as seguintes condições normais de serviço (Manual Especial, E-31300.13):

- Altitude não superior a 1000 m;
- Temperatura máxima do ar ambiente de 40°C e o valor médio obtido num período de 24 horas, não superior a 35°C;
- Temperatura mínima do ar ambiente não inferior a -5°C; e
- Pressão do vento não superior a 700 Pa (70 daN/m²).

SUAS CARACTERÍSTICAS CONSTRUTIVAS DEVEM OBEDECER AOS ITENS A SEGUIR:

- a) Lâminas, devem ser de cobre eletrolítico, e quando em lâmina dupla devem ser rigidamente fixadas uma em relação à outra e convenientemente dimensionadas para resistir aos esforços eletromecânicos;
- b) Contatos, devem ser de cobre ou material de características eletromecânicas superiores, com os contatos feitos por pontos ou linhas, de modo a garantir uma alta pressão, autolimpeza, sendo que a ação de varredura não deve provocar abrasão ou arranhadura na superfície dos mesmos. As molas para manter a pressão nos contatos devem ser de bronze-fosforoso ou aço inoxidável. O fabricante deve informar a área do contato principal (lâmina) da chave a ser certificada.
- c) Terminais, devem ser do tipo espada, próprios para conectores cunha, em cobre ou liga de cobre, com formato cilíndrico, estanhados, com espessura mínima de 8 micra para qualquer amostra e 12 micra para a média das amostras. Os terminais espada deverão atender a capacidade de corrente da chave (500A) e ter a mesma bitola do CABO 336,4 CA ($\varnothing 16,91 \pm 0,3$ mm).

INSPEÇÃO E RELATÓRIO

Para o desenvolvimento de um relatório e inspeção termográfica, faz-se necessária a observação de alguns itens, desde o conhecimento acadêmico e aplicação das normas existentes, até o desenvolvimento final do produto (relatório de anomalias). Para o desenvolvimento desse relatório, devemos ter como ponto de partida a aplicação das normas brasileiras e, se necessário, as normas internacionais. Como já citadas no item 2.2.1

Na inspeção termográfica, deve-se seguir procedimentos e conhecer as teorias nas quais serão baseadas para a produção do relatório final, dentre elas estão:

- a) Conhecimentos básicos para a realização da inspeção;
- b) Tipos de termografia; e
- c) Requisitos e formação – A equipe deve ser formada por profissionais com treinamentos específicos e reconhecimento formal por um organismo de certificações (item 4, ABNT NBR 15572 (2013)). Além disso, os profissionais envolvidos deverão possuir treinamento em NR 10 Básico e Sistema Elétrico de Potência, conforme determina o Ministério do Trabalho e Emprego.

Para que se tenha uma maior confiabilidade na inspeção, bem como no relatório, é indispensável o conhecimento sobre alguns parâmetros que afetam a medição da temperatura de aquecimento, tais como:

- a) Distância;
- b) Foco;
- c) Faixa de temperatura (Range);
- d) Emissividade – parâmetro adimensional que estabelece a relação entre a quantidade de energia irradiada por um corpo em estudo e a que seria emitida por um corpo negro, à mesma temperatura e comprimento de onda. A emissividade varia entre 0 a 1 (ABNT NBR 15424:2006);
- e) Transmissividade – porção de energia incidente sobre um corpo, que é transmitida por este, em um dado comprimento de onda. Para um corpo opaco, a transmissividade é igual a 0. Materiais transparentes possuem valores de transmissividade entre 0 e 1 (ABNT NBR 15424:2006);
- f) Reflexibilidade – porção de energia incidente sobre uma superfície, que é refletida por esta, em dado comprimento de onda. Para um espelho perfeito, a refletividade é 1, e para um corpo negro é 0 (ABNT NBR 15424:2006);
- g) Temperatura ambiente – temperatura do meio circundante ao objeto (ABNT NBR 15424:2006);
- h) umidade do ar; e
- i) clima.

Dentre esses fatores, o item que mais se destaca é a importância da utilização do valor correto da emissividade.

PROCEDIMENTO DO TRABALHO

De acordo com a NBR 15572 (2013), item 9, em que descreve diversos procedimentos para serem seguidos pelo envolvidos na inspeção, podemos citar (ABNT, 2013):

- a) Preparação dos equipamentos e materiais: câmera termográfica calibrada, termohigroanômetro calibrado, alicate amperímetro, entre outros;
- b) Práticas para inspeção: designação de assistente qualificado pelo usuário final, informações sobre a instalação (por exemplo: zonas de riscos e controlada); efetuar os ajustes nos equipamentos (emissividade), observação do ângulo de inspeção entre o termovisor e o ponto a ser inspecionado, entre outros; e

- c) Práticas de segurança: observar EPI e zona livre para posicionamento do termografista, realizar uma inspeção visual verificando possíveis anomalias.

CRITÉRIOS PARA AVALIAÇÃO DE SEVERIDADE

A norma NBR 15572 (ABNT, 2013) menciona que: “a avaliação da severidade da anomalia térmica deve ser realizada seguindo os critérios próprios do usuário final, requisitos normativos, quando eventualmente adotados, ou recomendações do fabricante”. Para a análise termográfica nos baseamos no critério retirado da Standard for Infrared Inspection of Electrical Systems & Rotating Equipment:

Além disso, a norma ABNT NBR 15866 (ABNT, 2010) descreve que uma anomalia pode ser referenciada em relação a:

- a) Um valor estabelecido pelo fabricante nas condições nominais (MTA); Máxima Temperatura Admissível. O objetivo da inspeção termográfica é a detecção de pontos quentes, sobreaquecimento em equipamento que normalmente não apresenta essa diferença de temperatura quando comparados em condições de operação normal. Essas anomalias por aquecimento são geradas por diversos motivos, dentre eles conexões mal fixadas, curtos-circuitos, sobrecargas e desequilíbrios. Como já citado, o termografista deverá ter o conhecimento da temperatura máxima sob a qual o equipamento a ser inspecionado pode funcionar sem causar nenhum transtorno ao próprio equipamento, e do sistema elétrico em que esse equipamento está operando. Para essas informações é preciso, além de conhecer as normas brasileiras e internacionais, consultar os manuais dos equipamentos;
- b) Um elemento similar adjacente (DELTA T);
- c) Um valor estabelecido pelo usuário final com base no histórico operacional; e
- d) Critérios definidos pelo responsável técnico da análise termográfica.

A Tabela 3 mostra a prioridade com a ação recomendada para o determinado Delta “T” de aquecimento do equipamento, que é a temperatura indicada pelo termovisor menos a temperatura ambiente no momento da inspeção.

Tabela 3 - Critérios para Avaliação da Severidade (Delta T)

Prioridade	Delta "T"	Ação Recomendada
4	1 °C a 10 °C	Medidas corretivas devem ser tomadas no próximo período de Manutenção.
3	>10 °C a 20 °C	Medidas corretivas com agendamento
2	>20 °C a 40 °C	Medidas corretivas assim que possível
1	>40 °C	Medidas corretivas imediatas

Fonte: Standard for Infrared Inspection of Electrical Systems & Rotating Equipment.

A Tabela 4 mostra a prioridade com a ação recomendada para a determinada máxima temperatura admissível de um determinado componente de um equipamento. Por exemplo, na linha 2 mostra uma prioridade nível quatro (4), quando a temperatura de uma parte de um determinado equipamento estiver entre 60 a 70 % da máxima temperatura admissível para o mesmo, e mostra a ação recomendada.

Tabela 4 - Critérios para Avaliação da Severidade com MTA

Prioridade	MTA	recomendada
4	> 60% da temperatura máxima até 70%	Medidas corretivas devem ser tomadas na próxima manutenção periódica. As temperaturas obtidas e as condições de serviço do equipamento não colocam em risco a instalação.
3	> 70% da temperatura máxima até 80%	Medidas corretivas necessárias. As temperaturas obtidas e as condições de serviço do equipamento já recomendam alguma atenção.
2	> 80% da temperatura máxima até 100%	Medidas corretivas necessárias o mais rápido possível. As temperaturas obtidas e as condições de serviço do equipamento colocam sérios riscos de incidente a um curto prazo.
1	> temperatura máxima	Medidas corretivas necessárias imediatamente. As temperaturas obtidas e o estado do equipamento indicam risco a qualquer momento.

Fonte: Ensaio termográficos, prof. Gabriel Rodrigues de Souza.

DEC E FEC

São indicadores de continuidade estabelecidos pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) a fim de avaliar constantemente a qualidade do serviço prestado pelas Distribuidoras de Energia Elétrica, bem como definir as multas pela violação dos conjuntos.

Visando manter a qualidade na prestação do serviço público de distribuição de energia elétrica, a ANEEL exige que as concessionárias mantenham um padrão de continuidade e, para tal, edita limites para os indicadores coletivos de continuidade, DEC (Duração Equivalente de Interrupção por Unidade Consumidora) e FEC (Frequência Equivalente de Interrupção por Unidade Consumidora) (ANEEL, 2016).

Qualquer interrupção de fornecimento de energia elétrica a consumidores, superior a 3 (três) minutos, deverá ser computada para o cálculo dos indicadores DEC e FEC, excluindo-se apenas as falhas internas às instalações de consumidores e que não provocam interrupções em outros consumidores. Um fato que ocorreu em 2015 tornou ainda mais importante a inspeção termográfica nas redes de distribuição de energia elétrica, trata-se das novas regras de prorrogação da concessão do serviço público de distribuição.

O contrato atual de concessão da CELESC Distribuição e de outras 32 Distribuidoras venceram em 07 de julho de 2015, e as novas regras para prorrogação trazem metas de melhoria dos parâmetros desafiadoras e progressivas. Dois desses parâmetros a serem avaliados e que o estudo desse trabalho pode contribuir em alcançar as novas metas estabelecidas pelo órgão regulador são o DEC e FEC. A importância em alcançar as metas dá-se pelo motivo que violados esses parâmetros dois anos consecutivos, ou ainda qualquer um deles no último ano, ocorre o processo de extinção da concessão de Distribuição de Energia Elétrica. Como explica a Nota Técnica nº 0175/2015-SCT-SFE-SFF-SRD-SRM/ANEEL.