



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA**

TIAGO PEREIRA DOS SANTOS

**O ESTUDO DO ESTADO DA ARTE DOS PROCEDIMENTOS DE TERMOGRAFIA
NA MANUTENÇÃO DOS SISTEMAS ELÉTRICOS**

**FORTALEZA
2017**

TIAGO PEREIRA DOS SANTOS

O ESTUDO DO ESTADO DA ARTE DOS PROCEDIMENTOS DE TERMOGRAFIA NA
MANUTENÇÃO DOS SISTEMAS ELÉTRICOS

Monografia submetida ao Curso de Engenharia Elétrica da Universidade Federal do Ceará como parte dos requisitos para obtenção do grau de Graduado em Engenharia Elétrica.

Área de concentração: Manutenção em Sistemas Elétricos.

Orientador: Prof. MsC. Carlos Gustavo Castelo Branco.

FORTALEZA

2017

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca Universitária

Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

- S239e Santos, Tiago Pereira dos.
O estudo do estado da arte dos procedimentos de termografia na manutenção dos sistemas elétricos /
Tiago Pereira dos Santos. – 2017.
94 f. : il. color.
- Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia,
Curso de Engenharia Elétrica, Fortaleza, 2017.
Orientação: Prof. Me. Carlos Gustavo Castelo Branco..
1. Termografia. 2. Termovisor. 3. Inspeção Termográfica. 4. Termoleitura. 5. Manutenção de sistemas
Elétricos. I. Título.

CDD 621.3

TIAGO PEREIRA DOS SANTOS

O ESTUDO DO ESTADO DA ARTE DOS PROCEDIMENTOS DE TERMOGRAFIA NA
MANUTENÇÃO DOS SISTEMAS ELÉTRICOS

Esta monografia foi julgada adequada para a
obtenção do grau de Graduado em Engenharia
Elétrica e aprovada em sua forma final pelo
Orientador e pela Banca Examinadora.

Aprovada em: ____/____/____.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Msc. Carlos Gustavo Castelo Branco (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Francisco Kléber de Araújo Lima
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Eng. Fábio Sales de Menezes
FS Projetos

A Deus.

Aos meus pais, Marco Antônio e Izabel.

A minha esposa Karlla Mayara.

A todos meus amigos e familiares que de alguma forma fizeram parte dessa caminhada.

AGRADECIMENTOS

À Deus e sua infinita misericórdia e bondade em minha vida, as quais me trouxeram até aqui.

À minha querida e amada esposa Mayara, que têm sido minha companheira em meio as mais variadas situações que a vida nos proporciona.

À meus pais Marco Antônio e Izabel com sua infinita paciência e amor que me deram livremente desde o momento em que souberam da minha existência. Nunca deixaram de acreditar em seu filho.

A minha querida irmã Isabelle, cuja saudade me manteve firme em terminar a graduação a fim de voltar a tê-la por perto novamente.

À minha família, que sempre foi um alicerce em minha vida, não importando as circunstâncias.

Ao eterno mestre Fábio Sales que acrescentou em muito em minha vida profissional com suas lições que certamente levarei para a vida.

A toda equipe do Planejamento e Manutenção de Redes AT/MT e Subestações da ENEL, onde dei meus primeiros passos profissionais.

Aos ilustres Eng. Paulo Roberto Braga, Eng. Bruno Veratti e Téc. Hosterm, aos quais sou profundamente grato pelas informações valiosas compartilhadas, sem sua ajuda esse trabalho não teria sido possível.

Aos meus queridos e inestimáveis amigos que me impulsionaram nesses anos de faculdade com seus encorajamentos.

“...a tribulação produz perseverança; a perseverança, um caráter aprovado; e o caráter aprovado, esperança. “

Romanos 5:3-4 (NVI)

“Tudo tem o seu tempo determinado, e há tempo para todo propósito debaixo do céu.”

Eclesiastes 3:1 (AR)

RESUMO

A análise termográfica como ferramenta na manutenção dos sistemas elétricos vem ganhando espaço cada vez maior. No entanto, a divulgação da atuação e da grande importância da termografia no cenário dos sistemas elétricos tem sido escassa, tímida e pouca divulgada. Com esse sentimento, de promover a importância dessa atividade, a profundidade nas análises, o ganho que se pode ter através das inspeções termográficas e instigar uma maior pesquisa e divulgação dessa atividade, esse trabalho tem como meta consolidar uma fonte, um aparato informativo com a concretização sobre o estado da arte dos procedimentos de termografia na manutenção dos sistemas elétricos. Para embasar o leitor no universo termográfico, é apresentado o histórico da termografia, de forma objetiva, desde os princípios que deram vida ao que a termografia é hoje, passando também pelo panorama sobre os campos que a Termografia tem alçado hoje. É apresentada a base teórica que se pressupõe ser fundamental para a compreensão correta e a concisa ambientação com a física que envolve a termoleitura. Em seguida é discorrido sobre a parte técnica da termografia com o funcionamento de um termovisor, ferramenta utilizada na termoleitura. É dissertado neste trabalho todo procedimento técnico da termoleitura com utilização do termoleitor, com o fito de expor os aspectos técnicos que englobam a atividade profissional e uso da leitura térmica. A atividade da manutenção com uso do termovisor é envolta em um conjunto normativo que a regulariza; este conjunto de normas e recomendações são tratados neste trabalho, reunindo-se um grande aparato de documentos de caráter nacional e internacional. Toma-se por objeto de detalhamento e esclarecimento neste trabalho a normatização vigente e em que se ampara a atividade termográfica no Ceará, com um total de 8 normas, em uso pela Enel, empresa responsável pela distribuição de energia elétrica no estado do Ceará, que regularizam e norteiam por várias vias o uso da termografia. Para consolidação e apresentação da atuação e dos benefícios que as inspeções termográficas trazem, é exposto alguns casos e suas análises nas áreas de atuação da termografia voltada a equipamentos do sistema elétrico. Por fim, é discorrido sobre a nova tendência em se usar drones nas mais variadas áreas, em específico na área de atuação da manutenção, com especial atenção as inspeções termográficas. Conclui-se que a utilização da termografia, no quadro de manutenção dos sistemas elétricos, é de assaz importância e trás consigo resultados muito proveitosos aos seus usuários.

Palavras-chave: Termografia. Termovisor. Inspeção Termográfica. Termoleitura. Manutenção de Sistemas Elétricos.

ABSTRACT

The thermographic analysis as a tool in the maintenance of electrical systems has been gaining increasing space. However, the disclosure of the performance and the great importance of thermography in the scenario of electrical systems has been scarce, timid and little publicized. With this feeling, of promoting the importance of this activity, the depth of analysis, the gain that can be obtained through thermographic inspections and instigating a greater research and dissemination of this activity, this work has as a goal to consolidate a source, an informative apparatus with the on the state of the art of thermography procedures in the maintenance of electrical systems. To base the reader in the thermographic universe, the history of thermography is presented, in an objective way, from the principles that gave life to what thermography is today, passing also by the panorama on the fields that the thermography has raised today. It presents the theoretical basis that assumes to be fundamental for the correct understanding and the concise ambiance with the physics that involves the thermoelement. Then it is discussed on the technical part of the thermography with the operation of a thermovisor, a tool used in the thermoelement. This dissertation deals with the technical procedure of thermoelement with the use of the thermoeleitor, in order to expose the technical aspects that encompass the professional activity and the use of thermal reading. The maintenance activity with the use of the thermal imager is wrapped in a normative set that regulates it; this set of norms and recommendations are treated in this work, bringing together a great apparatus of documents of national and international character. The purpose of detailing and clarifying in this work is the normativity in force and in which thermographic activity in Ceará is supported, with a total of 8 standards, in use by Enel, a company responsible for the distribution of electric energy in the state of Ceará, which regulate and guide the use of thermography in various ways. For the consolidation and presentation of the performance and the benefits that the thermographic inspections bring, some cases and their analysis are exposed in the areas of thermography work focused on electrical system equipment. Finally, it is discussed the new tendency to use drones in the most varied areas, specifically in the field of maintenance, with special attention to thermographic inspections. It is concluded that the use of thermography in the maintenance of electrical systems is of great importance and brings with it very beneficial results to its users.

Keywords: Thermography. Thermovisor. Thermographic Inspection. Thermoreading. Maintenance of Electrical Systems.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Evolução dos Termovisores.....	21
Figura 2 - Mecanismos de Transferência de Calor.....	23
Figura 3 - Transferência de calor por condução em uma seccionadora. A seta indica a direção do fluxo de calor, do ponto de mais alta temperatura T1, para áreas de menor temperatura T2.	23
Figura 4 - Termograma de um Transformador de Potencial e a visualização do nível de óleo.	24
Figura 5 - Espectro eletromagnético.....	25
Figura 6 - Imagens visíveis por um termovisor.....	25
Figura 7 - Diagrama Simplificado de um Termovisor genérico.....	27
Figura 8 - Parte frontal de um Termovisor da Fluke, série Ti.....	28
Figura 9 - Parte traseira de um Termovisor da Fluke, série Ti.....	28
Figura 10 - Imagens Termográficas.....	29
Figura 11 - Câmera termográfica Flir One - Pro.....	30
Figura 12 - (a) Testo 890-1; (b) Flir - T1020 (T1K).....	30
Figura 13 - Método Comparativo.....	36
Figura 14 - Método Referencial.....	37
Figura 15 - Método de Tendências Térmicas.....	37
Figura 16 - Efeito do vento sobre a temperatura de um disjuntor a óleo. (a) Com velocidade do vento igual a 0 km/h – (b) Com velocidade do vento moderada.....	42
Figura 17 - Termogramas de um Transformador de Corrente, sob o Sol, obtidos no mesmo horário, mas de posições opostas. (a) A favor do Sol – (b) Contra o Sol.....	43
Figura 18 - Reflexo solar em uma conexão de baixa emissividade. (a) Reflexo solar no visível. (b) Reflexo solar no infravermelho provocando uma falsa alta temperatura no termograma.	43
Figura 19 – Fluxograma do processo de planejamento e controle da manutenção das Linhas de Distribuição de MT e AT.....	54
Figura 20 - Etiqueta de Calibração de Termovisor.....	56
Figura 21 - Etiqueta de Termovisor Não Conforme.....	56
Figura 22 - Fluxo de Desenvolvimento da Confirmação Metrológica (esquerda) e Fluxo de Implementação da Confirmação Metrológica (direita).	57
Figura 23 - Ponto quente em uma conexão cabo-cabo.....	62

Figura 24 - Cabo com extensão de 82 metros aquecida 34 °C acima da temperatura ambiente.	63
Figura 25 - Ponto quente no cabo.....	64
Figura 26 - Terminal mufla danificado.....	64
Figura 27 - Deterioração do isolamento entre o cabo e a malha de aterramento	65
Figura 28 - Deteriorização do isolamento	65
Figura 29 - Refinaria Presidente Bernardo	66
Figura 30 - Transformador da Unidade de Coque de Petróleo 2 – UCP2.....	67
Figura 31 - Imagem térmica dos radiadores do transformador	68
Figura 32 - Radiadores funcionando corretamente, após correção do problema	68
Figura 33 – Transformadores 4,16 kV/480 V	69
Figura 34 - Constatação de anomalias térmicas nos radiadores dos transformadores 4,16 kV/480 V	70
Figura 35 - Imagem térmica feita após ação corretiva nos radiadores	71
Figura 36 - Ponto quente em chave seccionadora	72
Figura 37 - Angulo lateral de aquecimento do equipamento.....	72
Figura 38 - Parafuso de regulagem.....	73
Figura 39 -Técnico da CEEE corrigindo a anomalia.....	73
Figura 40 - Uso de drone em Inspeção	74
Figura 41 - Características do drone em comparação com o VANT e o helicóptero.....	75
Figura 42 - Nauru 500B.....	77
Figura 43 - Ponto quente em painel solar	80
Figura 44 - Identificação de painéis solares danificados.....	80
Figura 45 - Engenheiro verificando o painel danificado	81

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Emissividade dos Componentes	41
Tabela 2 - Classificação quanto ao tipo de manutenção por classe de temperatura	44
Tabela 3 - Distância mínima de segurança, LTs	59
Tabela 4 - Distância mínima de segurança, SEs.....	60

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABENDI	Associação Brasileira de Ensaaios Não Destrutivos
ANAC	Agência Nacional de Aviação Civil
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
ANSI	American National Standards Institute
ASTM	ASTM International
AT	Alta Tensão
BT	Baixa Tensão
CASA	Civil Aviation Safety Authority
CEN	European Committee for Standardization
CEPEL	Centro de Pesquisas de Energia Elétrica
CMA	Certificado Médico Aeronáutico
DCT	Diretriz e Critérios Técnicos – Documento da ENEL
EASA	European Aviation Safety Agency
EN	European Norm
EPI	Equipamento de Proteção Individual
EPC	Equipamento de Proteção Comum
FAA	Federal Aviation Administration
GOM	Gestão de Obras e Manutenção
IEC	International Electrotechnical Commission
ISO	International Organization for Standardization
IT	Instrução de Trabalho – Documento da ENEL
LT	Linha de Transmissão
MT	Média Tensão
ONS	Organismo de Normalização
OT	Ordem de Trabalho
PAI	Plano Anual de Inspeção
PEX	Procedimento de Execução – Documento da ENEL
RPA	Remotely Piloted Aircraft
SE	Subestação de Energia Elétrica
TC	Transformador de Corrente

TP Transformador de Potencial
VANT Veículo Aéreo Não Tripulado

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	19
1 INTRODUÇÃO	19
1.1 Breve histórico	19
1.2 Panorama sobre a Termografia e sua utilização	21
1.3 Fundamentos teóricos	22
1.3.1 <i>Calor</i>	22
1.3.2 <i>Temperatura</i>	22
1.3.3 <i>Modos de Transferência de Calor</i>	22
1.3.3.1 <i>Condução</i>	23
1.3.3.2 <i>Convecção</i>	24
1.3.3.3 <i>Radiação</i>	25
1.3.4 <i>Emissividade</i>	26
1.4 O termovisor	26
1.4.1 <i>Funcionamento básico de um termovisor</i>	26
1.4.2 <i>Imagens de um termovisor</i>	29
1.4.3 <i>Termovisores disponíveis no mercado atual</i>	29
1.4.4 <i>Recursos inovadores das atuais câmeras termográficas</i>	31
1.5 Justificativa do tema selecionado	32
1.6 Objetivo do trabalho	32
1.7 Estrutura organizacional do Trabalho	32
CAPÍTULO 2	35
2 A TERMOGRAFIA EM TERMOS TÉCNICOS	35
2.1 Medições Termográficas	35
2.1.1 <i>Medição Remota de Temperaturas</i>	35

2.1.2	<i>Comparação entre aquecimentos detectados</i>	35
2.1.3	<i>Metodologia de inspeções termográficas</i>	36
2.1.3.1	<i>Método Comparativo</i>	36
2.1.3.2	<i>Método Referencial</i>	36
2.1.3.3	<i>Método de Tendências Térmicas</i>	37
2.1.4	<i>Fatores que influenciam sobre a Inspeção Termográfica</i>	38
2.1.4.1	<i>Influências de cunho pessoal</i>	38
2.1.4.1.1	Aptidão Física	38
2.1.4.1.2	Treinamento	38
2.1.4.1.3	Alinhamento da atividade com as Normas.....	39
2.1.4.2	<i>Influências técnicas</i>	39
2.1.4.2.1	Calibração	39
2.1.4.2.2	Características do termovisor para o serviço em questão	39
2.1.4.2.3	Localização	40
2.1.4.2.4	Corrente de carga	40
2.1.4.2.5	Emissividade	41
2.1.4.3	<i>Influências atmosféricas</i>	41
2.1.4.3.1	Velocidade do vento.....	42
2.1.4.3.2	Temperatura ambiente.....	42
2.1.4.3.3	Incidência do Sol.....	43
2.1.5	<i>Plano de Inspeção</i>	44
2.1.6	<i>Critérios para intervenção</i>	44
2.1.6.1	<i>Disjuntores, Religadores e Chaves a Óleo</i>	45
2.1.6.2	<i>Pára-Raio</i>	45
2.1.6.3	<i>Transformador</i>	45
2.1.6.4	<i>Conexões e Emendas</i>	45
2.2	Ponto Quente	45
2.3	Ponto Crítico	46
2.4	Preenchimento do Relatório de Ponto Quente (RPQ)	46
CAPÍTULO 3	47

3	ANÁLISE NORMATIVA.....	47
3.1	Normas e recomendações internacionais.....	47
3.2	Normas ABNT	48
3.3	Normas ENEL.....	50
3.3.1	<i>DCTs Referentes a Estratégia de Manutenção</i>	50
<i>3.3.1.1</i>	<i>Estratégia de Manutenção de Linhas de Alta Tensão e Subestações</i>	<i>50</i>
<i>3.3.1.2</i>	<i>Estratégia de Manutenção de Linhas de Média e Baixa Tensão</i>	<i>51</i>
3.3.2	<i>ITs Relevantes na Manutenção com Uso dos Termovisores</i>	52
<i>3.3.2.1</i>	<i>LT MT/AT.....</i>	<i>53</i>
<i>3.3.2.2</i>	<i>SEs de Distribuição.....</i>	<i>54</i>
<i>3.3.2.3</i>	<i>Controle, Verificação e Calibração dos Instrumentos de Medição.....</i>	<i>55</i>
<i>3.3.2.4</i>	<i>Inspeções Termográficas em SE de Distribuição e Linhas de Distribuição de AT</i>	<i>58</i>
3.3.3	<i>PEX sobre Inspeção Termográfica.....</i>	58
<i>3.3.3.1</i>	<i>Inspeção Termográfica em Linhas de Distribuição de 72,5 kV.....</i>	<i>58</i>
<i>3.3.3.2</i>	<i>Inspeção Termográfica em SEs.....</i>	<i>60</i>
CAPÍTULO 4.....		61
4	EXPOSIÇÃO DE CASOS NAS ÁREAS DE ATUAÇÃO DA TERMOGRAFIA	61
4.1	Cabos	61
<i>4.1.1</i>	<i>Usina Nuclear Angra I.....</i>	<i>61</i>
<i>4.1.2</i>	<i>SE em Canoas-RS</i>	<i>63</i>
4.2	Transformadores	66
<i>4.2.1</i>	<i>Refinaria Presidente Bernardo (Petrobrás)</i>	<i>66</i>
<i>4.2.1.1</i>	<i>Transformador da Unidade de Coque de Petróleo 2 – UCP2.....</i>	<i>67</i>
<i>4.2.1.2</i>	<i>Transformadores para cargas elétricas em 480 V.....</i>	<i>68</i>
4.3	Chave seccionadora	71
<i>4.3.1</i>	<i>SE Garibaldi/ LT Farroupilha – 230 kV.....</i>	<i>71</i>

CAPÍTULO 5	74
5 A UTILIZAÇÃO DE DRONES NA TERMOGRAFIA	74
5.1 Aplicações e justificção do seu uso	74
5.2 O drone e a câmara termal	76
5.3 Regulamentação, certificação e treinamento	77
5.4 O drone e a Enel (Ceará)	79
5.5 Imagens de inspeções termográficas com uso de drone.	79
CAPÍTULO 6	82
CONCLUSÃO	82
TRABALHOS FUTUROS	84
REFERÊNCIAS	85
ANEXO	88
ANEXO A – Periodicidade da manutenção	88
ANEXO B – Plano de Manutenção	89
ANEXO C – Inspeção Termográfica em LT – Passo a Passo	90
ANEXO D – Inspeção Termográfica em SE – Passo a Passo	91
ANEXO E – Relatório de Inspeção Termográfica em SE CIN - Canoas	92
ANEXO F – Diagrama Unifilar de operação da SE Garibaldi	93
ANEXO G – Certificado de Cadastro de Aeronave Não Tripulada – Habilitação para uso de drone	94

CAPÍTULO 1

1 INTRODUÇÃO

O Capítulo 1 tem por objetivo apresentar o assunto tratado nesta monografia. É apresentado um breve histórico seguido de um panorama sobre a termografia e sua utilização, para ambientação no assunto. Também são apresentados os fundamentos teóricos em que a termografia se alicerça. Por fim, o funcionamento básico de um termovisor, aparelho utilizado na termografia. Além do mencionado, é apresentada, também, a justificativa da escolha do tema, o objetivo atingido com a elaboração desta monografia e a estrutura organizacional do trabalho.

1.1 Breve histórico

A abordagem histórica tem início com Galileo Galilei, em 1595, com a invenção do primeiro instrumento destinado à medição de temperaturas: o termoscópio, cujo princípio de funcionamento baseava-se na variação de volume de um gás com a temperatura. Os primeiros termômetros a base de álcool em tubos capilares selados hermeticamente foram fabricados em 1645.

Em 1777 o pesquisador italiano Landrini observou que o aquecimento crescia do violeta para o vermelho. Foi William Herschel, no entanto, quem verificou, em 1800, que o máximo de aquecimento ocorria fora do espectro visível, além do vermelho. Em 1862, Melloni construiu a termopilha, composta de vários termopares ligados em série. A sensibilidade alcançada pelo arranjo era quarenta vezes superior aos melhores termômetros da época, o suficiente para detectar uma pessoa a dez metros de distância (VERMINNEN; VERATTI; JUNIOR; 1984).

A primeira imagem térmica foi obtida em 1840, por John Herschel, filho de William Herschel, que desenvolveu um processo de detecção e registro da radiação infravermelha incidente baseado na evaporação diferencial de um filme de óleo, em um processo semelhante a fotografia (VERMINNEN; VERATTI; JUNIOR; 1984).

Em 1880 Samuel Lagley construiu o primeiro bolômetro, instrumento capaz de medir diferenças de temperatura extremamente pequenas mediante a variação da resistência elétrica de um metal com a temperatura. (GAUSSORGUES, 1994)

O primeiro detector baseado na interação direta entre os fótons da radiação infravermelha e os elétrons do material foi desenvolvido por Theodore Willard Case em 1917,

dispositivo com fotocondutores (sulfeto de tálio), baseado na interação direta entre os fótons da radiação incidente e os elétrons do material, possibilitando a conversão direta de radiação em sinal elétrico (SANTOS, 2012).

A história dos equipamentos termográficos teve um salto tecnológico grande com o advento das Guerras Mundiais. Durante a Segunda Guerra Mundial houve um maciço avanço na obtenção de sistemas de comunicação, visão noturna e reconhecimento utilizando o infravermelho.

A partir da década de 50, o desenvolvimento dos sistemas infravermelhos passa a depender cada vez mais nas conquistas da física dos sólidos e da Microeletrônica. Com a liberação dos dados acumulados nas pesquisas militares, uma nova série de detectores e técnicas de imageamento tornaram-se disponíveis para aplicações em sistemas infravermelhos de uso civil (VERMINNEN; VERATTI; JUNIOR; 1984).

Até a meados de 1965, os equipamentos para uso civil necessitavam de até 10 minutos para a formação de uma imagem térmica, melhoria considerável, haja vista que os da década anterior levavam cerca de 45 minutos, o que os limitava a distribuição de temperaturas mais ou menos estáveis. Nessa ocasião foi introduzido no mercado pela AGA *Infrared Systems* da Suécia, o primeiro sistema infravermelho capaz de formar imagens térmicas instantâneas e dotado de recursos para determinações precisas de temperaturas. (HOST, 2000)

Com a introdução de novos detectores, microprocessadores para a elaboração de dados e imagens e de uma maior variedade de periféricos, pode-se contar, na atual década, com o desenvolvimento de sistemas mais compactos e versáteis.

No Brasil, os primeiros termovisores chegaram nos anos 70. Nessa época, eles empregavam detectores resfriados a nitrogênio líquido, sistemas de varredura óptico-mecânicos para formar as imagens térmicas e a temperatura do objeto inspecionado era obtida através de cálculos (SANTOS, 2006).

Na década de 80, a tecnologia matriz de plano focal (Focal Plane Array - FPA), foi então disponibilizada do domínio militar para o uso comercial. O FPA utiliza uma grande quantidade de detectores de semicondutores termicamente sensíveis. (HELLIER, 2001)

Junto com o avanço da tecnologia empregada no Termovisores, o tamanho e o peso destes equipamentos também sofreram uma profunda e significativa melhora, avançando ano a ano para modelos mais leves e compactos, conforme ilustrado na Figura 1.

Figura 1 - Evolução dos Termovisores.



Fonte: (SANTOS, 2012)

A Figura 1 mostra em sequência: (a) Detector resfriado a nitrogênio líquido, sistema de varredura óptico/mecânico, peso total de 37 kg – (b) Detector resfriado eletricamente, sistema de varredura óptico/mecânico, peso de 6,1 kg – (c) Detector não resfriado, FPA (Focal Plane Array), peso de 2,7 kg – (d) Detector não resfriado, FPA, peso de 2,0 kg – (e) Detector “não resfriado”, FPA, peso de 0,34 kg (Flir, 2009).

1.2 Panorama sobre a Termografia e sua utilização

A termografia tem um vasto campo em que pode ser utilizada. O fato de ser um método de fácil interpretação dos resultados via imagem, sem contato, não intrusivo, alcançar ambientes insalubres, ser um método não-destrutivo e podendo ser utilizado em ambientes sem iluminação faz desta metodologia uma excelente escolha em campos diversos.

Atualmente, a Termografia vem sendo bastante utilizada na medicina, na meteorologia e em aplicações de engenharia. Dentre as aplicações de engenharia estão a análise de equipamentos mecânicos estáticos e dinâmicos, equipamentos e sistemas eletroeletrônicos e equipamentos e sistemas elétricos, sendo este último foco deste trabalho. Instalações elétricas estão sujeitas à sobrecarga, desbalanceamento de fases e mau contato que apresentam como efeitos a geração de calor. Interrupções de fornecimento de energia ou mesmo acidentes mais graves como incêndios, são problemas em geral não detectados por procedimentos comuns, mas podem ser detectados através de levantamentos periódicos do perfil térmico das instalações de alta, média e baixa tensão. Em específico, a termografia pode ser aplicada na identificação de problemas em painéis elétricos, motores, transformadores, conexões, cabeamento elétricos e assim por diante.

1.3 Fundamentos teóricos

Viu-se necessária a fundamentação teórica dos conceitos abrangidos pela termografia, sendo eles: Calor, Temperatura, Modos de Transferência de Calor e Emissividade. A abordagem teórica será expositiva para ambientação com os termos utilizados, não sendo a proposta deste trabalho fazer uma análise equacionada sobre o assunto.

1.3.1 Calor

Sobre calor:

[...] variação de temperatura se deve a uma mudança da energia térmica do sistema por causa da troca de energia entre o sistema e o ambiente. (Lembre-se de que a energia térmica é uma energia interna que consiste na energia cinética e na energia potencial associadas aos movimentos aleatórios dos átomos, moléculas e outros corpos microscópicos que existem no interior de um objeto.) A energia transferida é chamada de calor [...] (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2016).

Logo, Halliday et al. (2016), define calor “como a energia trocada entre um sistema e o ambiente devido a uma diferença de temperatura.”

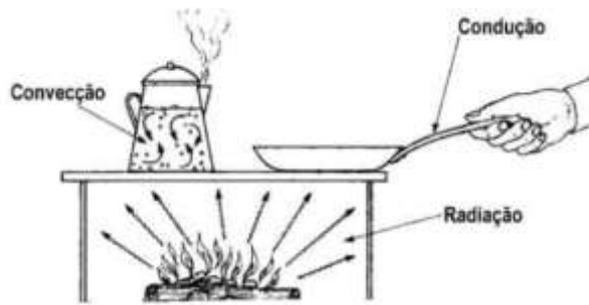
1.3.2 Temperatura

Pécora e Silva (2017), denominam a temperatura de forma qualitativa, descrevendo-a como de um objeto como aquela que determina a sensação de quanto ele está quente ou frio quando entramos em contato com ele. Ele descreve como sendo a temperatura reconhecida cognitivamente como o nível de calor que existe no ambiente ou no sistema.

1.3.3 Modos de Transferência de Calor

Existem três mecanismos de transferência de calor, ilustrados pela Figura 2: condução, convecção e radiação.

Figura 2 - Mecanismos de Transferência de Calor



Fonte: (GRIMM, 2017)

1.3.3.1 Condução

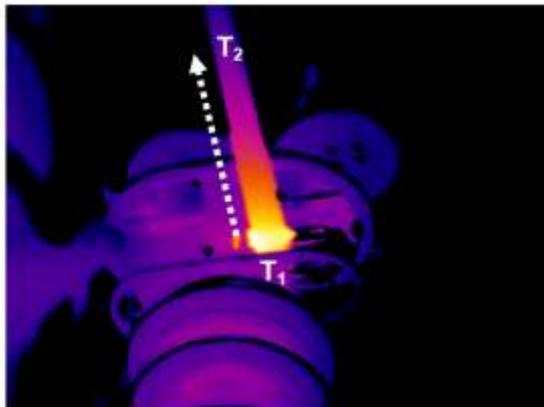
Santos (2006), define condução “[...] como o processo pelo qual a energia é transferida de uma região de alta temperatura para outra de temperatura mais baixa dentro de um meio (sólido, líquido ou gasoso) ou entre meios diferentes em contato direto.”

Halliday et al. (2016), descreve a condução pelo exemplo de um cabo de panela de metal:

Se você deixa no fogo, por algum tempo, uma panela com cabo de metal, o cabo da panela fica tão quente que pode queimar sua mão. A energia é transferida da panela para o cabo por condução. Os elétrons e átomos da panela vibram intensamente por causa da alta temperatura a que estão expostos. Essas vibrações, e a energia associada, são transferidas para o cabo por colisões entre os átomos. Dessa forma, uma região de temperatura crescente se propaga em direção ao cabo (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2016).

A Figura 3 ilustra bem a transferência de calor por condução.

Figura 3 - Transferência de calor por condução em uma seccionadora. A seta indica a direção do fluxo de calor, do ponto de mais alta temperatura T_1 , para áreas de menor temperatura T_2 .



Fonte: (SANTOS, 2006)

1.3.3.2 Convecção

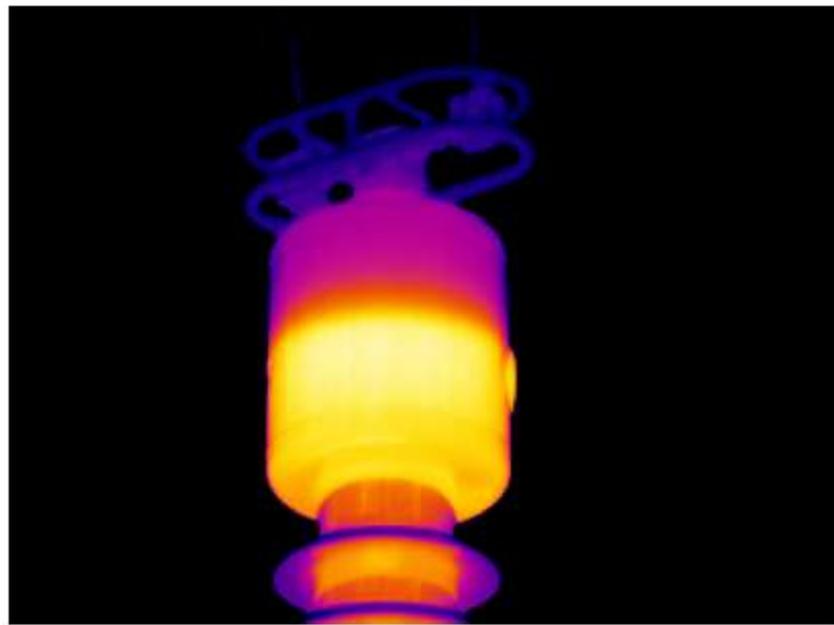
Para Yunus (2006), convecção é a transferência de calor de um local para outro pelo movimento de fluidos. A presença de movimento de volumes do fluido aumenta a transferência de calor entre a superfície sólida e o fluido.

Halliday et al. (2016) descreve a convecção pelo exemplo da chama de uma vela ou de um fósforo:

[...] vemos a energia térmica ser transportada para cima por convecção. Esse tipo de transferência de energia acontece quando um fluido, como ar ou água, entra em contato com um objeto cuja temperatura é maior que a do fluido. A temperatura da parte do fluido que está em contato com o objeto quente aumenta, e (na maioria dos casos) essa parte do fluido se expande, ficando menos densa. Como o fluido expandido é mais leve do que o fluido que o cerca, que está mais frio, a força de empuxo o faz subir. O fluido mais frio escoar para tomar o lugar do fluido mais quente que sobe, e o processo pode continuar indefinidamente (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2016).

Pela Figura 4 pode-se verificar, pelo termograma de um Transformador de Potencial e a visualização do seu nível de óleo, um exemplo de um meio onde ocorre a transferência de calor por convecção.

Figura 4 - Termograma de um Transformador de Potencial e a visualização do nível de óleo.



Fonte: (SANTOS, 2006)

1.3.3.3 Radiação

Para Oliveira (2014):

A radiação, no contexto da transmissão de calor, consiste no transporte de energia por meio de ondas eletromagnéticas. As ondas eletromagnéticas propagam-se no vácuo à velocidade da luz ($c = \times 2.998\ 10\ m/s$) e, assim, a radiação, ao contrário da condução e da convecção, não necessita de um meio material para que a transferência de energia se efetue (OLIVEIRA, 2014).

As várias formas de radiação, caracterizadas pelo seu comprimento de onda, compõem o espectro eletromagnético (GRIMM, 2017). A Figura 5 mostra no espectro eletromagnético a radiação térmica como parcela da radiação óptica.

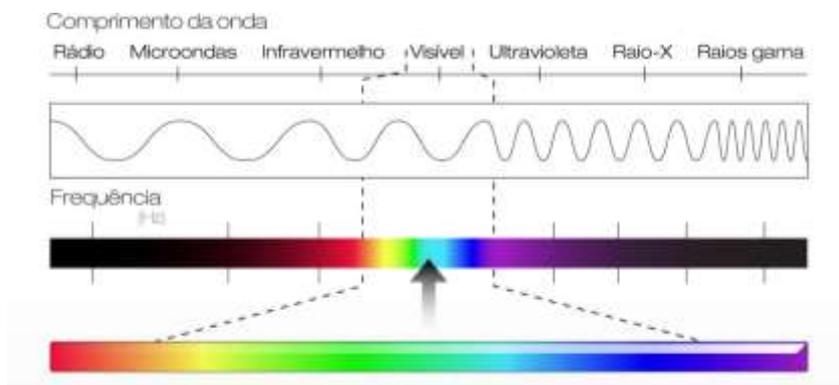
Figura 5 - Espectro eletromagnético



Fonte: (SANTOS, 2006)

A Figura 6 mostra a coloração conforme a frequência, sendo os tons próximos ao vermelho referentes a temperaturas mais altas e os tons mais próximos do roxo referentes a temperaturas mais frias.

Figura 6 - Imagens visíveis por um termovisor



Fonte: (Fluke, 2017)

A radiação térmica é a energia emitida continuamente por todo corpo que se encontre a uma temperatura acima do zero absoluto (0 K ou -273,15 C). Essa energia é transmitida no espaço na forma de ondas eletromagnéticas ou fótons. A radiação não necessita de um meio para se propagar e sofre atenuação quando propagada em um meio que não seja o vácuo (OLIVEIRA, 2010).

Dentre os três modos de transferência de calor apresentados, a radiação é a base para a medição de temperatura através da termografia infravermelha, âmago deste trabalho.

1.3.4 Emissividade

A habilidade de um corpo radiar energia é chamada emissividade. É uma característica da superfície, que depende não apenas do tipo de material, mas da condição da superfície e do comprimento de onda em que a radiação é emitida, o que, por sua vez, depende da temperatura do corpo, segundo Oliveira (2010).

1.4 O termovisor

Sendo o termovisor a ferramenta utilizada na termografia, é de interesse deste trabalho explicar brevemente sobre este equipamento.

1.4.1 Funcionamento básico de um termovisor

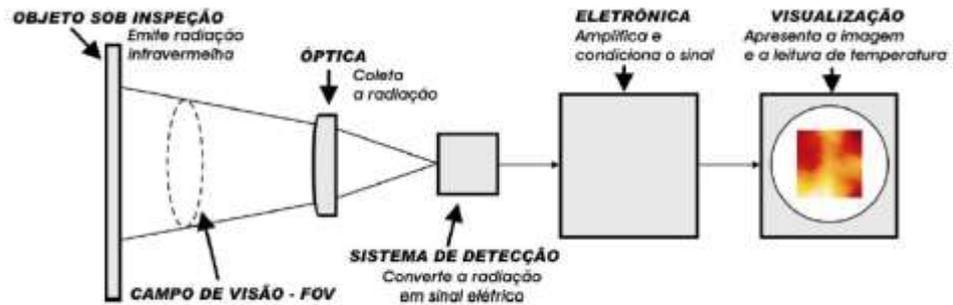
Os Termovisores são aparelhos que captam a imagem térmica e formam os termogramas, imagens que permitem a visualização da distribuição de temperatura da superfície focalizada (OLIVEIRA, 2010).

Os Termovisores representam as temperaturas dos corpos em forma de cores e, como a imagem obtida com o termógrafo é provida de uma escala que correlaciona cor e temperatura, é possível a obtenção de resultados esclarecedores quanto a problemas ligados direta ou indiretamente à temperatura.

Estes equipamentos detectam sinais de radiação infravermelha provinda do objeto analisado e enviam o sinal medido para um processador, cuja função é tratar a informação, gerar a imagem térmica discriminando o quantitativo de calor em cores. A detecção da radiação é coletada por um arranjo óptico e dirigida para um detector térmico, que converte a radiação

incidente em um sinal de natureza elétrica. Para melhor entendimento, segue a Figura 7, demonstrando de forma simples e genérica a composição de um Termovisor.

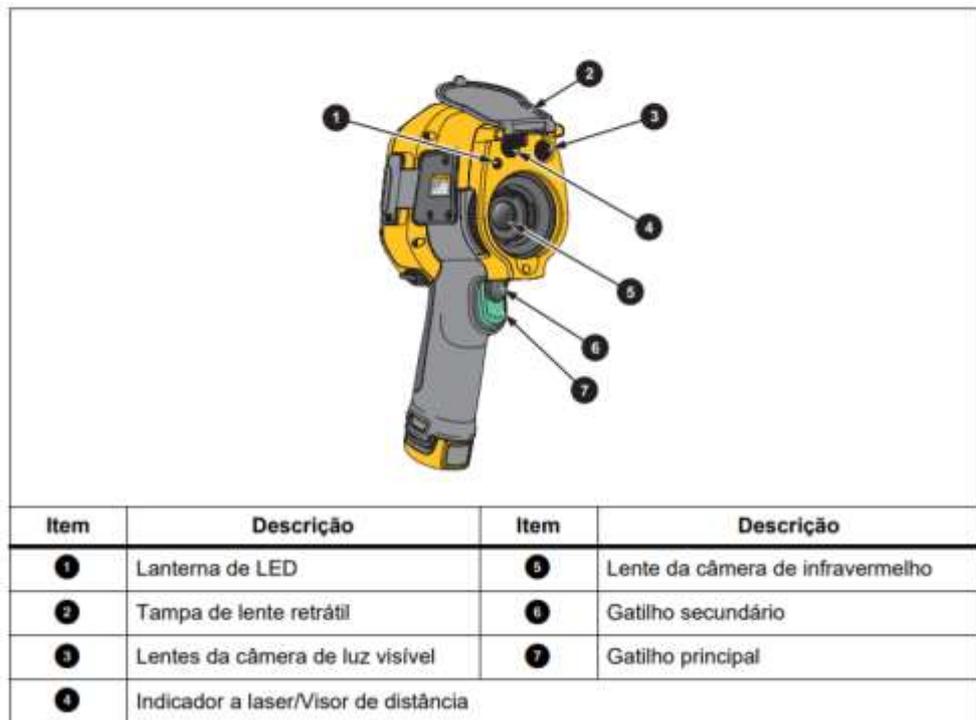
Figura 7 - Diagrama Simplificado de um Termovisor genérico



Fonte: (SANTOS, 2006)

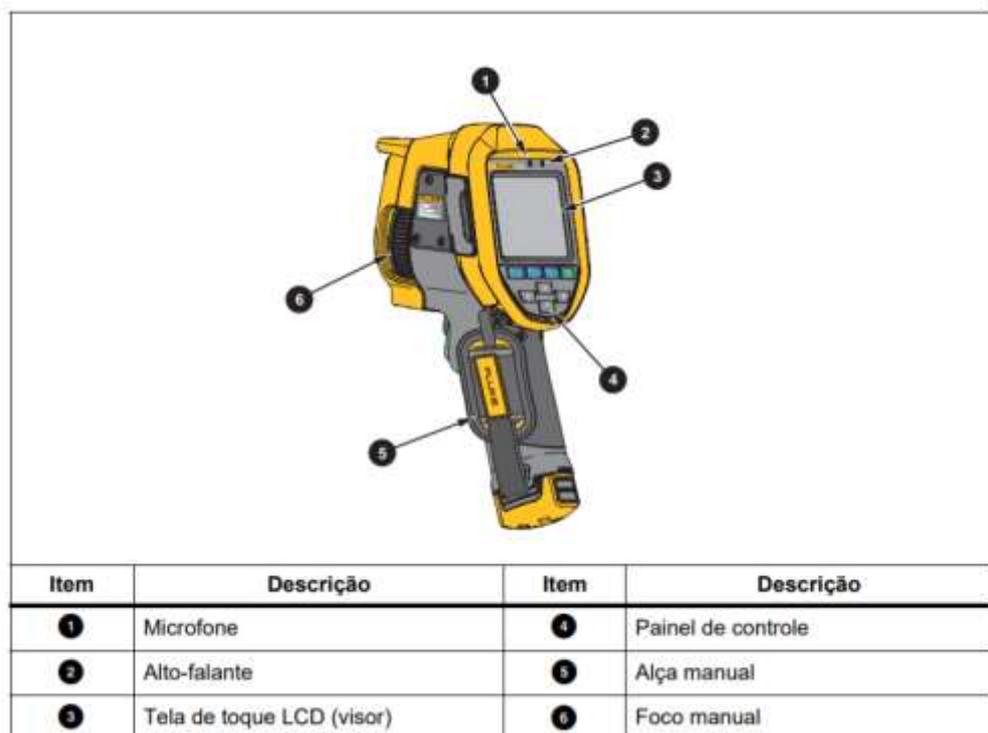
Os termovisores são compostos de uma câmera e um vídeo. A câmera encerra o receptor óptico, o mecanismo de varredura vertical e horizontal, o detector e o resfriador do detector. A unidade de vídeo contém o processador de sinal, monitor de vídeo e controle. As imagens são comumente apresentadas em branco e preto, podendo ser convertidas em imagens coloridas pela substituição da escala de cinza por uma escala de cores. O registro das imagens térmicas geradas pode ser analógico, utilizando-se filme, fotografia e VHS, ou digital, através de interfaces que permitem o acoplamento dos sistemas com microcomputadores para posterior processamento da informação (INFRATEMP, 2006). As Figuras 8 e 9 exibem um Termovisor da Fluke com a configuração mais comum aos utilizados em campo.

Figura 8 - Parte frontal de um Termovisor da Fluke, série Ti



Fonte: (Fluke, 2017)

Figura 9 - Parte traseira de um Termovisor da Fluke, série Ti

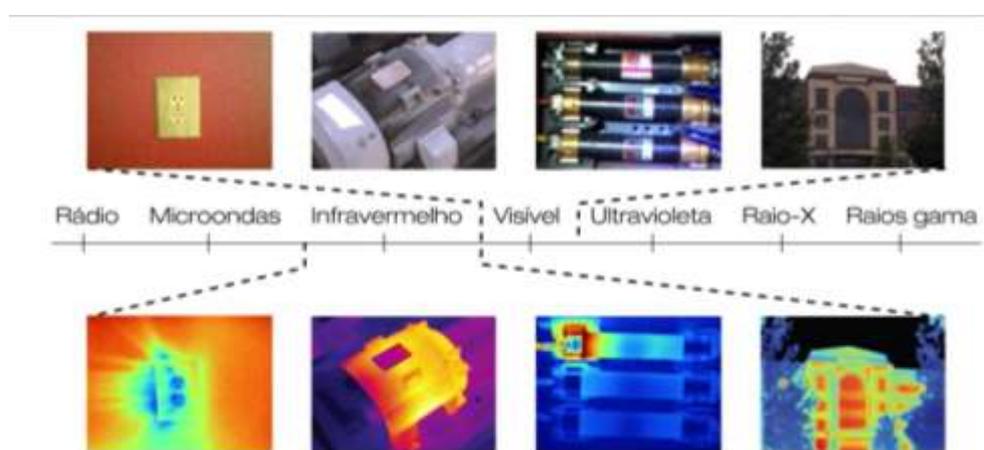


Fonte: (Fluke, 2017)

1.4.2 *Imagens de um termovisor*

A imagem termográfica é utilizada para examinar padrões de calor ou de mudança de temperatura nos objetos. As câmeras termográficas são especialmente desenvolvidas para capturar a energia em infravermelho ao invés da luz visível. Estas câmeras atribuem cores a determinadas temperaturas, permitindo aos usuários visualizarem as variações de temperatura por toda a imagem. A Figura 10 mostra algumas imagens térmicas.

Figura 10 - Imagens Termográficas



Fonte: (Fluke, 2017)

1.4.3 *Termovisores disponíveis no mercado atual*

Atualmente é possível encontrar termovisores, para uso profissional, em uma faixa de preço entre R\$1.199 (Termovisor Pontual Flir-10 A + 150 °C / Tg135) à R\$ 68.375,84 (Testo 890-1), pesquisa de preço realizada em 10 de novembro de 2017. É possível encontrar desde termovisores que podem ser acoplados em um smartphones ou tablet, como é o caso do modelo da Flir One – PRO e o Flir One – PRO GEN III (Câmera acoplável por meio de uma porta USB, conforme Figura 11), até termovisores mais robustos e completos, como é o caso do Testo 890-1 ou o Flir - T1020 (T1K), conforme Figura 12.

Figura 11 - Câmera termográfica Flir One - Pro



Fonte: (Mercado Livre, 2017)

Figura 12 - (a) Testo 890-1; (b) Flir - T1020 (TIK)



Fonte: (Testo, 2017) ; (Flir, 2017)

O mercado também conta com uma variedade grande de marcas fabricantes de termovisores como: Flir, Fluke, Guide, Highmed, Hikiri, Testo, entre outros. Essas câmeras termográficas contam com características que variam muito seu preço. Essas características são: o campo de vista (tamanho e distância do alvo), tipo de superfície a ser medida (emissividade), resposta espectral (para efeitos atmosféricos ou transmissão por superfícies), intervalo de temperatura e montagem (portátil ou montagem fixa). Também são levados em conta nestes equipamentos características que os diferenciam quanto ao tempo de resposta, ambiente de leitura, limitações de montagem, porta de visualização ou aplicações de janela e o processamento do sinal desejado.

As câmeras termais atuais são capazes de transmitir remotamente e diretamente os dados de diagnóstico via *bluetooth* e *wi-fi*. Também é possível contar com softwares que

executam uma variedade de tarefas, desde medições de ponto simples a calibrações radiométricas personalizadas, ou ainda, a criação da análise dos dados especializados utilizando softwares como MatLab ou Excel (Omega, 2017).

1.4.4 Recursos inovadores das atuais câmeras termográficas

Tomando por base o fabricante de câmeras termográficas Fluke, listou-se alguns recursos atuais que mostram a tecnologia disponível nos termovisores hoje utilizados, fruto de uma constantes e incessantes pesquisas em melhorias.

- Foco IR Optiflex– Elimina a necessidade de ajuste de foco, ou seja, está sempre em foco para distâncias maiores de 1,2m. Além da opção de foco manual para distâncias menores. Com o IR Optiflex, é mais fácil e rápido tirar fotos precisas e com foco nítido.
- Tecnologia IR-Fusion – Tecnologia patenteada pela Fluke mescla imagens digitais e infravermelhas em uma única imagem para documentar com precisão áreas com problema .
- Gravação de vídeo Multi-Mode – Grava vídeos sem a necessidade de ajuste de foco em luz visível e infravermelha com recursos completos do IR-Fusion. Monitora os processos ao longo do tempo, cria relatórios de vídeo infravermelho e soluciona problemas quadro a quadro.
- IR PhotoNote – Capture até três fotos digitais por arquivo de imagem térmica e faça um registro preciso dos modelos de equipamentos, placas de identificação e outras informações úteis.
- Bússola eletrônica – Salve a leitura da bússola com a imagem térmica, garantindo que você e as outras pessoas saibam o local do problema.
- Software profissional SmartView® para análise e emissão de relatórios – Pacote profissional de ferramentas de análise e emissão de relatórios para visualizar, comentar e editar imagens infravermelhas. Software sem necessidade de licenças e com upgrades vitalícios gratuitos.
- Fluke Connect – Upload via WiFi para o armazenamento do Fluke Cloud™ que permite compartilhar imagens em tempo real .

1.5 Justificativa do tema selecionado

A análise térmica de equipamentos e sistemas elétricos é de fundamental importância tanto para as empresas envolvidas no provimento de energia aos consumidores quanto para a indústria. Uma leitura térmica feita com um equipamento adequado pode identificar problemas presentes ou futuros, em alguns casos, de fácil e barata correção que, se não tratados a tempo, podem resultar em danos a pessoas e a equipamentos elétricos.

A manutenção ou o monitoramento de equipamentos e sistemas elétricos quando negligenciada costuma resultar em acidentes e prejuízos dispendiosos, colocando trabalhadores em perigo e equipamentos em estado duvidoso de operação. O alto custo hora de uma máquina parada, incêndios em um painel ou equipamento, a paralização de uma linha de produção ou da alimentação de uma região inteira por falhas em equipamentos elétricos trazem consequências negativas financeiras que podem ser evitadas a tempo.

A análise térmica entra como forte aliada na manutenção preventiva com o fito de prevenir acidentes e falhas elétricas, tendo-se justificativa e motivação para um estudo detalhado e expositivo apresentado neste trabalho.

1.6 Objetivo do trabalho

Este trabalho tem por objetivo trazer a luz o estudo do estado da arte dos procedimentos de termografia na manutenção dos sistemas Elétricos. Viu-se necessária a elaboração deste trabalho pelo fato de se ter pouco material e estudo disponível no nível acadêmico de forma a expor e incentivar o estudo mais detalhado do assunto e uma maior busca pelo avanço, crescimento e divulgação deste ramo da manutenção, cuja utilidade tem-se mostrada cada vez mais relevante no âmbito preventivo.

Com a exposição deste trabalho, o autor busca disponibilizar de forma condensada um suporte aos interessados em buscar conhecimento no campo da manutenção auxiliada pela termografia, assim como servir de base sólida e confiável a futuros trabalhos direcionados a utilização de análises térmicas na manutenção de sistemas elétricos.

1.7 Estrutura organizacional do Trabalho

Esta monografia está estruturada em 6 capítulos e 7 anexos. Neste capítulo, como foi observado, é exibido o histórico dos conceitos que hoje, somados, fundamentam as leis que

a atividade termográfica se alicerça. É expressado o panorama em que a atividade termográfica está inserida assim como os campos que ela atua. Também é colocado à disposição neste capítulo uma breve fundamentação teórica quando aos conceitos físicos em que os métodos da termografia repousam. O termovisor é apresentado de forma sucinta e objetiva. Este capítulo ainda justifica o tema aqui escolhido, dando credibilidade no objetivo foco deste trabalho. Por fim é apresentada a estrutura organizacional desta monografia.

A termografia em termos técnicos é abordada no Capítulo 2. São discorridos termos utilizados na atividade termográfica, características térmicas que norteiam e justificam o uso de imagens térmicas, como também a exposição de fatores que influenciam direto ou indiretamente a inspeção termográfica. São trazidos ao conhecimento os critérios para intervenção em equipamentos com temperaturas anômalas e o tempo máximo que o problema dispões para ser corrigido.

O Capítulo 3, expõe normas no âmbito nacional e internacional, com o fito de apresentar a regulamentação em que a termografia está alicerçada. Também trás ao conhecimento documentos de recomendação para práticas termográficas. Ainda neste capítulo são tratadas a finco o conteúdo normativo que regulamenta a atividade da manutenção, com a presença da termografia, assim como instruções de trabalho e procedimentos de execução, os quais fazem parte dos esforços em manter a qualidade e segurança dos serviços prestados pela Enel.

O Capítulo 4 aborda casos reais de inspeções termográficas executadas em empresas que dispõe de sistemas elétricos devidamente inspecionados, como fruto de uma assertiva manutenção preventiva. São mostrados casos em que foram encontradas anomalias em cabos, transformadores e chave seccionadora. Também foi discorrido sobre possíveis causas do problema térmico, baseados na análise da imagem térmica e as ações executadas para correção do problema, culminando na extinção da anomalia e validando a importância de uma inspeção termográfica, com a identificação de problemas que, se não resolvidos, poderiam trazer sérios e onerosos problemas as empresas responsáveis pelos equipamentos inspecionados.

No Capítulo 5, é exposta a tendência da utilização de drones, justificando e embasando os motivos de a utilização de drones como solução a muitas situações ser o futuro nas mais variadas áreas profissionais, com destaque as inspeções necessárias à manutenção, entre elas a termográfica. A recente normatização das atividades que envolver a operação de drones também é objeto de análise, trazendo os principais aspectos e exigências que a norma ao conhecimento. Também é comentado sobre os esforços que a Enel vem galgando na

expectativa de incluir a utilização de drones em suas inspeções. E ao fim do capítulo é mostrada algumas imagens feitas via câmera térmica acoplada a um drone, em duas situações onde a utilização de outros meios para tal inspeção seria muito mais demoradas e até complicadas, como também com um custo alto, no caso da utilização de um helicóptero.

O Capítulo 6 apresenta a reflexão conclusiva do trabalho e recapitula sinteticamente os assuntos tratados nesta monografia. Como incentivo a trabalhos futuros, desenvolvidos sobre os aspectos aqui discorridos, este capítulo também direciona linhas de pesquisa e aprofundamento dos quais partem do que foi exposto neste trabalho.

Os Anexos A, B, C e D exibem tabelas presentes nas normas da Enel. O Anexo E F exibem, respectivamente, documentos relacionados a inspeção termográfica e diagrama unifilar, ambos relacionados a SEs do Rio Grande do Sul. E, por fim, o Anexo G exibe uma habilitação referente ao uso de drones.

CAPÍTULO 2

2 A TERMOGRAFIA EM TERMOS TÉCNICOS

Este capítulo tem por objetivo explicitar algumas definições e parâmetros utilizados na abordagem termográfica empregada pelos técnicos responsáveis pela análise térmica dos equipamentos elétricos, pertencentes a rede de distribuição do estado do Ceará, ao analisar as diversas situações em que estes profissionais se deparam no cotidiano da manutenção.

Vale salientar que este capítulo se destina a mencionar a abordagem utilizada pela Enel, tratamento esse que também é adotado pelas diversas empresas responsáveis pela distribuição de Energia Elétrica pelo Brasil, podendo divergir entre elas algumas pequenas particularidades fruto de uma postura mais ou menos conservadora.

2.1 Medições Termográficas

2.1.1 *Medição Remota de Temperaturas*

A medição remota de temperatura a partir da radiação naturalmente emitida pelos corpos é genericamente denominada “Radiometria”. A radiometria pode ser realizada na faixa ultravioleta, visível infravermelho ou micro-ondas e abrange grande número de técnicas, dentre as quais a termografia.

As medições termográficas são realizadas com a utilização de sistemas infravermelhos, tendo como princípio a comparação entre as intensidades de radiação provenientes do corpo observado e de uma referência de temperatura:

- Objeto (índice “O”)
- Referência (índice “R”)
- Ambiente (índice “A”)

2.1.2 *Comparação entre aquecimentos detectados*

As inspeções termográficas são realizadas nos mais variados tipos de equipamentos, temperaturas ambiente e condições de carga. Para que se possam realizar comparações entre aquecimentos detectados em condições diversas é necessário que os valores sejam conduzidos

a uma condição padrão. Para tanto, devemos conhecer os parâmetros que afetam as medições em inspeções de redes e sistemas elétricos, como: capacidade máxima de condução do objeto e carregamento da instalação, na hora da inspeção.

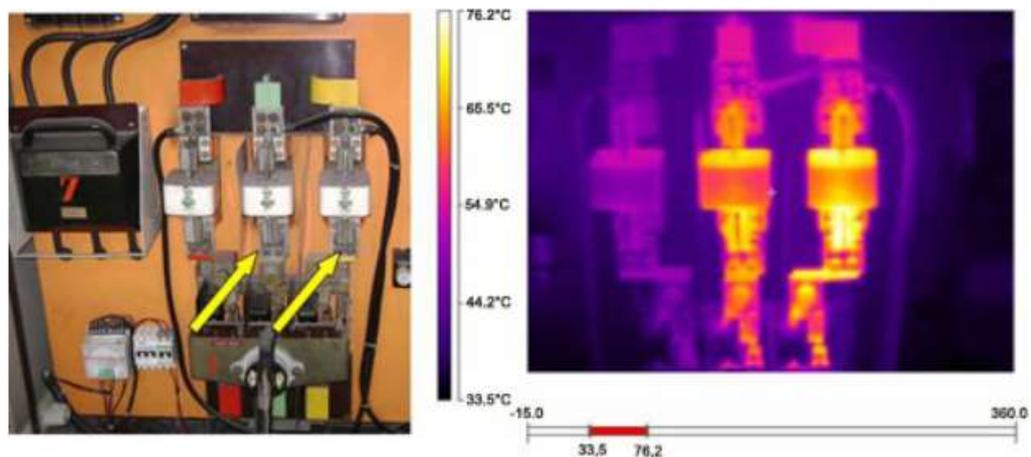
2.1.3 Metodologia de inspeções termográficas

As inspeções termográficas utilizam métodos para identificar anomalias térmicas, a fim de providenciar uma devida manutenção preventiva. O profissional responsável pela leitura termográfica, de posse da imagem térmica, dispõe de 3 métodos conhecidos: Comparativo, Referencial e de Tendências Térmicas.

2.1.3.1 Método Comparativo

Atualmente, é o método mais habitual em inspeções termográficas, haja vista que possibilita identificar anomalias térmicas comparando os mesmos pontos em equipamentos idênticos adjacentes e sobre condições semelhantes. A situação mais comum é comparar sistemas trifásicos, analisando termicamente as 3 fases, conforme a Figura 13.

Figura 13 - Método Comparativo



Fonte: (Percon, 2017)

2.1.3.2 Método Referencial

Segundo Percon (2017), o objetivo deste método é estabelecer um ponto de referência para o equipamento operando em condições normais e em bom estado de

funcionamento e, em leituras térmicas posteriores, utilizar essa imagem referencial padrão de bom funcionamento. Um exemplo seria, depois que um motor é instalado e colocado em operação normal, qualquer diferença no sinal térmico provavelmente surgirá em futuras imagens térmicas, conforme Figura 14.

Figura 14 - Método Referencial

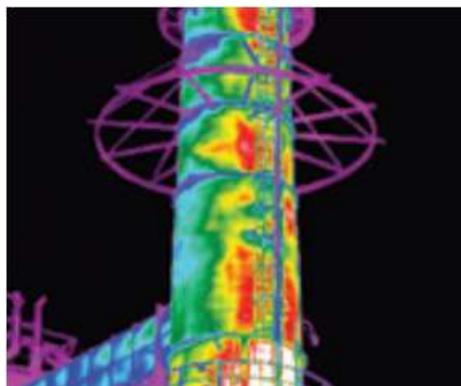


Fonte: (Percon, 2017)

2.1.3.3 Método de Tendências Térmicas

É um método utilizado para comparar as distribuições de temperatura no mesmo componente ao longo do tempo e sem referência prévia. Este método é muito usado para inspecionar equipamentos mecânicos onde os sinais térmicos podem ser complexos, ou quando os sinais térmicos que detectam falhas geralmente se desenvolvem lentamente. Um exemplo é o monitoramento do desempenho de um isolante refratário (altas temperaturas), conforme Figura 15, ao longo do tempo, para que se possa determinar a programação ideal para que ele seja retirado de serviço para manutenção (Percon, 2017).

Figura 15 - Método de Tendências Térmicas



Fonte: (Percon, 2017)

2.1.4 Fatores que influenciam sobre a Inspeção Termográfica

Com um termovisor é possível detectar, à distância, a radiação emitida pelo objeto sob análise e convertê-la em uma imagem bidimensional. Essa imagem ou termograma cria um mapa das radiações vindas da superfície do objeto (emitida, refletida e/ou transmitida) e que devidamente tratadas podem ser relacionadas ao seu mapa térmico e convertidas em leituras de temperatura. Apesar de parecer um procedimento simples, a aquisição e análise dos termogramas, bem como a obtenção de leituras corretas dependem do conhecimento e ponderamento de várias influências inerentes ou inseridas ao processo. (SANTOS, 2012)

Santos (2012), cita influências de cunho pessoal – relacionadas ao termografista-, influências técnicas – relacionadas ao termovisor – e influências atmosféricas – relacionadas ao ambiente-.

2.1.4.1 Influências de cunho pessoal

2.1.4.1.1 Aptidão Física

É necessário o termografista ter aptidão física adequada. O operador julga a imagem gerada pelo termovisor baseado na análise visual, por isso, é importante que o termografista tenha boa acuidade visual, natural ou corrigida por lente, e também há a importância de o operador diferenciar as cores, pois a imagem distingue temperaturas pelas cores. Caso haja alguma deficiência do operador em distinguir cores, é necessário que as imagens sejam mostradas em tons de cinza.

2.1.4.1.2 Treinamento

É necessário o termografista tenha um treinamento adequado. A qualificação e preparo do termografista são de cunho essenciais para a atividade em questão, dado que o equipamento utilizado deve ser operado corretamente para capturar uma imagem conivente com a realidade, minimizando com técnica bem aplicadas os fatores que podem dar uma leitura destoante da realidade. Também é importante o termografista ter conhecimento técnico dos componentes analisados por ele.

2.1.4.1.3 Alinhamento da atividade com as Normas

É necessária uma correta compreensão e aplicação das Normas existentes para a atividade da Termografia. As normas são essenciais, pois foram criadas para garantir a validade dos resultados obtidos no processo de análise da atividade, tornando o processo sistêmico e confiável em termos de repetibilidade.

2.1.4.2 *Influências técnicas*

2.1.4.2.1 Calibração

O termovisor deve estar devidamente calibrado. A correta calibração do equipamento resulta em uma exata leitura sucedendo em uma correta análise da situação térmica analisada. Hodiernamente, existe a preocupação das empresas em ter o selo de qualidade do serviço; nesse âmbito, a calibração em dia do equipamento faz parte das exigências necessárias para a certificação ISO (9001). Essa certificação ISO tem como objetivo melhorar a gestão de uma empresa, tornando a empresa melhor quanto a prestação de serviço ao cliente.

2.1.4.2.2 Características do termovisor para o serviço em questão

O termovisor deve ter características adequadas ao serviço. A seleção do termovisor utilizado deve ser criteriosa e propícia às condições do componente a ser inspecionado e às condições do meio onde acontece a inspeção. Segundo Santos, deve-se atentar para:

- A faixa de temperatura de medição e a faixa de comprimento de onda que o termovisor deve responder estão relacionadas às temperaturas dos objetos a serem inspecionados
- A resolução espacial e a resolução de medida precisam ser adequadas à distância e ao tamanho do objeto a ser inspecionado.
- A faixa de temperatura de operação do termovisor deve atender à variação da temperatura do local onde se desenvolve a inspeção.

Assim sendo, Santos também determina que é importante conhecer e saber escolher o termovisor com as melhores características para a inspeção requerida, características como: tecnologias de detecção e tipos de detectores, faixa espectral, faixa de temperatura, temperatura de operação, resolução espacial e resolução de medida, sensibilidade térmica e taxa de repetição de quadro (Frame Rate).

2.1.4.2.3 Localização

A distância entre a fonte analisada e o termovisor pode acarretar em uma leitura não correta e muitas vezes distante da real situação térmica. É necessário atentar para a característica do equipamento quanto a Resolução de Medida. Essa resolução está definida como o menor objeto que pode ter sua temperatura medida com exatidão a uma determinada distância (SANTOS, 2012). Medidas feita fora dos limites de resolução de medida podem influenciar na análise da gravidade do defeito. Para corrigir esse problema deve-se utilizar lentes adequadas ou diminuir a distância componente-termovisor.

Outra situação é quanto a visada direta, ou seja, a visualização direta da fonte pelo termovisor. Muitas vezes a fonte de problema e defeitos estão envoltas por uma carcaça ou uma placa ou até atrás de outro equipamento, dificultando a visada direta. Em situações que há um obstáculo entre a fonte e o termovisor, a leitura térmica pode impedir a detecção de defeitos ou acarretar em uma má interpretação por parte do termografista. Nessa situação o termografista deve procurar uma melhor posição para a leitura e/ou considerar, na análise final, a perda de radiação, conforme Santos (2012).

2.1.4.2.4 Corrente de carga

Um sistema elétrico normalmente contém muitas conexões e eventualmente estas podem conter defeitos de fabricação ou por desgaste do tempo. O aquecimento destas conexões depende da corrente que passa através destas conexões. A potência (P) dissipada é proporcional ao quadrado da corrente (I) vezes a resistência (R), ($P = I^2 * R$). Com o equipamento ou sistema elétrico em operação, uma corrente elétrica variante pode passar pela conexão, não revelando um problema existente devido à baixa dissipação associada a corrente naquele instante. Neste caso é necessário conhecer o carregamento do sistema e analisa-lo com o a corrente máxima que aquela conexão pode vir a carregar, ou seja, plena carga, para se ter a

dimensão real da situação da conexão e a verificação da existência ou não de um defeito ou desgaste prejudicial.

2.1.4.2.5 Emissividade

A emissividade é um importante parâmetro a ser considerado durante as medições com radiômetros ou termovisores, pois os termovisores não medem temperatura diretamente e sim radiação. Seu valor está diretamente relacionado com as características da superfície do componente (composição, textura e ocorrência de óxidos). Para maior facilidade na determinação da emissividade dos componentes costuma-se dividi-los em grupos, segundo o material de que são feitos, de acordo com a Tabela 1.

Tabela 1 - Emissividade dos Componentes

Material	Ligeiramente Oxidado	Severamente Oxidado
Alumínio e suas ligas	0,20 – 0,40	0,67 - < 0,95
Cobre e suas ligas	0,39 – 0,50	0,78 – 0,95
Aço	0,52- 0,60	0,82 – 0,94
Porcelana	0,10 – 0,20	0,80 – 0,95
Borracha	0,70 – 0,80	0,80 – 0,95

Fonte: (Contemp, 2017)

Para realizar medidas corretas de temperatura, o termografista deve conhecer a emissividade da superfície e informar ao termovisor. Isso pode ser feito medindo a emissividade da superfície antes de se realizar a medição (SANTOS, 2012).

2.1.4.3 Influências atmosféricas

As condições do ambiente onde se está realizando a leitura pode influenciar muito a leitura do termógrafo e para isso deve-se ter noção dos muitos fatores que podem incidir negativamente na imagem gerada pelo equipamento.

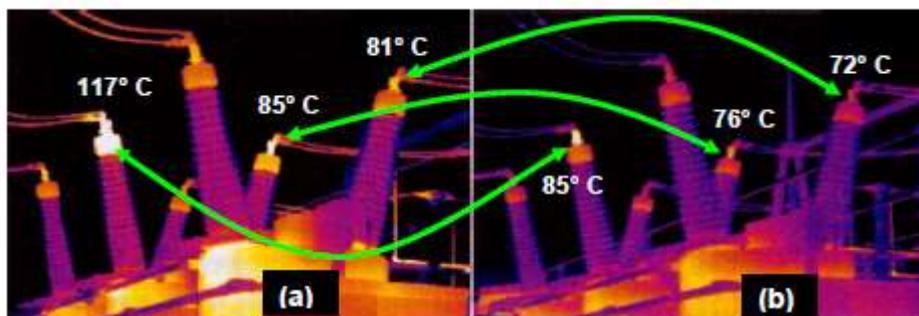
2.1.4.3.1 Velocidade do vento

A dissipação de calor pelo mecanismo de convecção em um componente é determinada pela velocidade do ar, a qual provoca um resfriamento no mesmo. Sérios defeitos podem ter sua temperatura reduzida e, em uma análise que não leve em consideração o efeito do vento, podem ser classificados como um problema sem maior gravidade. Além disso, defeitos em estágios iniciais, apresentando pequeno aumento de temperatura, podem simplesmente não ser detectados pela inspeção (SNELL, 2011).

Em local onde a inspeção esteja sendo feita sob a ação de vento deve-se efetuar a correção dos valores de aquecimento para uma situação padrão, sem vento.

A Figura 16 mostra a diferença de temperaturas em uma situação sem ação do vento e em seguida com ação do vento.

Figura 16 - Efeito do vento sobre a temperatura de um disjuntor a óleo. (a) Com velocidade do vento igual a 0 km/h – (b) Com velocidade do vento moderada.



Fonte: (SNELL, 2001)

2.1.4.3.2 Temperatura ambiente

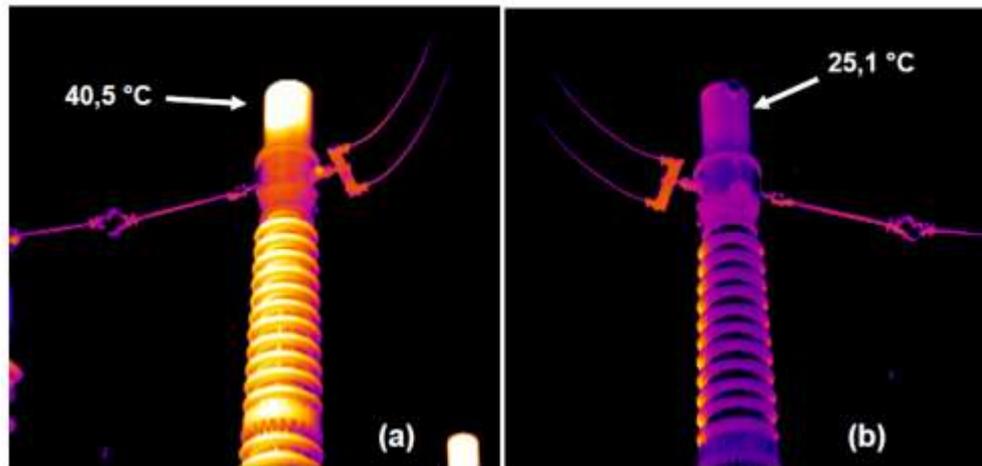
Análises de inspeções termográficas devem levar em conta a temperatura ambiente. Considerando as outras influências estáveis, um aumento da temperatura ambiente resultará em um aumento da temperatura da anomalia, assim sendo, falhas têm uma maior probabilidade de ocorrerem durante temperaturas ambiente mais altas (SANTOS, 2012).

Geralmente a temperatura ambiente é maior durante o dia, portanto, análises de inspeções realizadas durante a noite devem levar em consideração que, durante o dia, a temperatura da anomalia pode subir, tanto em função do carregamento solar, como em função do aumento da temperatura ambiente (SANTOS, 2012).

2.1.4.3.3 Incidência do Sol

A radiação solar pode afetar a leitura dependendo da posição em que se é feita a captura da imagem pelo termoleitor. A Figura 177 mostra que para um mesmo equipamento, e em um mesmo horário, a leitura térmica pode acusar resultados diferentes.

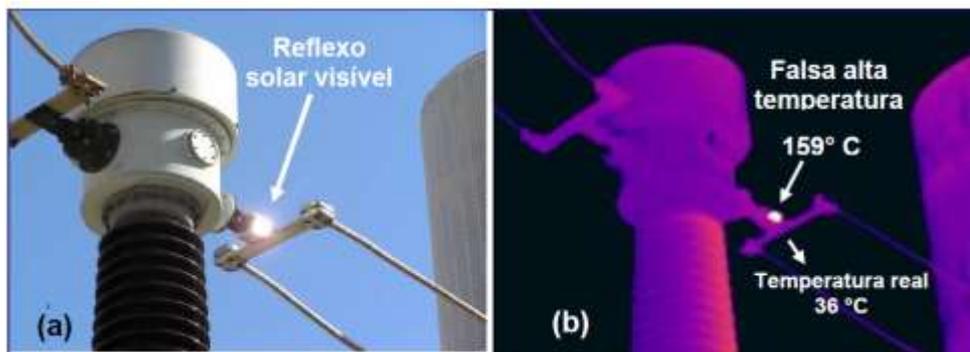
Figura 17 - Termogramas de um Transformador de Corrente, sob o Sol, obtidos no mesmo horário, mas de posições opostas. (a) A favor do Sol – (b) Contra o Sol.



Fonte: (SANTOS, 2012)

Também pode ocorrer uma falsa análise decorrente de reflexos solares. Este problema não incorre em um aumento de temperatura da fonte analisada, mas sim em uma imagem térmica equivocada, conforme a Figura 188.

Figura 18 - Reflexo solar em uma conexão de baixa emissividade. (a) Reflexo solar no visível. (b) Reflexo solar no infravermelho provocando uma falsa alta temperatura no termograma.



Fonte: (SANTOS, 2012)

2.1.5 Plano de Inspeção

As inspeções são programadas levando em conta a importância da instalação. Atualmente são realizadas em horário de carga máxima da instalação. Hoje está sendo estudado a implantação de inspeção, pelas Distribuidoras de Energia, fora do horário de ponta da instalação, levando em consideração a capacidade da instalação, o carregamento e a velocidade do vento.

2.1.6 Critérios para intervenção

As ações necessárias e cabíveis em uma dada situação analisada pelo técnico são regidas por classes de intervenções, classes essas que podem divergir entre as Distribuidoras de Energia, como já dito anteriormente. A Tabela 2 resume as Tabelas 1 e 2 da norma da ENEL IT-C 021. Os critérios aqui apresentados também são referentes a esta norma, que será apresentada no item 3.3.2 5 deste trabalho.

Os procedimentos são diferenciados dependendo da temperatura medida e do equipamento ou componente, objeto da inspeção.

Tabela 2 - Classificação quanto ao tipo de manutenção por classe de temperatura

Temperatura (°C)	Tipo de Intervenção
Inferior a: 40 °C (Conexões e emendas); 45 °C (Equipamentos de disjunção a óleo)	Observação
40°C à 99 °C (Conexões e emendas) 45°C à 99 °C (Equipamentos de disjunção a óleo)	Manutenção programada (3 meses)
100°C à 160°C (Ambos)	Manutenção de urgência (72h)
Acima de 160°C (Ambos)	Manutenção de emergência (24h)

Fonte: Próprio autor

Alguns equipamentos que fazem parte do sistema Elétrico de Distribuição têm uma abordagem específica quanto ao tipo de manutenção necessária, dada sua natureza de funcionamento ou elementos que compõem sua estrutura física.

2.1.6.1 Disjuntores, Religadores e Chaves a Óleo

No caso de disjuntores, religadores e chaves à óleo, quando a temperatura medida é superior a 45°C considera-se um ponto de manutenção programada, conforme Tabela 2.

2.1.6.2 Pára-Raio

Para o Pára-Raio, se a temperatura aferida for maior que 5°C em relação a ambiente, classifica-se a intervenção como manutenção programada.

2.1.6.3 Transformador

Em transformadores de distribuição, 15 kV, quando a temperatura na carcaça for superior a 65°C, é sugerido uma verificação na capacidade nominal e no carregamento deste transformador. Em se verificando a anomalia térmica, deve ser uma manutenção programada

Quando da inspeção em transformadores de força houver imagens diferenciadas dos radiadores, é recomendado a verificação da existência de válvulas fechadas.

2.1.6.4 Conexões e Emendas

O critério adotado para Conexões é o mesmo da Tabela 2.

2.2 Ponto Quente

É a conexão elétrica que apresenta uma elevação de temperatura igual ou superior a 15°C em relação a um componente adjacente em igual condição operacional, ou que apresente temperatura igual ou superior a 30°C acima da temperatura ambiente.

O Ponto Quente é um problema para a manutenção e operação do sistema elétrico, pois além de proporcionar consequências danosas através de oscilações e quedas de tensões indesejáveis ao sistema, podem a qualquer momento provocar uma falta de fase ou mesmo a interrupção completa do fornecimento de energia elétrica.

2.3 Ponto Crítico

É o Ponto Quente que se apresenta com uma elevação de temperatura igual ou superior a 50°C em relação a um componente adjacente em igual condição operacional, ou que apresente temperatura igual ou superior a 70°C em relação a temperatura ambiente.

2.4 Preenchimento do Relatório de Ponto Quente (RPQ)

O preenchimento do RPQ tem que ser muito enriquecido de detalhes na descrição do objeto, para ficar de fácil identificação para a manutenção, como é também indispensável a corrente máxima mensal, corrente de inspeção e horário da inspeção e carga máxima.

CAPÍTULO 3

3 ANÁLISE NORMATIVA

Nesta etapa desta monografia são expostas e analisadas normas que compõe o cânone de instruções que regem a atividade termográfica em manutenção da ENEL, empresa hoje responsável pela distribuição de energia elétrica do Ceará. A título de conhecimento, inicialmente, serão também mencionadas algumas normas a nível mundial e a nível nacional.

3.1 Normas e recomendações internacionais

Em um panorama mundial, já existe a preocupação em regulamentar e padronizar a atividade termográfica desde a década de 1980 (Quality, 2017) com o intuito de se ter um processo minucioso e com níveis de repetibilidade aceitáveis.

As Normas e recomendações atualmente existentes no cenário mundial são:

- ISO 18434-1 - *Condition monitoring and diagnostics of machines — Thermography — Part 1: General procedures* (ISO, 2017).
- ISO 18436-1:2004, *Condition monitoring and diagnostics of machines — Requirements for training and certification of personnel — Part 1: Requirements for certifying bodies and the certification process* publicada pela International Organization for Standardization (ISO) (ISO, 2017).
- • ISO 18436-3 - *Condition monitoring and diagnostics of machines — Requirements for qualification and assessment of personnel — Part 3: Requirements for training bodies and the training process* publicada pela International Organization for Standardization (ISO) (ISO, 2017) (ISO, 2017).
- • ISO 18436-7 - *Condition monitoring and diagnostics of machines — Requirements for qualification and assessment of personnel — Part 7: Thermography* publicada pela International Organization for Standardization (ISO) (ISO, 2017).
- ASTM E1934 - *Standard Guide for Examining Electrical and Mechanical Equipment with Infrared Thermography* publicada pela ASTM International (ASTM, 1999).

- Recommended Practice No. SNT-TC-1A - Personnel Qualification and Certification in Nondestructive Testing publicada pela American Society for Nondestructive Testing (ASNT) (ASNT, 2006).
- EN 473 - Non-destructive testing - Qualification and certification of NDT personnel - General principles publicada pelo European Committee for Standardization (CEN) (CEN, 2017)
- ISO 9712 - Non-destructive testing - Qualification and certification of personnel publicada pela International Organization for Standardization (ISO) (ISO, 2017).

3.2 Normas ABNT

No Brasil, a normatização relacionada à termografia teve início em 2005 (SANTOS, 2011). A evolução em normatização no campo termográfico tem sido de grande expressão, com a contribuição e envolvimento das mais variadas empresas e órgãos, privados e estatais, envolvidas com atividades que utilizam o termovisor. Estão entre os participantes frequentes a ABENDI, BRASITEST, CHESF, FURNAS, PETROBRAS, entre muitas outras.

No ano de 2005 foi constituída a Comissão de Estudos de termografia – CE-85:000.11. Vale a pena ressaltar que essa comissão foi possível através da outorga da Associação Brasileira de Ensaio Não Destrutivos (ABENDI), certificada pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) como Organismo de Normalização Setorial (ONS-58)

Existem hoje 8 (oito) normas, para ditar as atividades em termografia, fruto da CE-85:000.11, (ABNT, 2017).

- ABNT NBR 15424 - Ensaio não destrutivo - Termografia – Terminologia
- ABNT NBR 15572 - Ensaio não destrutivo - Termografia por infravermelho - Guia para inspeção de equipamentos elétricos e mecânicos.
- ABNT NBR 15718 - Ensaio não destrutivo - Termografia - Guia para verificação de termovisores.
- ABNT NBR 15763 - Ensaio não destrutivo - Termografia - Critérios de definição de periodicidade de inspeção em sistemas elétricos de potência.

- ABNT NBR 15866 - Ensaio não destrutivo - Termografia – Metodologia de avaliação de temperatura de trabalho de equipamentos em sistemas elétricos.
- ABNT NBR 16292 - Ensaio não destrutivo — Termografia — Medição e compensação da temperatura aparente refletida utilizando câmeras termográficas
- ABNT NBR 16485 - Ensaio não destrutivo - Termografia - Medição e compensação da emissividade utilizando câmeras termográficas ou radiômetros
- ABNT NBR 16554 - Ensaio não destrutivo - Termografia - Medição e compensação da transmitância de um meio atenuante utilizando câmeras termográficas

Paralelamente à CE-58:000.11, a ABENDI formou um Grupo de Trabalho e iniciou a criação da norma para sistematizar a qualificação e certificação de pessoal em termografia (SANTOS, 2011). A ABENDI elaborou uma norma como parte das ações necessárias para essa qualificação e certificação:

- NA-009 – Qualificação e Certificação de pessoas em termografia (ABENDI, 2011)

A NA-009 (2011) classifica o profissional em 3 níveis crescentes de qualificação.

- Nível 1: qualificação para executar a inspeção termográfica básica
- Nível 2: capaz de demonstrar as habilidades e conhecimentos requeridos para o nível 1 e estar capacitado para executar e/ou orientar uma inspeção termográfica de acordo com os procedimentos reconhecidos e estabelecidos
- Nível 3: capaz de demonstrar as habilidades e conhecimentos requeridos para o nível 2, como desenvolver e implementar programas de monitoramento da condição e procedimentos de inspeção e interpretar e avaliar normas, especificações e procedimentos, entre outros.

3.3 Normas ENEL

A ENEL dispõe de normas, ligadas a manutenção e a termografia, que são abordadas a seguir. São elas:

- DCT-C 002 – Estratégia de Manutenção de Linhas de Alta Tensão e Subestações.
- DCT-C 003 – Estratégia de Manutenção de Linhas de Média e Baixa Tensão.
- IT-C 010 – Planejamento e Controle da Manutenção de Linhas de Distribuição de Média e Alta Tensão.
- IT-C 012 – Planejamento e Controle da Manutenção em Subestações de Distribuição
- IT-C 013 – Controle, Verificação e Calibração dos Instrumentos de Medição
- IT-C 021 – Inspeções Termográficas em Subestações de Distribuição e Linhas de Distribuição de Alta Tensão
- PEX-034 – Inspeção Termográfica em Linhas de Distribuição de 72,5kV
- PEX-059 – Inspeção Termográfica em SEs

3.3.1 DCTs Referentes a Estratégia de Manutenção

Existem duas DCT (Diretrizes e Critérios Técnicos) que abordam estratégias de Manutenção, as quais contemplam o uso da Termografia como parte relevante.

3.3.1.1 Estratégia de Manutenção de Linhas de Alta Tensão e Subestações

Para manutenção em linhas de alta tensão e subestações tem-se a DCT-C 002/2016 R-03 (R-03 por ser a revisão 3), a qual visa o planejamento e controle da manutenção. A segurança das pessoas e do meio ambiente são objetivos também dessa norma, assim como a otimização dos custos de manutenção e o prolongamento da vida útil das instalações.

A DCT-C 002 define 3 níveis (A, B e C) para a os consumidores ligados à sua rede, ordenados de acordo com a importância do consumidor e pelo impacto que resulta a falta deste consumidor, sendo esse impacto de cunho econômico ou relacionado aos indicadores de qualidade de serviço aos quais a ENEL está submetida.

Também é discriminado nesta norma os tipos de manutenção, sendo elas: Revisar, Adequar e Reparar. A Inspeção Termográfica é incluída no tipo “Revisar”, a qual é responsável pela verificação se o estado da linha ou equipamento oferece garantias necessárias para a continuidade de fornecimento.

Como resultados das “Revisões” (inspeções), a norma qualifica os defeitos segundo seu grau de criticidade em: Alta, Média, Baixa e Informativos. De acordo com o grau classificado do defeito, uma ação específica é adotada a título de Manutenção.

Estas “Revisões” são realizadas para controlar o estado das linhas aéreas AT, sendo a Inspeção Termográfica, uma delas. A norma caracteriza a Inspeção Termográfica de Linhas AT, no tópico 7.3.2, “Esta inspeção consiste em percorrer a linha utilizando um termovisor, com a instalação energizada e em carga, verificando a existência de pontos cujo aquecimento exceda ao normal. Será realizada uma termografia nas linhas novas, após sua energização com carga” e de Subestações, no tópico 8.2.3.1, “Consiste em realizar as medições de temperatura com a instalação energizada e com carga, com a finalidade de detectar pontos cujo aquecimento exceda ao normal. A inspeção termográfica para as subestações tipo “A” será realizada duas vezes ao ano e as subestações tipo “B” uma vez ao ano”.

Dentro do Plano Anual de Revisão está definido no tópico 7.5 a termografia. Quanto a periodicidade da análise termográfica, sendo nível A, duas vezes ao ano, nível B e C, 3 vezes ao ano. Em todos os níveis deve ser feita a termografia em 100% das Linhas.

Para as Subestações e seus equipamentos, é definido a periodicidade da manutenção, ANEXO A, de acordo com o item 8.4 da norma. O ANEXO B contém o Plano de Manutenção, o qual contempla as subestações e os equipamentos que compõe o sistema elétrico de Distribuição.

3.3.1.2 Estratégia de Manutenção de Linhas de Média e Baixa Tensão

Assim como na DCT-C 002, a DCT-C 003/2016 R-02 tem a proposta igual quanto as estratégias de manutenção em LT, diferindo que esta tem por alvo as linhas de Média Tensão (MT) e Baixa Tensão (BT). As linhas de MT estão definidas como linhas cujo nível de tensão está compreendido entre 1 e 36 kV e as linhas de BT inferior a 1000 V.

Assim como na DCT-C 002, as linhas são classificadas em 3 níveis (A, B e C) pelos mesmos critérios. Também é tratado como igual os tipos de Manutenção, incluindo também na atividade “Revisar” a Inspeção termográfica.

Os objetos da manutenção são descritos no tópico 8.2 da DCT-C 003, uma lista que contempla objetos relacionados a estruturas, conectores, sistema de proteção, equipamentos, faixa de servidão e iluminação pública. A periodicidade de manutenção é de 2 (duas) vezes ao ano em cada zona, para o Nível “A”, e 1 vez ao ano cada zona, para os níveis “B” e “C” conforme a Tabela 3 do tópico 8.5 da DCT-C 003. Vale salientar que mesmo havendo essa periodicidade definida por níveis, para BT está definida na norma, que o responsável da área é quem determina esta periodicidade e julga quando necessário ou não a Inspeção Termográfica.

3.3.2 ITs Relevantes na Manutenção com Uso dos Termovisores

Este tipo de normatização, Instrução de Trabalho (IT), tem por objetivo esclarecer as instruções necessárias ao planejamento e controle de inspeções em Linhas MT/AT, IT-C 010/2017 R4 (antiga IT 010 (para MT) e IT 011 (para AT) agora condensadas em 1) também em SEs de Distribuição, IT-C 012/2017 R-04.

Essas ITs definem 4 tipos de anomalias e o tempo para correção de cada uma, sendo:

- ANE: Anomalias de caráter de emergência com prazo de correção de 24h;
- ANU: Anomalias de caráter de urgência com prazo de correção de 72h;
- ANT: Anomalias que não são críticas e indicam a presença de ponto quente em componente de equipamentos ou instalações e são OTs geradas como resultado de inspeção termográfica e devem ser corrigidas no prazo máximo de 3 (três) meses;
- AN: Anomalias que não são críticas e devem ser corrigidas no prazo máximo de 3 (três) meses.

Segundo a IT-C 010, tópico 5.9, “Todas as anomalias geradas ANE, ANU, AN e ANT ficam disponíveis no sistema GOM para execução pelas áreas regionais.”

A título de informação, até o ano de 2015, havia uma norma exclusiva que relacionava o planejamento, controle e execução de inspeções termográficas em SE de distribuição e linhas de distribuição AT, a extinta IT-014 de 2009. Essa norma foi diluída entre as IT-Cs 010, 012 e 013 e as PEX 034 e 059.

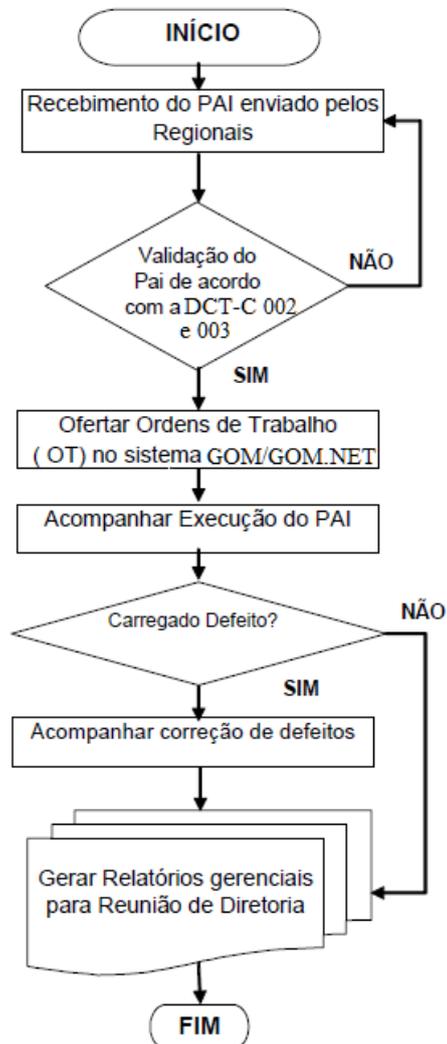
3.3.2.1 *LT MT/AT*

Na IT-C 010 é definida, no tópico 5.3, a elaboração do Plano Anual de Inspeção (PAI), plano responsável pela programação das inspeções em equipamentos e instalações do Sistema Elétrico ENEL, informando quantidade e o tipo de inspeção (dentre elas a termográfica) para todas as instalações. Após a elaboração, o PAI é enviado às Unidades Operacionais para preenchimento das datas início e fim de cada inspeção. O PAI é de responsabilidade da equipe de manutenção e planejamento da ENEL, mantendo a coordenação de periodicidade sempre alinhado com as DCTs.

Com o PAI determinado as equipes da manutenção ENEL se mobilizam para cumprir com as datas definidas, o acompanhamento da execução destas manutenções é monitorado via sistema (GOM/GOM.NET), através das Ordens de Trabalho (OT) geradas no sistema da ENEL.

São emitidos relatórios, previstos no tópico 5.11, quinzenalmente ou conforme a reunião da coordenação, com o objetivo de acompanhamento pela gerência com o fito de mostrar de forma quantitativa a situação das inspeções, para conhecimento e apresentação na reunião da diretoria. Também, estes relatórios, divulgam para a diretoria a situação dos defeitos encontrados nas inspeções detalhadas por criticidade e área responsável. A Figura 19 apresenta o fluxograma do processo de planejamento e controle da manutenção das Linhas de Distribuição de MT e BT

Figura 19 – Fluxograma do processo de planejamento e controle da manutenção das Linhas de Distribuição de MT e AT



Fonte: Próprio autor

3.3.2.2 SEs de Distribuição

Está definida na IT-C 012, tópico 5.4, a elaboração das inspeções termográficas periódicas da manutenção na forma da geração do PAI, tendo como base a classificação das instalações e a periodicidade das mesmas, conforme DCT-C 002. Esta IT assemelha-se bastante, nos assuntos gerais (não específicos a LT ou SE) a IT-C 010, como os assuntos relacionados ao PAI (elaboração, implantação e acompanhamento), emissão de relatórios gerenciais e os assuntos relacionados aos defeitos e anomalias.

3.3.2.3 Controle, Verificação e Calibração dos Instrumentos de Medição

A IT-C 013/2017 R-03 (2017) estabelece “[...] os procedimentos para controle, verificação e calibração dos instrumentos de medição utilizados em atividades que possam afetar a qualidade e a segurança dos produtos e serviços da Área de Análise de Rede”. Esta norma está referenciada a NBR ISSO/IEC 17025- Requisitos Gerais para a Competência de Laboratórios de Ensaio e Calibração. Como esta IT está submetendo todos os instrumentos de medição, logo os termovisores estão submetidos aos procedimentos descritos por esta norma.

Conforme o item 5 desta IT, “A frequência de calibração é definida com base nos manuais e recomendações do fabricante, instruções dos órgãos nacionais de calibrações e, na falta destes, com base no conhecimento dos técnicos envolvidos.”

Esta IT, em versões passadas, definia em seu processo de calibração dos termovisores uma tolerância de $\pm 5\%$. Na versão vigente da IT-C013 não está definida esta tolerância, contudo ela se mantém como boa prática pela ENEL.

A seleção de fornecedores de serviços de calibração busca, nos padrões ENEL, excelência e garantia de qualidade nos seus serviços, por isso é definido no item 5.7 desta norma, as exigências necessárias para calibração, sendo:

- pertencer a Rede Brasileira de Calibração (RBC);
- ter padrões internacionais rastreáveis;
- ter acreditação da Organização Internacional para Padronização (ISO) 17025.

É definido nesta IT a necessidade de um Plano de Calibração e a responsabilidade como sendo junta à Área de Planejamento e Manutenção de Linhas AT, MT e SE. Esta calibração é de assaz importância pois como mencionado no tópico 2.1.3.2.1 desta monografia ela é exigida, por exemplo, como parte da certificação, já conquistada pela ENEL, ISO 9001. Após a realização da Calibração do termovisor é colocada uma etiqueta no equipamento. No caso de o termovisor ter sido aprovado no teste de Calibragem, ele recebe a Etiqueta de Calibração, Figura 20, já na ocasião de o termovisor não ter passado no teste de Calibragem, ele recebe a etiqueta de Instrumento Não Conforme, Figura 21.

Figura 20 - Etiqueta de Calibração de Termovisor

enei Etiqueta de Calibração		ISO 9001
Nº Série:	Modelo:	
Laboratório:	Validado para uso:	
	<input type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não	
Data calibração:	Próxima Calibração:	

Fonte: (IT-C 013, 2017)

Figura 21 - Etiqueta de Termovisor Não Conforme

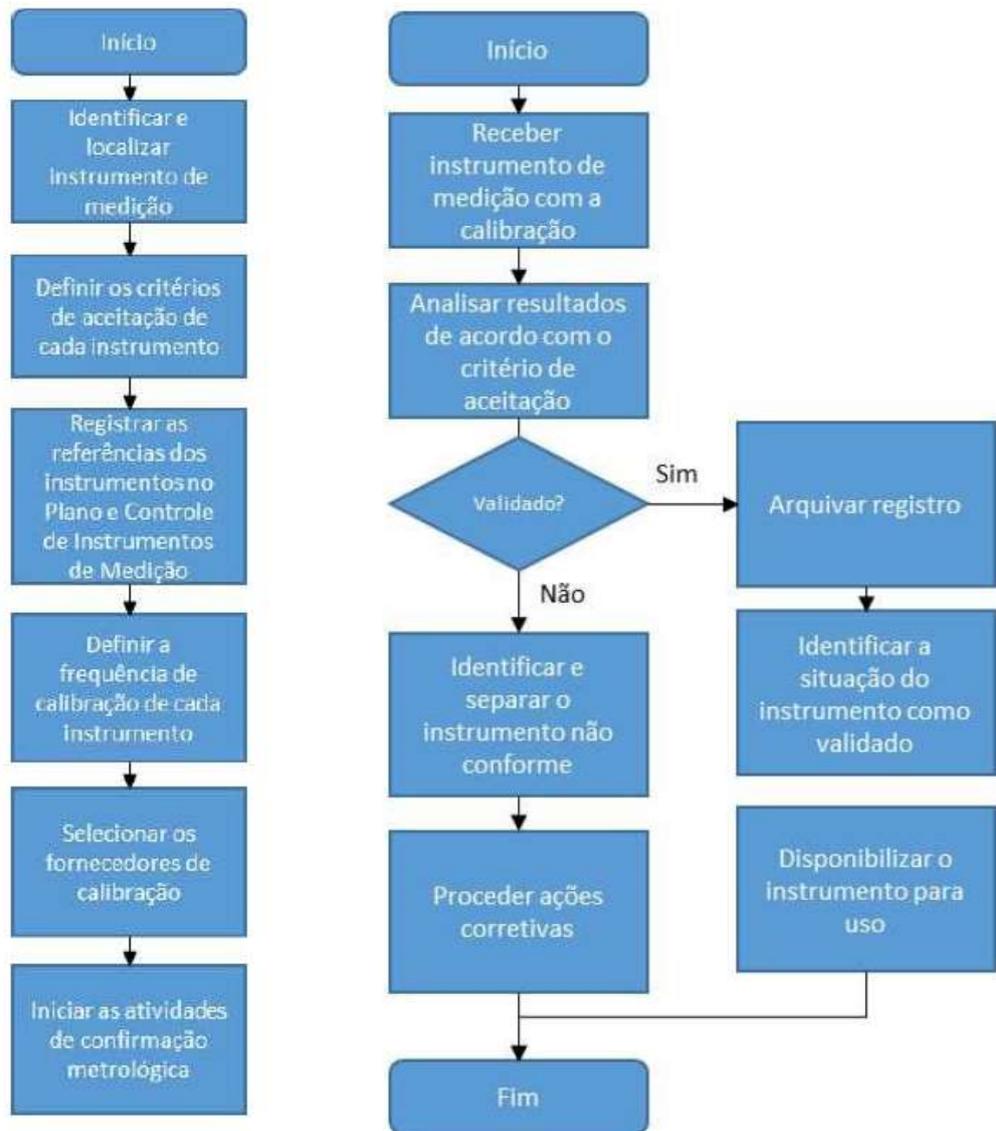
enei Instrumento Não Conforme		ISO 9001
Identificação		
Nº de Série:	Local:	
Descrição:		
Verificação		
Laudo:		
Ação Corretiva:		
<input type="checkbox"/> Consertar	<input type="checkbox"/> Uso Restrito	<input type="checkbox"/> Descartar
Restrição de uso		
Descrição:		
Data:	Responsável:	

Fonte: (IT-C 013, 2017)

Em o termovisor ter passado pelo teste de Calibragem e o resultado ter sido a não conformidade, o termovisor não pode ser utilizado livremente e deve ser escolhida uma ação, dentre as três: Consertar, Uso Restrito e Descartar. Quando “Consertar” é escolhida, o termovisor passa por reparos e regulagens com o fito de se tornar apto em uma nova Calibração. Quando “Restrito” é escolhida, o responsável pelo processo deve descrever na etiqueta o tipo de restrição e dar o aval na etiqueta. Quando “Descartar” é escolhido o termovisor não serve mais para uso algum.

A norma ainda dispõe, no ANEXO A da IT-C 013, o fluxograma relativo ao desenvolvimento da confirmação Metrológica, conforme a Figura 22

Figura 22 - Fluxo de Desenvolvimento da Confirmação Metrológica (esquerda) e Fluxo de Implementação da Confirmação Metrológica (direita).



Fonte: (IT-C 013, 2017)

3.3.2.4 Inspeções Termográficas em SE de Distribuição e Linhas de Distribuição de AT

A IT-C 021/2017 R-03 (2017) tem por objetivo “estabelecer instruções necessárias para a execução das inspeções termográficas em Linhas de Distribuição de Alta Tensão e Subestações de Distribuição do sistema elétrico da Enel.”

A norma instrui a execução das inspeções, conforme o PEX-C 034 e PEX-C 059 explicitados mais a frente neste trabalho. A ordem de trabalho deve ser programada no sistema GOM/GOM.NET e é despachada para os *Tablets/Smartphones* disponibilizados aos técnicos.

Esta IT também classifica os Pontos Quentes por criticidade, cujo objetivo é determinar o grau de criticidade, considerando o impacto que pode provocar a paralisação do equipamento ou instalação. Também é qualificada nesta norma o tipo de intervenção a ser realizada, já discutida no tópico 2.1.5 deste trabalho, dependendo da temperatura detectada na inspeção.

3.3.3 PEX sobre Inspeção Termográfica

O Procedimento de Execução (PEX) é:

[...] uma referência genérica, com o objetivo de orientar a execução dos trabalhos, não abrangendo, portanto, todas as situações possíveis, não imputando responsabilidade parcial ou total, aos elaboradores do mesmo, a desvios ou omissões às boas práticas de serviços, incluindo cuidados ao meio ambiente (PEX-034, 2014).

Apesar da existência da PEX, os técnicos responsáveis pela execução das inspeções termográficas seguem, muitas vezes, sua própria metodologia de execução do serviço baseado na experiência em campo passada por técnicos mais antigos ou por adaptação própria às várias situações encontradas no cotidiano das atividades da manutenção.

3.3.3.1 Inspeção Termográfica em Linhas de Distribuição de 72,5 kV

A PEX-034/2014 R-04 (2014) se aplica a Linhas de Distribuição de 72,5 kV de propriedade da Enel ou de empresas ou clientes, cuja responsabilidade de operação ou manutenção seja, também, da Enel, sendo todas as situações localizadas em área rural ou urbana. A norma ainda consta como propriedades da extinta Coelce, mas deve ser tratado hoje como propriedades da Enel.

Devido a atividade em questão estar envolta em um ambiente de riscos, o inspetor termográfico deve avaliar os riscos da atividade e cumprir com os requisitos de segurança, estando esta avaliação e requisitos listados no Item 5 da norma. São alguns deles:

- É obrigatório o conhecimento das normas de segurança adotadas pela empresa e o uso de equipamentos de proteção, EPIs e EPCs durante a execução dos serviços;
- O responsável pelo serviço deve orientar o pessoal sob sua responsabilidade para o cumprimento das práticas de segurança tanto de natureza técnica como comportamental.
- Não deve permitir a realização de tarefas com a utilização de ferramentas ou equipamentos defeituosos ou fora de sua finalidade.
- O responsável pelo serviço deverá analisar as condições do local de trabalho e o tempo disponível para executá-lo, sempre enfocando o aspecto risco.

Outro ponto importante de procedimento desta PEX é a distância mínima de execução de trabalho. Devido ao elevado nível de tensão das Linhas de Distribuição em inspeção, a norma especifica a distância mínima para a execução de trabalhos nas proximidades das instalações em AT e MT energizadas não protegidas, mostrada na Tabela 3.

Tabela 3 - Distância mínima de segurança, LTs

Tensão nominal entre fases (kV)	Distância mínima (m)
Até 15	1,38
Até 20	1,40
Até 25	1,56
Até 30	1,58
Até 45	1,63
Até 50	1,83
Até 66	1,90
Até 110	2,00

Fonte: (PEX-034, 2014)

A PEX-034 (2014) ainda disponibiliza um quadro, ANEXO C, instruindo o passo a passo da Inspeção Termográfica em Linhas de Distribuição.

3.3.3.2 Inspeção Termográfica em SEs

A PEX-059/2008 R-03 (2008) se aplica a SEs de 72,5/15 kV de propriedade da Enel ou de empresas ou clientes, cuja responsabilidade de operação ou manutenção seja, também, da Enel, com barramentos aéreos ou abrigados.

Assim como no PEX-034 (2014), o PEX-059 (2008) tem exigências quando a avaliação dos riscos e requisitos de segurança, listados no Item 5 da norma. Estes requisitos são idênticos, já citados, aos da PEX-034

A PEX-059 também contém uma regularização de distâncias mínimas de segurança, Tabela 4.

Tabela 4 - Distância mínima de segurança, SEs

Tensão Nominal entre Fases (kV)	Distância Mínima (m)
Até 10	1,35
Até 15	1,38
Até 20	1,40
Até 25	1,56
Até 30	1,58
Até 45	1,63
Até 50	1,83
Até 66	1,90
Até 110	2,00

Fonte: (PEX-059, 2008)

A PEX-059 (2008) também disponibiliza um quadro, ANEXO D, instruindo o passo a passo da Inspeção Termográfica em SEs.

CAPÍTULO 4

4 EXPOSIÇÃO DE CASOS NAS ÁREAS DE ATUAÇÃO DA TERMOGRAFIA

A termografia no Brasil tem participado de atividades ligadas a manutenção desde a década de 1970 (FURNAS, 2017), com inspeções utilizando a termografia infravermelha realizadas nas instalações de FURNAS, uma das pioneiras na utilização da termografia. Ao longo dos anos, a termografia foi se consolidando no cenário brasileiro com áreas de atuações das mais diversas. Nesta etapa do trabalho, serão apresentados alguns campos de atuação da termografia, no cenário da manutenção de sistemas elétricos.

4.1 Cabos

Tem sido crescente o estudo nos cabos elétricos já a algumas décadas, havendo uma mudança no ponto de vista quanto a sua utilização, sendo encarados atualmente como um sistema em si e não simplesmente um meio para conectar outros sistemas. Esse interesse não se limita ao aspecto de confiabilidade (muito estudado no setor aeronáutico), mas tem-se voltado fortemente para o campo da conservação de energia.

A dissipação de calor nos cabos elétricos é um aspecto particularmente importante quando se consideram a pressão em que o sistema elétrico brasileiro está submetido quanto a necessidade de se conservar a energia. Nesta perspectiva, a termografia vem auxiliando fortemente no campo da manutenção dos sistemas elétricos, em particular, nos cabos. Perdas de energia nos cabos podem gerar onerosos custos na transmissão de energia elétrica, recaindo financeiramente sobre o consumidor.

Os cabos se aquecem e dissipam energia pelo efeito Joule, dada a relação ($P = I^2 * R$) existente entre resistência “R” do condutor e o a corrente elétrica “I” que flui por este cabo.

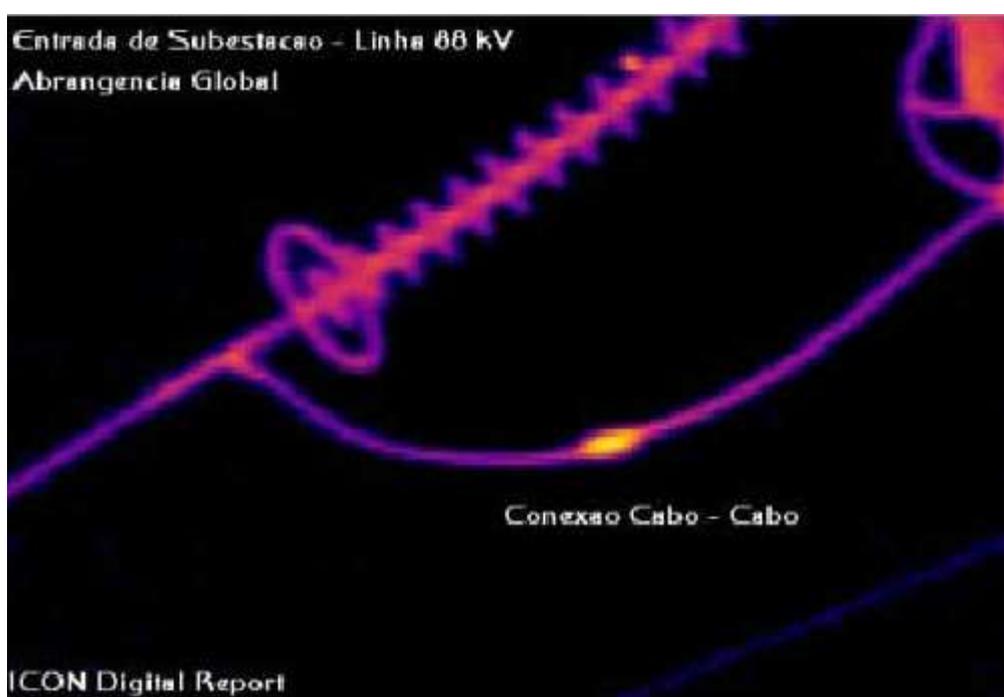
Falhas em cabos podem estar correlacionadas a oxidação do cabo, ao subdimensionamento da bitola do cabo, a uma instalação indevida, a ocorrência de sobrecargas, a um desbalanceamento de fases ou a deterioração do cabo devido ao envelhecimento.

4.1.1 Usina Nuclear Angra I

Estes casos foram registrados no sistema elétrico da Usina Nuclear Angra I (pertencente a Eletrobras/Eletronuclear), descoberto por leitura térmica.

A Figura 23 mostra um ponto quente em conexão cabo-cabo de entrada de subestação com abrangência Global (termo discriminado na PN-T 12 – Norma da Eletronuclear), ou seja, falha grave que afeta a operação ou segurança de toda a Planta da usina. Esta falha pode causar a interrupção do fornecimento de energia elétrica da ordem de 640 MW - energia suficiente para suprir uma cidade de 1 milhão de habitantes-, tendo alto Risco ao Sistema Produtivo (RSP – parâmetro utilizado na norma PN-T 12 da Eletronuclear). Essa falha em questão está ligada a uma oxidação do cabo.

Figura 23 - Ponto quente em uma conexão cabo-cabo



Fonte: (Minelli; Verratti, 2001)

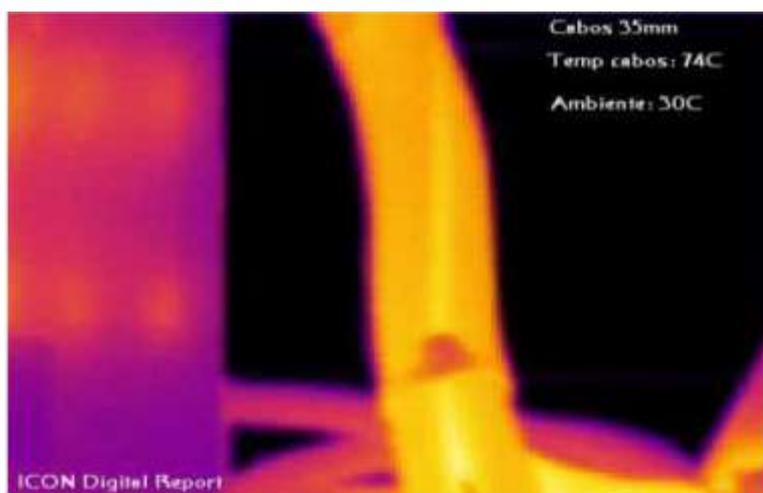
Neste caso, o cabo foi substituído com a maior rapidez possível. Os desgastes que os cabos sofrem pela proximidade da usina com o mar (com a salinidade e umidade do ar agindo fortemente no cabo) ocasionam pontos quentes, os quais aumentam a perda de energia no sistema, reduzem a sua resistência mecânica devido a perda das propriedades do cabo e, fatalmente, resultam no seu rompimento, caso não seja efetuada a troca.

A ICON Tecnologia dispõe do aplicativo de Cálculo de Trocas Térmicas (CTT), o qual calcula a energia dissipada a partir da temperatura externa medida no cabo, convindo assim a utilização da termografia como ferramenta. Utilizando-se desse aplicativo, foi feita uma análise financeira sobre um segundo caso registrado na Usina. Neste caso, foi identificado, através de uma inspeção termográfica, aproximadamente 82 metros de cabo 35 mm com

temperatura anômala. O cabo estava a uma temperatura de 74 °C, quando a temperatura ambiente era de 30 °C, Figura 24, totalizando uma diferença de 34 °C com a temperatura ambiente.

A perda de energia calculada pelo aplicativo foi de 1,4276 kW/h, resultando em 12.506 kW/ano. O custo associado a esta perda é de R\$1.625,78, considerando-se a tarifa daquele ano, 2001, em torno de R\$0,13/kWh. Pode não parecer muito frente ao volume financeiro movimentado pelo mercado energético, mas essa perda soma-se a muitas outras falhas e perdas que somadas acabam tendo um valor financeiro expressivo. Também deve ser levado em conta a seção do cabo, para cabos de seção maior a dissipação também é maior e o custo envolvido na perda de energia acaba sendo muito mais oneroso.

Figura 24 - Cabo com extensão de 82 metros aquecida 34 °C acima da temperatura ambiente.

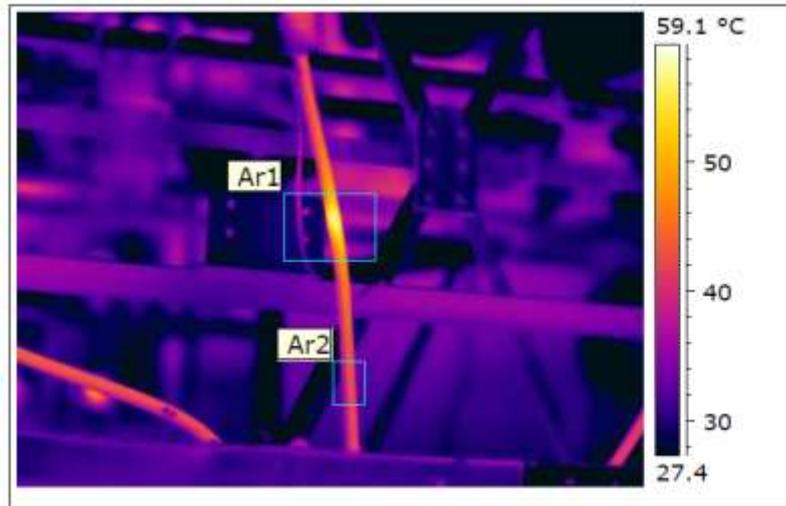


Fonte: (Minelli; Verratti, 2001)

4.1.2 SE em Canoas-RS

A Companhia Estadual de Geração e Transmissão de Energia Elétrica – CEEE-GT é a concessionária de serviços de geração e transmissão de energia elétrica no Estado do Rio Grande do Sul. A SE em questão é a da Cidade Industrial (SE CIN), localizada no município de Canoas. No ano 2011, em uma inspeção termográfica na SE CIN, foi constatado um ponto quente em um cabo abaixo de uma mufla, conforme a Figura 25. O relatório com os dados da inspeção está no ANEXO E.

Figura 25 - Ponto quente no cabo



Fonte: (CEEE, 2011)

A temperatura de referência, “Ar2”, era de 43,5 °C, enquanto que no ponto quente, “Ar1”, era flagrando na imagem térmica uma diferença de 14 °C. A provável causa da anomalia térmica foi o comprometimento do terminal mufla do cabo isolado, Figura 26, causado pela deteriorização do material de vedação ao longo do tempo., permitindo a penetração de umidade entre o isolamento e a malha de aterramento do mesmo. Por sorte, não houve interrupção do circuito.

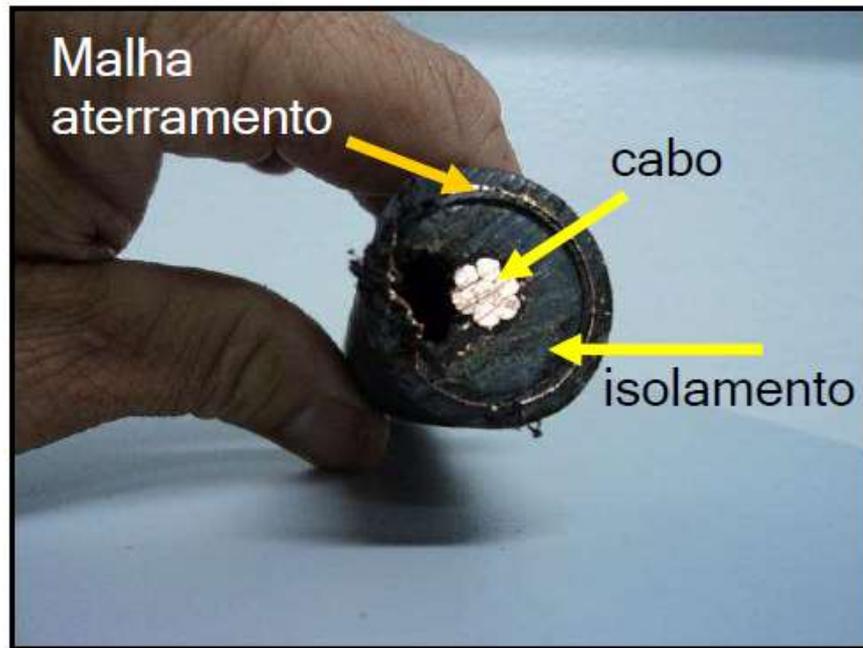
Figura 26 - Terminal mufla danificado



Fonte: (CEEE, 2011)

A Figura 27 mostra o detalhe do cabo cortado logo abaixo do terminal, demonstrando claramente a deterioração do isolamento entre o cabo e a malha de aterramento.

Figura 27 - Deterioração do isolamento entre o cabo e a malha de aterramento



Fonte: (CEEE, 2011)

Na Figura 28 é possível ver o deterioramento do isolante do cabo

Figura 28 - Deteriorização do isolamento



Fonte: (CEEE, 2011)

4.2 Transformadores

4.2.1 Refinaria Presidente Bernardo (Petrobrás)

A Presidente Bernardes, Figura 29, é uma unidade com alta capacidade de conversão, produzindo dezenas de derivados de grande valor de mercado e padrão internacional. A capacidade instalada é de 178 mil barris/dia. A maior parte dos produtos destina-se à capital paulista. Há, ainda, uma parcela para Baixada Santista e regiões Norte, Nordeste e Sul (Petrobrás, 2017).

Figura 29 - Refinaria Presidente Bernardo



Fonte: (Petrobras, 2017)

A Presidente Bernardes dispõe de 120 transformadores a óleo em suas instalações, com potência variando entre 50 kVA a 9,5 kVA. A equipe de manutenção de subestações da refinaria, tendo em vista que a refinaria funciona desde 1955 e dispõe de equipamentos em todos os estágios de vida útil, acompanha rigorosamente as condições operacionais de cada transformador com análises preditivas de óleo isolante e inspeções termográficas.

A seguir serão expostos alguns resultados dos esforços da manutenção destes transformadores.

4.2.1.1 Transformador da Unidade de Coque de Petróleo 2 – UCP2

O transformador em questão, Figura 30, tem as seguintes características:

- Potência nominal: não forçada -7,5 MVA; forçada – 9,37 MVA;
- Primário: 88 kV;
- Secundário: 4,16 KV;
- Fabricante/Ano: ITEL/1983;
- Tipo de Óleo: Mineral Nftalênico;
- Volume de Óleo: 13.485 L;
- Fisicamente com 4 (quatro) Radiadores e 4 (quatro) Ventiladores.

Figura 30 - Transformador da Unidade de Coque de Petróleo 2 – UCP2

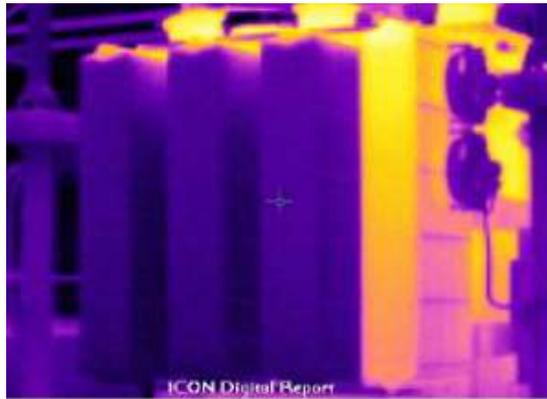


Fonte: (SAMPAIO; VERATTI, 2005)

A Figura 30 mostra com clareza os 4 radiadores do transformador. Estes radiadores instalados na parte externa do tanque, são responsáveis pela circulação do óleo isolante através de aletas que, em contato com o ar ambiente, diminuem a temperatura do óleo. Trata-se então de um dissipador de calor.

E uma inspeção termográfica, a imagem térmica, Figura 31, revelou que 3 dos 4 radiadores deste transformador estavam, de maneira qualitativa, muito mais frios que o radiador mais a direita, denotando um problema. Todos os 4 radiadores deveriam estar quentes, a idênticas temperaturas, por conta da dissipação do calor, devido a circulação de óleo.

Figura 31 - Imagem térmica dos radiadores do transformador



Fonte: (SAMPAIO; VERATTI, 2005)

O problema contatado pela imagem térmica foi investigado e foi constatado que 3 registros inferiores destes radiadores estavam fechados internamente, apesar de externamente suas válvulas estarem posicionadas como “abertas”. A solução para o problema foi a limpeza e substituição das válvulas. A Figura 32 demonstra a imagem térmica com os radiadores funcionando corretamente, após a identificação do problema e sua devida correção. Assim as temperaturas dos radiadores ficaram melhor distribuídas e reduzida em 10°C.

Figura 32 - Radiadores funcionando corretamente, após correção do problema



Fonte: (SAMPAIO; VERATTI, 2005)

4.2.1.2 Transformadores para cargas elétricas em 480 V

Os transformadores aqui analisados alimentam várias cargas elétricas, em 480 V, da planta da refinaria, como: Motores, retificadores, instrumentação etc. Nesta análise, as

verificações de temperatura também são feitas em radiadores, no entanto discorrem em causas diferentes e precisam de ações corretivas diferentes das do transformador da UCP2.

Os transformadores em questão, Figura 33, têm as seguintes características

- Potência nominal: não forçada -1,5 MVA; forçada – 1,7 MVA;
- Primário: 4,16 kV;
- Secundário: 480 V;
- Fabricante/Ano: TRAF0/1984;
- Tipo de Óleo: Mineral Parafínico;
- Volume de Óleo: 889 L;
- Fisicamente com 4 (quatro) Radiadores de um só lado.

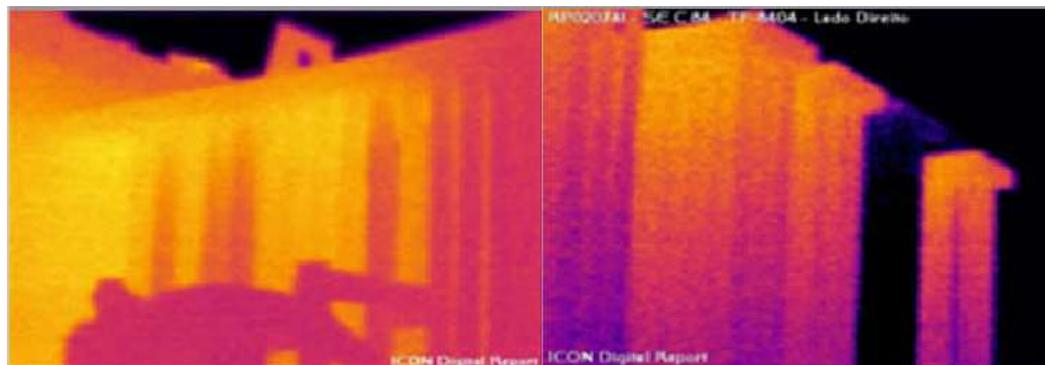
Figura 33 – Transformadores 4,16 kV/480 V



Fonte: (SAMPAIO; VERATTI, 2005)

Feita a inspeção termográfica nos transformadores, constatou-se, conforme a Figura 34, alterações nos gradientes de temperatura. Pelas imagens, percebeu-se que poderia estar ocorrendo fluxo de óleo de diferentes temperaturas pelos radiadores, ou o óleo não estaria realizando as devidas trocas térmicas.

Figura 34 - Constatação de anomalias térmicas nos radiadores dos transformadores 4,16 kV/480 V



Fonte: (SAMPAIO; VERATTI, 2005)

De posse das imagens térmicas constatando um problema térmico, iniciou-se a análise da situação. Os dois trafos mantêm-se expostos ao tempo sobre às mesmas condições de isolamento; com temperatura ambiente, no dia da inspeção, em 25°C; variação de temperatura entre os radiadores entre 29°C e 55°C; ausência de ventos que atuassem resfriando os radiadores diferencialmente; ambos sem registros manuais os quais poderiam restringir os fluxos dos óleos isolantes dos tanques para os radiadores; cargas elétricas equilibradas; níveis de óleo isolante normais.

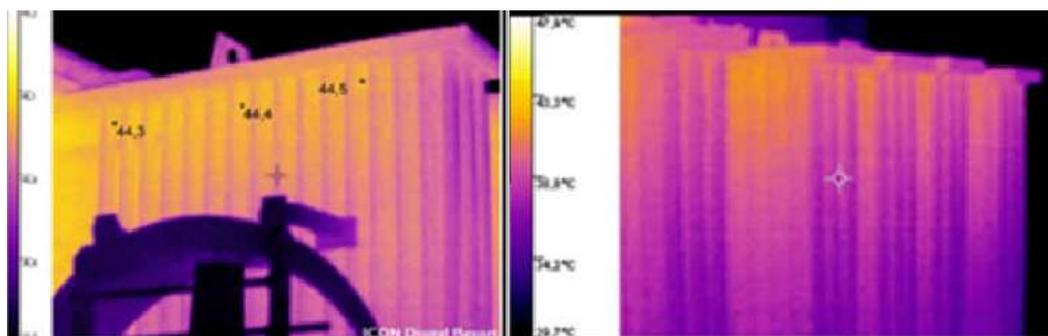
Dada as condições dos trafos, foram descartadas a possibilidade de falta de óleo isolante nos tanques e cargas elétricas desequilibradas nas bobinas. Com isso a atenção voltou-se para as propriedades do óleo mineral parafínico, o qual, devido a alta viscosidade, por formar cera e modificar o escoamento do óleo, como também pode gerar ácidos fortes através da degradação do óleo com possibilidade de formação de sedimentos, resultando na impregnação destas resinas nas paredes internas dos radiadores. A causa mais provável, resultado da análise termográfica, seria a existência de resinas impregnadas nas paredes dos radiadores, onde estas poderiam estar atuando como isolante e dificultando as trocas térmicas nas interfaces óleo/radiadores (SAMPAIO; VERATTI, 2005).

Com o resultado da análise termográfica e de posse do possível problema existente, foi necessária uma análise físico-química e gás cromatográfica do óleo para análise detalhada das condições em que ele se encontrava. A análise confirmou a presença de borras e sedimentos epóxis no óleo isolante dos transformadores. Com isso foi fundamental uma intervenção corretiva com a efetuação de lavagens e filtragens com filtros especiais, colocando novas cargas do óleo isolante. Após isso, os óleos isolantes foram elevados a temperatura de 80°C (agora

com óleo mineral naftalénico) solubilizando, removendo e filtrando os sedimentos impregnados internamente.

Após a ação corretiva, foi realizada uma nova inspeção termográfica, Figura 35, resultando em resultados satisfatórios de normal funcionamento dos radiadores, haja vista a uniformidade em praticamente todas as regiões do radiador.

Figura 35 - Imagem térmica feita após ação corretiva nos radiadores



Fonte: (SAMPAIO; VERATTI, 2005)

Segundo Sampaio e Veratti (2005), ação corretiva, fruto de uma inspeção termográfica, evitou uma possível falha dos transformadores, o que poderia ter causado a refinaria prejuízos da ordem de US\$228.000/dia. O custo das inspeções termográficas era da ordem de US\$8.000/ano, naquele ano, denotando a importância financeira que se tem uma inspeção termográfica, sendo aplicada por profissionais competentes e conduzida de forma investigativa.

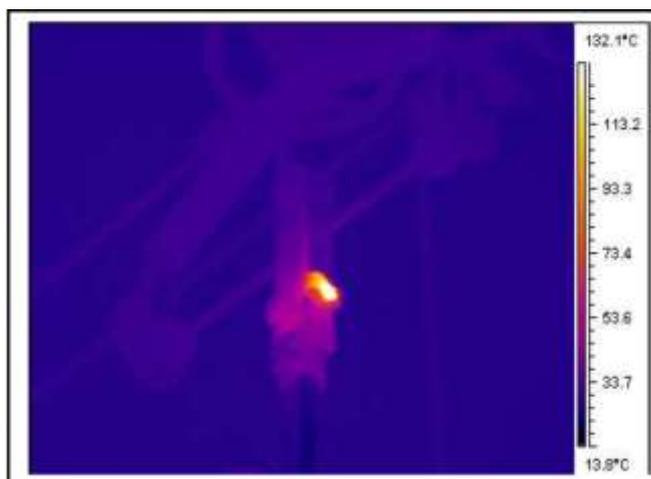
4.3 Chave seccionadora

4.3.1 SE Garibaldi/ LT Farroupilha – 230 kV

Essa SE faz parte do sistema elétrico sobre responsabilidade do CEEE GT, no estado do Rio Grande do Sul.

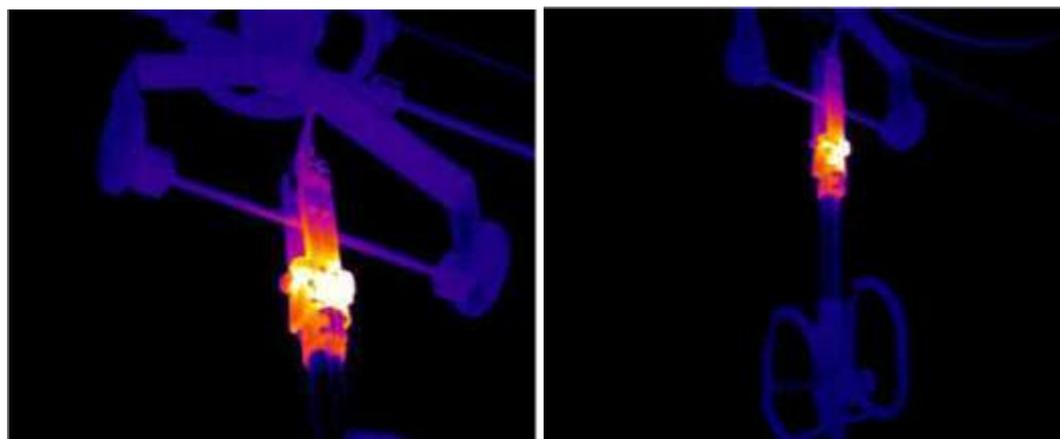
A inspeção termográfica na SE Garibaldi, no módulo da LT Farroupilha – 230 kV, revelou um elevado aquecimento no contato móvel da chave seccionadora, conforme Figura 36 e 37.

Figura 36 - Ponto quente em chave seccionadora



Fonte: (CEEE, 2011)

Figura 37 - Ângulo lateral de aquecimento do equipamento.



Fonte: (CEEE, 2011)

Como possível causa da anomalia térmica, pode ter ocorrido uma frouxidão dos parafusos de regulagem dos contatos internos, Figura 38, durante alguma realização de manobras no equipamento. Também a causa pode estar relacionada a grande variação térmica da região onde está alocado o equipamento (o local encontra-se em uma serra).

Caso o aquecimento não fosse descoberto, poderia o problema, apenas aquecimento, avançar para uma deterioração do material do contato da chave seccionadora. Também poderia ocorrer um desequilíbrio de corrente elétrica no equipamento. Por fim, poderia a situação discorrer na atuação do relé de proteção 50 sobrecorrente, instalado na LT FAR, conforme visto no diagrama unifilar do ANEXO F, onde o equipamento está alocado, desarmando a linha e desabastecendo toda a subestação, pois esta LT é a única fonte de alimentação.

Figura 38 - Parafuso de regulagem



Fonte: (CEEE, 2011)

Nesta situação o problema foi resolvido de forma simples, com o devido aperto do parafuso de regulagem, conforme Figura 39.

Figura 39 - Técnico da CEEE corrigindo a anomalia.



Fonte: (CEEE, 2011)

CAPÍTULO 5

5 A UTILIZAÇÃO DE DRONES NA TERMOGRAFIA

Desde o surgimento dos primeiros drones comercializados, estes equipamentos vêm ganhando cada vez mais espaço no mercado, com sua enorme variedade de aplicabilidade. Há hoje, uma forte tendência em utilizar drones nas aplicações de engenharia, Figura 40, em particular, nas inspeções termográficas. Com isso, julga-se de grande importância dedicar esse capítulo final a essa nova solução da engenharia atual.

Figura 40 - Uso de drone em Inspeção



Fonte: (SuperDrones, 2016)

A título de nomenclatura, os drones podem ser chamados pela sigla VANT (Veículo Aéreo Não Tripulado), apesar de ambos serem o mesmo em termos técnicos. A sigla VANT tem sido mais utilizada para se referenciar aos drones de uso voltado para propósitos comerciais, profissionais ou para pesquisas, enquanto que “drone” é utilizado de uma forma mais popular nas demais atividades. Neste trabalho será utilizada ambas as nomenclaturas para consolidar o fato de se tratarem do mesmo equipamento.

5.1 Aplicações e justificação do seu uso

O uso de drones em inspeções vem se tornando uma forte tendência a nível mundial. Na Europa, empresas vem se especializando no desenvolvimento de drones e câmeras térmicas,

próprias para o uso da termografia, assim como na disponibilização de serviços com a utilização destes equipamentos.

O diagnóstico dos interiores de edifícios é muito utilizado, desde a década de 1960. No entanto, ao medir exteriores, surge o problema de mapear toda a superfície da construção, não só em edifícios de grande porte, mas também em casas onde a maior parte do telhado não é facilmente acessível. Outra área de atuação dos drones é na segurança aérea, como na patrulha de fronteiras ou na vigilância de propriedades muito extensas. Também a utilização destes equipamentos vem sendo muito utilizada em missões de busca e salvamento. Mas, como aplicação conivente ao tema deste trabalho, sem dúvidas é a atuação de drones nas inspeções em LTs, haja vista que muitas vezes essas linhas se encontram em áreas de acesso extremamente difícil ou impossível ao inspetor e, também, as longas distâncias que essas LTs percorrem dá crédito a utilização dessa nova tendência, facilitando e otimizando o processo de vistoria completa.

Os testes com drones na tarefa de se inspecionar linhas são feitos desde a década de 1990, no entanto, seus custos e a capacidade das aeronaves nesta época tornavam inviável sua utilização. Com a evolução das aeronaves (hardware) e os imensos avanços dos aplicativos e programas de automatização (software) a viabilidade de sua aplicação é mais nítida (Mousinho, 2017).

O uso de helicópteros para inspeções em locais não acessíveis pelo solo, por mais rápida e simples que seja, ainda é uma forma onerosa de se inspecionar, sendo assim, com a opção da utilização dos drones, há uma expressiva redução nos custos envolvidos nessas situações, além de garantir a integridade física da equipe técnica em campo. A Figura 41 mostra um comparativo entre as características do uso do drone, do VANT (asa rígida) e do helicóptero.

Figura 41 - Características do drone em comparação com o VANT e o helicóptero

	 DRONES	 VANT (asa rígida)	 HELICÓPTERO/AVIÃO
Custo operacional	✓ Bom	✓ Bom	✗ Ruim
Facilidade para pouso e decolagem	✓ Bom	✓ Bom	⚠ Média
Custo com a manutenção do equipamento	✓ Bom	✓ Bom	✗ Ruim
Rendimento / duração levantamento:	✓ Bom	✓ Bom	⚠ Média
Imagens de alta qualidade:	✓ Bom	✓ Bom	✓ Bom

Fonte: (Geodrones, 2017)

O fator segurança pesa fortemente na escolha do uso de um drone para inspeções em linhas energizadas devido o operador do drone ficar resguardado do perigo em de chegar perto de uma linha energizada. No ano de 2014, um censo realizado pela *United States Census Bureau*, agência que realiza censos nos Estados Unidos, divulgou uma lista das profissões mais perigosas dos EUA, estando os trabalhadores de linha elétrica como a 9ª mais fatal (English, 2017).

5.2 O drone e a câmera termal

A escolha de um drone para uso profissional deve levar em conta alguns fatores. A Drone42 (2017), empresa focada em soluções em imagens aéreas, alerta que na escolha do modelo do drone devem ser levadas em conta a autonomia (tempo de voo), a velocidade máxima, distância efetiva de operação, distância máxima em que a imagem é continuamente transmitida, entre outros aspectos. Atualmente, os modelos disponibilizados pela DJI, (DJI, 2017), são os mais populares e difundidos no Brasil, pela sua ótima qualidade e facilidade em operar. Os drones comercializados pela DJI já são homologados pela Agência Nacional de Telecomunicações (ANATEL) e a empresa possui representante no Brasil. O valor de um drone de uso profissional, encontrado no Brasil, pode variar entre R\$5.500 à R\$32.000, valores referentes a outubro de 2017 (DroneStore, 2017).

A autonomia de um drone é um fator muito relevante a se avaliar. No mercado atual é possível encontrar drone, de modo geral, com um tempo de voo médio entre 10 a 30 minutos, como é o caso dos modelos da DJI. No entanto, em 2016, na Done Show Latin America 2016, a empresa Xrobots apresentou aparelhos que ajudam a tomar conta de plantações, tendo como destaque da convenção um produto nomeado de Nauru 500B, Figura 42. Este VANT tem autonomia de 8 horas e foi criado com o objetivo de monitorar áreas acima de 200 Km², podendo ser utilizado para inspeção em linhas de transmissão, por exemplo. O preço inicial do Nauru 500B é de R\$200.000,00, aumentando conforme os itens adicionais, como uma bateria extra, por exemplo.

Figura 42 - Nauru 500B



Fonte: (Xmrobots, 2017)

Com relação a câmera termal, o site da Geodrones (2017), empresa brasileira especializada em soluções com utilização de drones e de atuação nacional e internacional, lista algumas características importantes que devem ser levadas em conta na escolha de uma câmera embarcada no drone. Dentre as recomendações estão:

- Resolução - para uso em inspeção técnica e mapeamento termográfico, é aconselhável utilizar resoluções acima de 320×130;
- Frequência - a frequência é um fator determinante para capturas em maiores altitudes, pois limita a velocidade de deslocamento do drone durante a captação, pode variar entre 9htz e 60htz;
- Lente - para cada modelo de câmera existem uma serie de aberturas de lente, desde 9mm até 19mm; é vital o entendimento da aplicação para definir qual lente é mais adequada.
- Capacidade de Disparo e transmissão de dados - nem todas as câmeras termais tem capacidade de disparo ou possuem shutter integrado, sendo então a verificação no datasheet, quanto ao sensor, se existe a funcionalidade do disparo, bem como o armazenamento das informações capturadas.

5.3 Regulamentação, certificação e treinamento

Quando os drones começaram a invadir o mercado e se tornou popular, junto veio a preocupação dos órgãos regulamentadores em regulamentar e o uso desta novidade. Em 2 de Maio de 2017, a Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC), emitiu um regulamento especial

para utilização de aeronaves não tripuladas, os drones. Trata-se do Regulamento Brasileiro da Aviação Civil Espacial (RBAC-E) nº94 de 2 de maio de 2017, publicada no Diário Oficial da União em 3 de maio de 2017. Segundo a ANAC, a criação dessa norma, abre espaço para as operações dos drones, preservando a segurança das pessoas. Os limites estipulados nessa norma seguem as mesmas definições de outras autoridades de aviação civil, como a *Federal Aviation Administration (FAA)*, *Civil Aviation Safety Authority (CASA)* e *European Aviation Safety Agency (EASA)*, reguladores dos Estados Unidos, Austrália e da União Europeia, respectivamente (ANAC, 2017). A norma se refere aos drones como RPA (*Remotely Piloted Aircraft*).

A norma autoriza o voo do equipamento a 30 metros, ou mais, acima de qualquer pessoa, a uma altitude menor que essa, está proibido o voo, salvo se houver autorização. Essa norma não se aplica aos órgãos de segurança pública. Veículos com mais de 25 kg devem ser registrados na Anac; mais de 250 gramas e até 25 kg, devem ser cadastrados no site da Anac; veículos com peso inferior a 250 gramas não precisam de cadastro.

Entre os assuntos tratados na norma, está a obrigatoriedade de os pilotos destes equipamentos serem habilitados pela Anac (receber uma habilitação), quando o equipamento tiver mais de 25 kg, ou em o peso do equipamento ser menor do que 25 kg mas forem voar acima de 121 metros de altura. Para qualquer tipo de drone, o piloto deverá ter no mínimo 18 anos de idade. A habilitação especial para essa atividade consta de um Certificado Médico Aeronáutico (CMA).

Na habilitação está discriminado: o uso a que se destina o drone (recreativo ou bussines), enquadramento da atividade (aerocinematografia, arosegurança, transporte etc), especificações do drone, classificação do drone (Classe 1, Classe 2 etc) e, também, uma foto do drone. Esta habilitação tem uma validade de 2 anos. A seguir, o passo a passo para retirar a habilitação para pilotar drones (a partir de 25 kg):

- (1) Entrar no site da Anac, (Anac, 2017), na área “Drones”,
- (2) Selecionar “Classes de Drones – RPA”;
- (3) Clicar no item referente a Classe do drone, neste caso Clase 2 (25 a 150 kg);
- (4) Cadastro do equipamento no SISANT – Sistema de Aeronaves Não Tripuladas, fazer o “Cadastro novo operador”;
- (5) Preencher com os dados do operador.

Um modelo do Certificado de Cadastro de Aeronave Não Tripulada encontra-se no ANEXO G.

Devido ao custo de um drone de uso profissional, aumentado se considerar a inclusão da câmera térmica, há empresas fornecendo treinamento em pilotagem de drones para uso profissional. Uma dessas empresas é a brasileira GEOdrones (GEOdrones, 2017). Os treinamentos ministrados visam dar instruções de pilotagem visando a qualidade do serviço e a segurança do piloto e do VANT. O curso dispõe de uma carga horária de 18 horas, durando 2 dias, e tem um custo de R\$1.780, valores para outubro de 2017.

5.4 O drone e a Enel (Ceará)

Existe, desde 2013, um esforço da área de Planejamento e Manutenção de Redes AT/MT e SEs da Enel, na época Coelce, em se implantar o uso do drone como solução para as inspeções realizadas. Em um primeiro momento o projeto seria incorporar a utilização dos drones para as inspeções visuais, de uso voltado para as Linhas de Distribuição, com utilização das câmeras que já vem nos próprios VANTs. Em um segundo momento, de posse dos drones, seria estudada a possibilidade de acoplar as câmeras térmicas já utilizadas pelos técnicos ou a compra de câmeras específicas para o uso com drones, para utilização em inspeções termográficas.

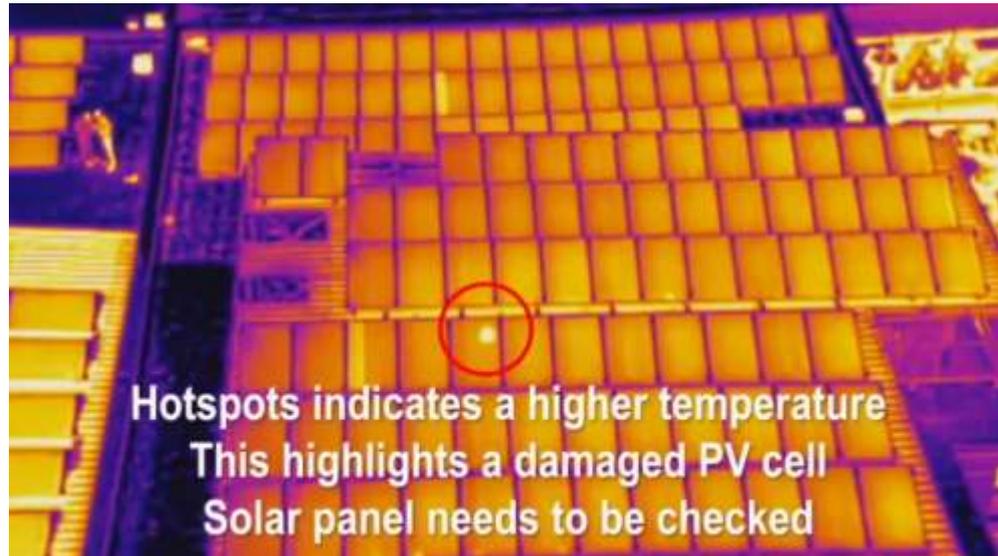
No ano de 2016, o projeto saiu da gaveta e ganhou forma em uma proposta enviada pela área técnica ao setor financeiro sede da Enel (Itália). A solicitação de verbas para avanço do projeto incluía a compra de 10 drones, para uma fase inicial. O projeto foi aprovado em primeira instância, com a redução de 10 drones para 5, no ano de 2017, mas a certeza da concretização e avanço desse projeto virá com o lançamento do orçamento de 2018.

5.5 Imagens de inspeções termográficas com uso de drone.

As imagens apresentadas aqui são de uma rápida inspeção nos painéis solares com uso de um drone. Essa verificação foi feita em poucos minutos, o que poderia levar muito tempo caso fosse feita de maneira tradicional ou, na utilização de um helicóptero, seria muito cara a inspeção, haja vista os custos atrelados ao seu uso.

A Figura 43 mostra a identificação de um ponto quente no painel solar, caracterizando um possível comprometimento da célula solar.

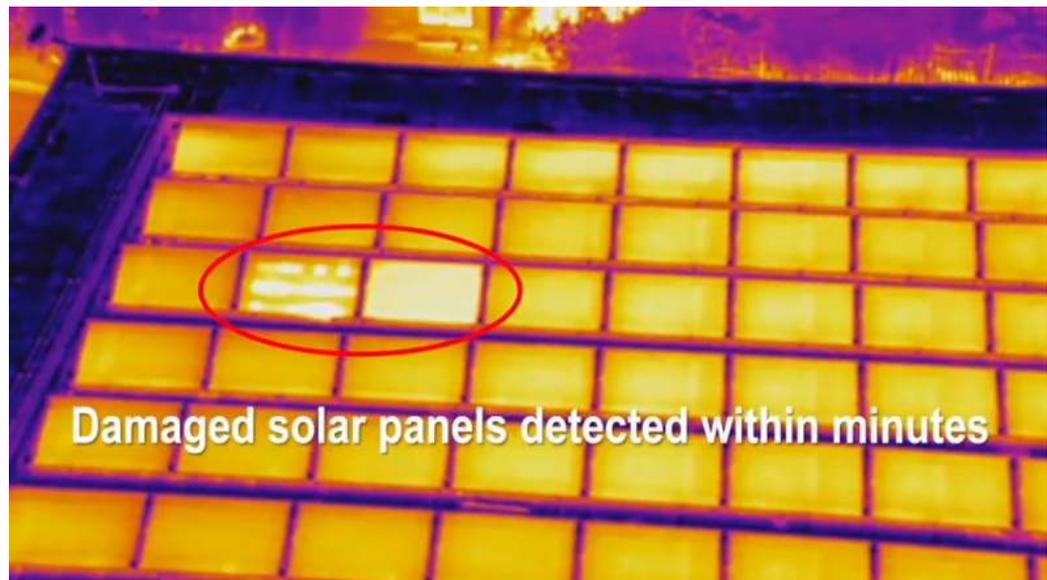
Figura 43 - Ponto quente em painel solar



Fonte: (SuperDrones, 2016)

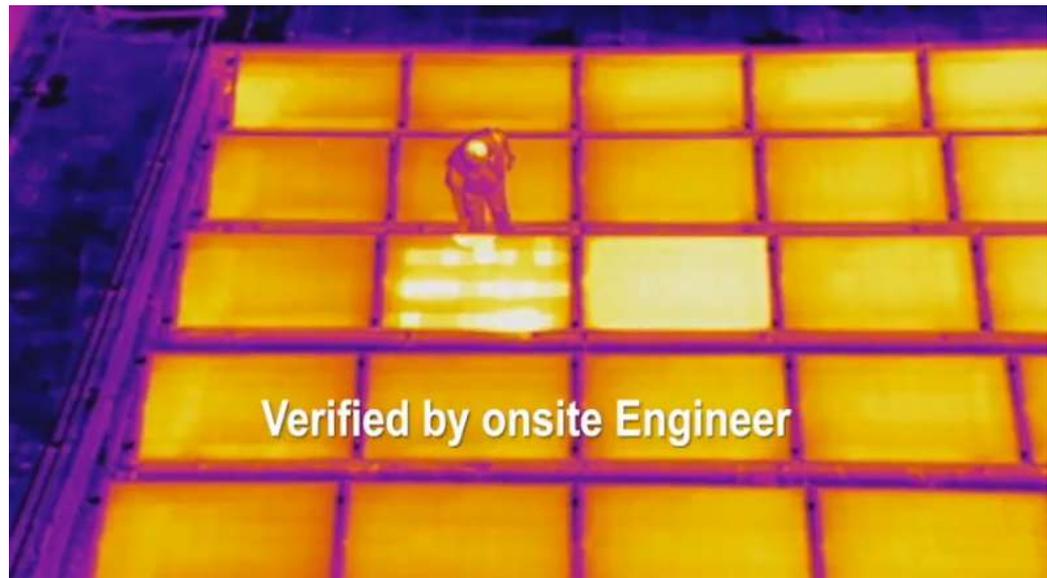
A Figura 44 identifica um painel solar danificado, necessitando a intervenção imediata de um engenheiro no local, Figura 45. Percebe-se que a utilização da câmera térmica, embarcada no drone, gera um otimização e redução brusca nos esforços envolvidos no processo de inspeção e manutenção.

Figura 44 - Identificação de painéis solares danificados



Fonte: (SuperDrones, 2016)

Figura 45 - Engenheiro verificando o painel danificado



Fonte: (SuperDrones, 2016)

CAPÍTULO 6

CONCLUSÃO

A termografia, antes de posse exclusiva do uso militar e a partir da década de 1950 liberada para uso civil, ganhou espaço nos mais variados campos de atuação. As perspectivas e avanços na tecnologia envolta nas aplicações termovisuais guinaram a fabricação de equipamentos modernos, cada vez mais compactos e portáteis. Apesar de a termografia aspirar novos horizontes à medida que o tempo passa, na contramão veio junto a timidez na exposição de trabalhos e nos incentivos na utilização da termografia. Talvez por seus utilizadores resguardarem a gama de profissionais que atuam nessa área, garantindo assim um mercado não tão competitivo. A verdade é que na elaboração desse trabalho foi possível verificar o quão difícil é encontrar informações sobre o mundo termográfico, seja de aspecto histórico, técnico expositivo, normativo ou, onde se encontra quase em uma escuridão total, casos expositivos da atividade termográfica, com profundidade, principalmente com respeito aos sistemas elétricos.

A exposição técnica, no que concerne a prática da termoleitura e o termoleitor em si, foi alcançada. Pode-se expressar os aspectos que são envolvidos na medição térmica, com o uso da comparação entre temperaturas de um objeto analisado. Os fatores que influenciam a inspeção termográfica vão além do óbvio e certamente mereceram a atenção que tiveram nesse trabalho, haja vista que essas influencias podem ser de cunho pessoal, técnicas ou atmosféricas. De posse dos vários aspectos técnicos referentes a termografia, viu-se alguns critérios de intervenção que, quando devidamente seguidos, mantêm o sistema em bom funcionamento. Os pontos quentes são as anomalias caçadas pelos profissionais em inspeções termográficas.

Existe hoje uma gama de normas que regulamentam toda a atividade termográfica, a nível nacional e internacional, como também recomendações que norteiam a boa prática nas inspeções termográficas. Em esforços que somam um pouco mais de uma década, foi constituída a Comissão de Estudos de termografia, a qual foi o embrião da normatização brasileira termográfica, tendo à frente deste trabalho a ABENDI, associação certificada pela ABNT. Hoje, o Brasil dispõe de 8 normas a nível nacional regulamentando grande parte da atividade termográfica, mas ainda há muito a se fazer. O estado do Ceará tem a frente hoje, como responsável pela infraestrutura e redes elétricas ligadas a distribuição de energia elétrica, a Enel, operando e conservando todos os equipamentos elétricos de uso na rede elétrica de distribuição cearense. Como empresa, a Enel dispõe de normas para suas atividades, não sendo diferente com as inspeções termográficas. Discorreu-se nesse trabalho sobre as 9 diretrizes

normativas que abarcam as estratégias de manutenção, o planejamento e controle da manutenção, a verificação e calibração dos termovisores e também procedimentos de execução para as Inspeções Termográficas. Com a análise e verificação cuidadosa desses documentos pode-se perceber o cuidado que a Enel tem em manter o excelente controle de qualidade das suas atividades, herança deixada pela extinta Coelce. A preocupação com a qualidade do serviço prestado pela Enel, como o cuidado de manter a certificação ISO 9001 de qualidade em suas atividades é evidente e administrada de perto, atentando-se para garantir a correta aplicação e uso das atividades termográficas.

A exposição de casos nas áreas de atuação da termografia logrou êxito na proposta de apresentar alguns problemas rotineiros encontrados em sistemas elétricos. Com o estudo de dois casos envolvendo anomalias encontradas em cabos, pode-se perceber como pode ser assaz proveitoso identificar problemas de fácil correção com o método seguro e não intrusivo que a termografia proporciona, evitando assim problemas que futuramente poderiam resultar situações traumáticas para o sistema elétrico em questão. Também foi de assaz valia a elucidação de problemas graves em transformadores da refinaria da Petrobras, cuja anomalia térmica foi verificada e, através da análise das imagens térmicas, pode-se identificar a possível causa e tomar ações corretivas que evitaram onerosos prejuízos, caso a falha dos trafos viesse a ocorrer. E por fim a análise do caso da chave fusível superaquecida, causada por um simples parafuso mal regulado, o que poderia resultar em um acionamento da proteção, via relé, desabastecendo toda a subestação.

Tendo em vista a força que a utilização de drones, nas inspeções, vem ganhando com a crescente tendência do mercado em utilizar essa solução, foi de grande valia abordar esse assunto e deixar claro essa inclinação do mercado em aderir a utilização dos VANT. Com uma regulamentação, por parte da Anac, recente, o uso destes dispositivos se tornara, ainda mais, uma solução sólida para não somente as inspeções de natureza elétrica, mas para uma grande diversidade de atividades de cunho profissional. Ressaltando a importância de se ter o equipamento devidamente registrado junto a Anac e a devida habilitação do operador do drone.

Com a exposição detalhada dos importantes aspectos em que se insere a manutenção com uso da termografia, encarando a atividade em vários aspectos (histórico, técnico, normativo e utilitário), este trabalho alcança o objetivo de condensar informações em um só trabalho, antes restritas apenas aos envolvidos nessa atividade com certa experiência, quebrando a barreira dificultosa de acesso a informação no que tange aos procedimentos de termografia na manutenção dos sistemas elétricos.

TRABALHOS FUTUROS

Este trabalho, após a sua apresentação por completo, abre caminhos para trabalhos futuros, dado os tópicos discorridos e elucidados por esta monografia, baseados em aspectos importantes que merecem e carecem de uma análise mais específica e profunda, a fim de somar ao conhecimento disponível hoje em nível acadêmico.

Muitos equipamentos elétricos são sensíveis as condições físicas e climáticas em que estão inseridos e, assim, necessitam de um monitoramento mais de perto e com maior frequência. Outros equipamentos, quando falham, causam um impacto muito grande aos processos em que estão entrepostos. Nesse cenário, sugere-se o desenvolvimento de uma análise computacional, baseada em redes neurais, das imagens geradas pelo monitoramento de sistemas elétricos. O objetivo seria dispor de um sistema de monitoramento contínuo dos processos mais críticos e suscetíveis a alterações térmicas.

Como o processo de normatização é um processo contínuo e incansável, o qual busca sempre melhorar e garantir a qualidade e a segurança de seus processos e produtos alvos, sugere-se a elaboração de uma regulamentação para processos e equipamentos novos no mercado, os quais despontam como tendências; a exemplo, a utilização de drones em inspeções termográficas. A regulamentação do uso profissional dos VANTs é recente e abre um campo farto de muitos processos que precisam de uma regulamentação imediata.

REFERÊNCIAS

- ABENDI, Associação Brasileira de Ensaio Não Destrutivos e Inspeção. Disponível em: <<http://www.abende.org.br>>. Acesso em 01 nov. 2017.
- ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. Disponível em: <<http://www.abnt.org.br>>. Acesso em 01 nov. 2017.
- ANAC, Agência Nacional de Aviação Civil. Disponível em: <<http://www.anac.gov.br/>>. Acesso em 01 nov. 2017.
- ASNT, The American Society for Nondestructive Testing; “Recommended Practice N° SNT-TC-1A”; ASNT, 2006..
- ASTM, American Society for Testing and materials; “Standard Guide for Examining Electrical and Mechanical Equipment with Infrared Thermography – E1934- 99a”, 1999.
- CEEE, Companhia Estadual de Energia Elétrica - Geração e Transmissão; Relatório de Inspeção Termográfica. Canoas: CEE Geração e Transmissão, 2011
- CEN, European Committee for Standardization. Disponível em: <<http://www.cen.eu>>. Acessado em 01 nov. 2017.
- Contemp. Disponível em: <http://www.contemp.com.br/downloads/pdf/Tabela_de_Emissividades.pdf>. Acesso em 01 nov. 2017.
- DJI. Productos DJI. Disponível em: <<https://www.dji.com/products/drones>>. Acesso em 01 nov. 2017.
- Drone42, Drone42 Soluções em Imagens Aéreas. Disponível em: <<http://www.drone42.com/>>. Acesso em 01 nov. 2017.
- DroneStore. Disponível em: <<http://dronestore.com.br>>. Acesso 01 nov. 2017.
- Eletronuclear. Eletrobras Eletronuclear. Disponível em: <<http://www.eletronuclear.gov.br/>>. Acesso em 01 nov. 2017.
- ENEL. Enel Distribuição. Normas Técnicas. 2017
- Fluke, Manuais Fluke. Disponível em: <<http://www.fluke.com/Fluke/brpt/Support/Manuals/default.htm?ProductId=77089>>. Acesso em 01 nov. 2017.
- FURNAS. Furnas Centrais Elétricas S.A. Disponível em: <<http://www.furnas.com.br>>. Acesso em 01 nov. 2017.
- GAUSSORGUES, G. Infrared Thermography. Chapman & Hall. 1994.

- Geodrones. GEOdrones soluções em geotecnologias. Disponível em:
<<http://geodrones.com.br/>>. Acesso em 01 nov. 2017.
- Grimm, Alice Marlene. Mecanismos de Transferência de Calor. Departamento de Física da UFPR. Disponível em: <<http://fisica.ufpr.br/grimm/aposmeteo/cap2/cap2-9.html>>. Acesso em 01 nov. 2017.
- Halliday, David; Resnick, Robert; Walker, Jearl. Fundamentos de Física, volume 2; gravitação, ondas e termodinâmica Volume. 2. Rio de Janeiro. LTC. 2016.
- Hellier, C. Handbook of Nondestructive evaluation. McGraw-Hill Professional. 2001.
- Host, G. C.. Common Sense to Approach to Thermal Imaging. JCD Publishing and SPIE Optical Engineering Press. 2000.
- INFRA TEMP. Termômetros Infravermelhos: Teoria Básica. Apostila sobre Termômetros Infravermelhos. 2006.
- Inglish, P. Top 10 Most Deadly and Dangerous Jobs in America 2000-2020. Site da Toughnickel. Disponível em:
<https://toughnickel.com/industries/Most_Dangerous_Jobs>. Acesso em 01 nov. 2017.
- ISO. The International Organization for Standardization. Disponível em:
<<http://www.iso.org>>. Acesso em 01 nov. 2017.
- Mercado Livre, disponível em:<mercadolivre.com.br>. Acessado em 10 de nov. 2017
- Minelli, E.; Veratti, A. B. *A Termografia Aplicada à Eficiência Energética de Plantas Geradoras*. Disponível em: <<http://www.termonautas.com.br/>>. Acesso em 01 nov. 2017.
- Mousinho, T. As aplicações e vantagens do uso de drones para inspeção de Linhas de Transmissão. Site da Pixforce. Disponível em: <<http://pixforce.com.br/as-aplicacoes-e-vantagens-do-uso-de-drones-para-inspecao-de-linhas-de-transmissao/>>. Acesso em 01 nov. 2017.
- Oliveira, J. H. Inspeção Automatizada Utilizando Termografia. Porto Alegre. 2010.
- Oliveira, P. J. Transmissão de Calor - Radiação. UBI. Departamento de Engenharia Eletromecânica. 2014. Disponível em: <<http://webx.ubi.pt/~pjpo/TransCal8.pdf>>. Acesso em 01 nov. 2017.
- Omega. Câmeras de Imagem Térmica. Disponível em:
<<https://br.omega.com/prodinfo/termovisores.html>>. Acesso em 10 nov. 2017.
- Pécora, J. D.; Silva, R. G. Unidades Métricas Correlacionadas à Temperatura. Universidade de São Paulo. Faculdade de Odontologia de Ribeirão Preto. Disponível em:

- <http://143.107.206.201/restauradora/pg/textos_tecnicos/metrologia/metrologia_temperatura.html>. Acesso em 01 nov. 2017.
- Percon. Termografia conceitos e ferramentas. Disponível em:
<<http://acessopercon.com.br/percon/termografiafluke/>>. Acesso em 10 nov. 2017.
- Petrobras. Disponível em: <<http://www.petrobras.com.br>>. Acesso em 01 nov. 2017.
- Quality, Cirus. História da ISO. Disponível em: <<http://www.cirusquality.com.br>>. Acesso em 01 nov. 2017.
- Sampaio, H. D., & Veratti, A. B. Acesso ao acervo de artigos do grupo Termonautas. Disponível em: <<http://www.termonautas.com.br/>>. Acesso em 01 nov. 2017.
- Santos, Laerte. Termografia em Subestações de Alta Tensão Desabrigadas. Dissertação apresentada ao programa de Pós-Graduação em Engenharia da Energia da Universidade Federal de Itajubá. 2006.
- Santos, Laerte. Classificação e Modelagem de Fatores de Influência sobre Inspeções Termográficas em Ambientes Desabrigados. Dissertação apresentada ao programa de Pós-Graduação em Engenharia da Energia da Universidade Federal de Itajubá. 2012.
- Snell, J. "A Different Way to Determine Repair Priorities Using a Weighted Matrix Methodology". Snell Infrared. 2001.
- SuperDrones. Inspeção Painéis Solares e Linhas de Transmissão. Disponível em:
<<https://www.youtube.com/channel/UC3RM8ozmHRVvoFn2HHivyiQ>>. Acesso em 01 de nov. 2017.
- Testo, Acesso em: <testo.com>. 10 de nov. 2017.
- Tolmarquim, M. T. Energia Termelétrica: Gás Natural, Biomassa, Carvão, Nuclear. Rio de Janeiro. Empresa de Pesquisa Energética (EPE). 2016.
- Vermimmen, P., Veratti, A. B.; Junior, O. R. "Termografia: Princípios e Aplicações". Brasília: AGA S.A. Sistemas Infravermelhos. 1984.
- Xmrobots. Nauru 500B. Disponível em: <<https://www.xmrobots.net/nauru-500b>>. Acesso em 20 nov. 2017.
- Yunus, A. Ç. Heat Transfer: A Practical Approach. Boston: McGraw-Hill. 2006.

ANEXO

ANEXO A – Periodicidade da manutenção

		Subestações Nível A	Subestações Nível B	Subestações Nível C		
Inspeção Periódica da Operação		Quinzenal				
Inspeção Periódica da Manutenção		Anual				
Inspeções Preditivas	Inspeção Termográfica	6 (seis) Meses	1 (um) Ano			
	Análise Físicoquímica	Transformadores de Potência 1(um) Ano				
	Análise Cromatográfica	Transformadores de Potência 1(um) Ano				
Inspeções Preventivas	Revisão	Inspeção Periódica em Disjuntores		Disjuntor a Óleo 1(um) Ano	Disjuntor à SF6, Vácuo ou Sopro Magnético 2 (dois) anos	
		Inspeção Periódica em Religadores		Religador a Óleo, Extinção a Óleo 1(um) Ano	Religador a Óleo, Extinção a Vácuo 2 (dois) Anos	Religador a Ar, Extinção a Vácuo 2 (dois) Anos
		Inspeção Periódica em Banco de Capacitores (chave a óleo)		1(um) Ano		
	Regulador de Tensão		1 (um) Ano			
	Inspeção Periódica em Transf. de Serviço Auxiliar		Transformadores de 15kV 2 (dois) Anos			
	Inspeções Detalhada	Revisão	Disjuntor		Disjuntor a Óleo 2 (dois) Anos	Disjuntor à SF6, Vácuo ou Sopro Magnético 4 (quatro) Anos
			Religador		Religador a Óleo, Extinção a Óleo 2 (dois) Anos	Religador a Óleo, Extinção a Vácuo 4 Anos
Chave a Óleo		Chave a Óleo Tripolar 1 (um) Ano		Chave a Óleo Monopolar 1 (um) Ano		
Por	Transformadores de Potência		12 (doze) Anos			
	Comutador Sob Carga		Conforme Instrução Fabricante			
	Disjuntores de MT/AT		Conforme Fórmula de Número de Operações			
	Extintores de Incêndio		1 (um) Ano			

Fonte: (DCT-C 002, 2016)

ANEXO B – Plano de Manutenção

Instalação – Equipamento	Plano	Periodicidade
Subestações Nível A	Inspeção Periódica da Operação Inspeção Periódica da Manutenção Inspeção Termográfica	Semanal Anual 6 (seis) Meses
Subestações Nível B	Inspeção Periódica da Operação Inspeção Periódica da Manutenção Inspeção Termográfica	NA NA 1 (um) Ano
Subestações Nível C	Inspeção Periódica da Operação Inspeção Periódica da Manutenção Inspeção Termográfica	NA NA NA
Transformadores de Potência	Análise Físicoquímica Análise Cromatográfica Revisão Detalhada (Ensaio Elétricos)	1 (um) ano 1(um) ano 12(doze) anos
Comutadores Sob Carga	Revisão por Atividade	Acordo Fabricante
Disjuntores a Óleo	Revisão Revisão Detalhada Revisão por Atividade	1(um) ano 2(dois) ano nº Acc
Disjuntores à SF6, Vácuo ou Sopros Magnético	Revisão Revisão Detalhada Revisão por Atividade	2(dois) anos 4(quatro) anos nº Acc
Religadores a Óleo (Extinção à Óleo)	Revisão Revisão Detalhada Revisão por Atividade	1(um) Ano 2(dois) Anos nº Acc
Religadores a Óleo (Extinção à Vácuo)	Revisão Revisão Detalhada Revisão por Atividade	2(dois) Anos 4(quatro) Anos
Religadores a Ar (Extinção à Vácuo)	Revisão Revisão Detalhada Revisão por Atividade	2(dois) Anos 4(quatro) Anos nº Acc
Regulador de Tensão	Revisão	1(um) Ano
Transformador de Serviço Auxiliar	Revisão	2(dois) Anos
Banco Capacitor	Revisão	1(um) Ano
Chave a Óleo (Mono ou Tripolar)	Revisão Detalhada	1(um) Ano
Instalação Contra Incêndios (Extintores)	Revisão Detalhada	1(um) Ano
Segurança das Instalações, Arcondicionador, Serviços Gerais	São Revisados quando da Inspeção Periódica da Operação e da Manutenção	
Estruturas Metálicas e Equipamentos	Pintura e Reparação dos Pontos Oxidados, quando Necessário	

Fonte: (DCT-C 002, 2016)

ANEXO C – Inspeção Termográfica em LT – Passo a Passo

Desenvolvimento	Competência	Riscos	Controle
Passo 01: Planejar serviço e providenciar material necessário.	Chefia imediata/ Encarregado.	Planejamento incorreto.	<ul style="list-style-type: none"> • Elaboração de OT dentro dos prazos previstos; • Relacionar o contingente necessário para execução do serviço; • Determinar o responsável pela execução do serviço.
Passo 02: Posicionar e preparar viatura para análise termográfica no trecho da LDAT conforme PRST-004, item 5 Preparar material para inspeção.			
Passo 03: Comunicação com o Centro de Controle do Sistema de AT.	Responsável pela Equipe.	A não execução do serviço.	• Informar a OT ao responsável pelo Centro de Controle do Sistema (CCSAT).
Passo 04: Aguardar a liberação da instalação.	Centro de Controle (CCSAT).	Execução do serviço sem autorização.	• Atender criteriosamente os procedimentos operacionais.
Passo 05: Execução da inspeção.	Toda equipe.	Descargas elétricas; Queda, torção e contusão em virtude do acesso ruim da LDAT; O condutor da viatura não está habilitado e treinado para tal serviço; Colisão com outros veículos ou estruturas da LDAT; Tombar viatura.	<ul style="list-style-type: none"> • Executar estritamente o serviço descrito na OT; • Seguir as Normas e Procedimentos existentes na Empresa; • Avaliar sempre condições físicas do local; • Seguir as normas nacionais de trânsito.
Passo 06: Encerramento da inspeção.	A equipe.	Deixar o trecho sem avisar ao CCSAT.	• Informar ao Centro de Controle (CCSAT) a conclusão total ou parcial da inspeção termográfica.

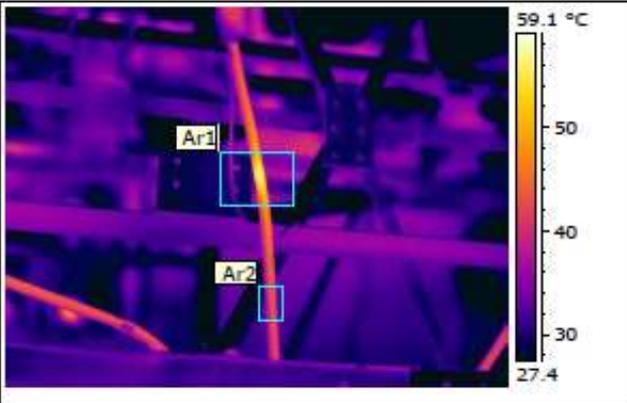
Fonte: (PEX-034, 2014)

ANEXO D – Inspeção Termográfica em SE – Passo a Passo

Desenvolvimento	Competência	Riscos	Controle
Passo 01: Planejar serviço e providenciar material necessário.	Chefe imediato/Encarregado.	Planejamento incorreto	<ul style="list-style-type: none"> • Elaboração de OT dentro dos prazos previstos; • Relacionar o contingente necessário para execução do serviço; • Determinar o responsável pela execução do serviço.
Passo 02: Posicionar a viatura de termografia.	Motorista / Encarregado.	Tombar viatura; Colisão com equipamentos ou estruturas; Proximidades do veículo a pontos energizados.	<ul style="list-style-type: none"> • Verificar as condições do terreno e de acesso; • Alguém no solo orientar o motorista durante as manobras; • Usar o freio de estacionamento.
Passo 03: Identificação da equipe ao operador da subestação ou CCAT.	Toda equipe.	A não execução do serviço.	<ul style="list-style-type: none"> • Apresentar a OT, ao operador; • Equipar-se com capacete, botinas de segurança.
Passo 04: Aguardar a liberação da instalação.	Operador e despacho de cargas.		
Passo 05: Execução da Inspeção.	Toda equipe.	Descargas elétricas; Choques por tensão de passo e toque; Queda, torção e contusão nos alto-relevos do pálio da SE com canaletas abertas e buracos na brita.	<ul style="list-style-type: none"> • Executar estritamente o serviço constante na OT; • Seguir as normas e procedimentos existentes na empresa; • Avaliar condições físicas do local.
Passo 06: Encerramento da Inspeção.	A equipe.		Informar ao operador ou ao CCAT a conclusão total ou parcial da Inspeção termográfica.

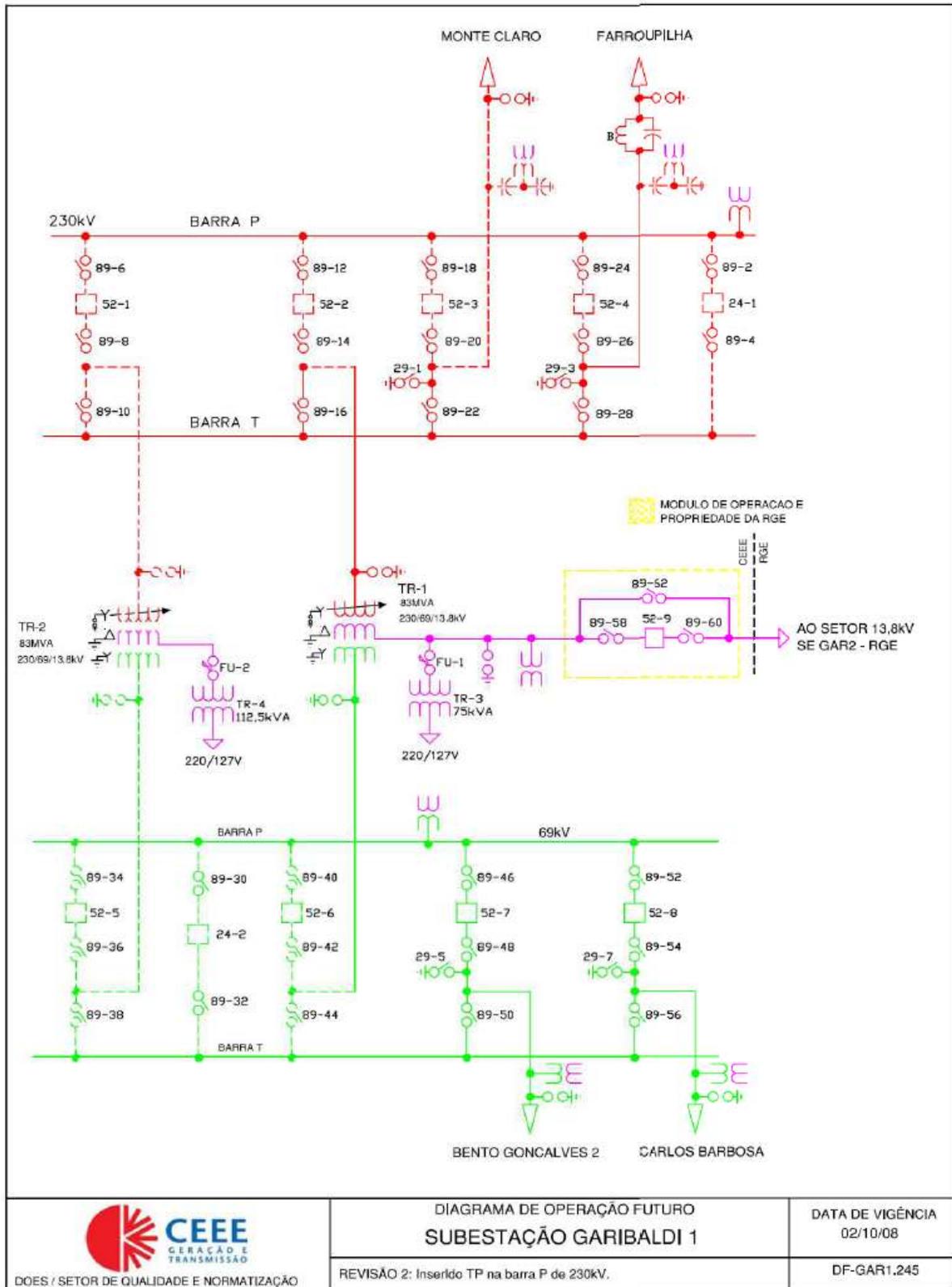
Fonte: (PEX-059, 2008)

ANEXO E – Relatório de Inspeção Termográfica em SE CIN - Canoas

		RELATÓRIO DE INSPEÇÃO TERMOGRÁFICA SMSE / CANOAS																						
SE / LT:	SE CIN	EQUIPAMENTO:	CABO ISOLADO																					
N. DE OPERAÇÃO:		N. DE MANUTENÇÃO:																						
MÓDULO:	SERVIÇO AUXILIAR - FU 3	TENSÃO:	13,8 kV	I =																				
LOCALIZAÇÃO:	CABO	FASE:	B	DATA: 03/05/2011																				
OBSERVAÇÕES: PUNTO QUENTE NO CABO, ABAIXO DA MUFLA DA CHAVE 29-216																								
																								
TEMPERATURA DE REFERÊNCIA:		43.5°C	$\Delta T =$	14.0°C																				
RESPONSÁVEL:		OSVALDO AGUIAR	RE	35976.9																				
		TEMP. CORRIGIDA:																						
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Parâmetros do Objecto</th> <th>Value</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Emissividade</td> <td>0.75</td> </tr> <tr> <td>Distância do Objecto</td> <td>8.0 m</td> </tr> <tr> <td>Temperatura Atmosférica</td> <td>24.0 °C</td> </tr> <tr> <td>Humidade Relativa</td> <td>50.0 %</td> </tr> <tr> <td>Imagem Data</td> <td>4/5/2011</td> </tr> <tr> <td>Imagem Hora</td> <td>14:51:59</td> </tr> </tbody> </table>		Parâmetros do Objecto	Value	Emissividade	0.75	Distância do Objecto	8.0 m	Temperatura Atmosférica	24.0 °C	Humidade Relativa	50.0 %	Imagem Data	4/5/2011	Imagem Hora	14:51:59	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Etiqueta</th> <th>Value</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Ar1 Temperatura Máxima</td> <td>57.5 °C</td> </tr> <tr> <td>Ar2 Temperatura Máxima</td> <td>43.5 °C</td> </tr> </tbody> </table>			Etiqueta	Value	Ar1 Temperatura Máxima	57.5 °C	Ar2 Temperatura Máxima	43.5 °C
Parâmetros do Objecto	Value																							
Emissividade	0.75																							
Distância do Objecto	8.0 m																							
Temperatura Atmosférica	24.0 °C																							
Humidade Relativa	50.0 %																							
Imagem Data	4/5/2011																							
Imagem Hora	14:51:59																							
Etiqueta	Value																							
Ar1 Temperatura Máxima	57.5 °C																							
Ar2 Temperatura Máxima	43.5 °C																							

Fonte: (CEEE, 2011)

ANEXO F – Diagrama Unifilar de operação da SE Garibaldi



Fonte: (CEEE, 2017)

ANEXO G – Certificado de Cadastro de Aeronave Não Tripulada – Habilitação para uso de drone

	REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL FEDERATIVE REPUBLIC OF BRAZIL	
	AGÊNCIA NACIONAL DE AVIAÇÃO CIVIL NATIONAL CIVIL AVIATION AGENCY	

CERTIDÃO DE CADASTRO DE AERONAVE NÃO TRIPULADA – USO NÃO RECREATIVO UNMANNED AIRCRAFT REGISTER CERTIFICATE – NON-RECREATIONAL	
<p>Esta certidão de cadastro, emitida de acordo com o RBAC-E nº 94, é válida até 04/05/2019, salvo em caso de cancelamento, suspensão ou revogação pela Autoridade de Aviação Civil Brasileira.</p> <p><i>This Register Certificate, issued in accordance with RBAC-E nr. 94, shall remain valid until 05/04/2019, unless it is cancelled, suspended or revoked by the Brazilian Civil Aviation Authority.</i></p> <p>Operador (Operator) [REDACTED]</p> <p>CPF (document): [REDACTED]</p>	<p>Nº do cadastro (Register Number): [REDACTED]</p> <p>Uso (Purpose): não recreativo (non-recreational) Ramo de atividade (Business): Aerocinematografia Fabricante (Maker): DJI Modelo (Model): Inspire 1 Nº de série (Serial Number): [REDACTED] Peso máximo de decolagem (MTOW): 6,00 kg Foto (Picture): </p>
<p>O descumprimento da regulamentação aplicável pode ensejar consequências administrativas, civis e/ou criminais para o infrator.</p>	<p>Informações adicionais (additional information): Homologação ANATEL: [REDACTED] DECEA; WOSU [REDACTED] ASSOCIADO ABM: [REDACTED] REPORTER CINEMATOGRAFICO/RADIALISTA:DRT [REDACTED]</p>
<p>O detentor desta certidão de cadastro (o operador) é considerado apto pela ANAC a realizar voos recreativos e não recreativos no Brasil, com a aeronave não tripulada acima identificada, em conformidade com os regulamentos aplicáveis da ANAC. É responsabilidade do operador tomar as providências necessárias para a operação segura da aeronave, assim como conhecer e cumprir os regulamentos do DECEA, da Anatel, e de outras autoridades competentes.</p> <p><i>The holder of this register certificate (the operator) is considered apt by Brazilian Civil Aviation Authority to perform recreational and non-recreational flights in Brazil, using the above identified unmanned aircraft, in conformity with the applicable regulations of Brazilian Civil Aviation Authority. It's the operator's responsibility to take the necessary actions to ensure a safe operation, as well as know and comply with the regulations of air traffic control (ATC), telecommunications, and other competent authorities</i></p>	
<p>A validade desta certidão pode ser verificada pelo link https://sistemas.anac.gov.br/SISANT/Aeronave/ConsultarAeronave</p>	
<p>Local e data da emissão (Place and date of issue) Brasília, 4 de maio de 2017 Brasília, May 4th, 2017</p>	