



Faculdade de Tecnologia SENAI CIMATEC
Curso de Especialização em Engenharia do Sistema de Distribuição
de Energia Elétrica
ANDRETTE SABINO PEREIRA GOMES

ANÁLISE DA UTILIZAÇÃO DE TERMOVISÃO EM REDES DE
DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA NA REGIÃO SUL DA BAHIA

Salvador
2013

ANDRETTE SABINO PEREIRA GOMES

**ANÁLISE DA UTILIZAÇÃO DE TERMOVISÃO EM REDES DE
DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA NA REGIÃO SUL DA BAHIA.**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Faculdade de Tecnologia SENAI CIMATEC, como requisito para obtenção do título de Especialista em Engenharia do Sistema de Distribuição de Energia Elétrica.

Salvador
2013

TERMO DE APROVAÇÃO

ANDRETTE SABINO PEREIRA GOMES

ANÁLISE DA UTILIZAÇÃO DE TERMOVISÃO EM REDES DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA NA REGIÃO SUL DA BAHIA

Trabalho aprovado como requisito para a obtenção do Título de Especialista em Redes de Distribuição de Energia Elétrica da Faculdade SENAI CIMATEC, pela seguinte banca examinadora:

Prof. Msc. Maiana Brito de Matos
Departamento de Automação – SENAI CIMATEC

Prof. Milton Bastos
Departamento de Engenharia Elétrica – SENAI CIMATEC

SALVADOR,
2013

RESUMO

O presente Estudo de Caso tem a finalidade de demonstrar a utilização da termografia, através do equipamento termovisor, para detecção de pontos quentes nas conexões e componentes na rede de distribuição de energia na região Sul da Bahia. Esta técnica de manutenção preditiva, já utilizada em vários ramos de atividades, como por exemplo: na indústria, no ramo de siderurgia, indústrias de petróleo e petroquímica, construção civil, geração de energia, na medicina, na prevenção de acidentes entre outros. Também têm sido difundida como uma prática muito importante nas manutenções do sistema elétrico devido ao fato de possibilitar inspeções da integridade dos componentes da rede do sistema elétrico sem necessitar envolvimento de contato direto, além de ser capaz de realizar as inspeções com relativa rapidez. A termografia é particularmente eficaz porque as falhas nos equipamentos e componentes da rede geralmente apresentam sinais térmicos claros e reconhecíveis. Normalmente, o calor produzido por uma alta resistência elétrica precede falhas no sistema elétrico, o que acarreta inúmeros transtornos e prejuízos aos consumidores e às concessionárias de energia. Neste trabalho, são apresentadas as vantagens da utilização deste método de manutenção preditiva em redes de distribuição na região Sul da Bahia, além de ser desenvolvido um aplicativo que utiliza os relatórios gerados pelo equipamento para possibilitar um melhor gerenciamento e programação das manutenções preditivas.

Palavras-chave: Ponto Quente. Termografia. Manutenção Preditiva.

ABSTRACT

This case study aims to demonstrate the use of thermography, thermal imager through the equipment, to detect hot spots in the network connections and components for power distribution in the southern region of Bahia. This predictive maintenance technique, already used in various trades, such as: industry, the steel industry, petroleum and petrochemical, construction, power generation, medicine, prevention of accidents among others. They have also been widely used as a very important practice in the maintenance of the electric system due to the fact allow inspections of the integrity of network components of the electrical system without requiring involvement of direct contact, as well as being able to perform inspections relatively quickly. Thermography is particularly effective because the equipment failures and network components generally show signs thermal clear and recognizable. Normally, the heat produced by a high electrical resistance precedes faults in the electrical system, which causes numerous disorders and harm consumers and power utilities. In this paper, we present the advantages of using this method for predictive maintenance in distribution networks in Southern Bahia, besides being an application developed using the reports generated by the equipment to enable better management and planning of predictive maintenance.

Keywords: Hot Spot. Thermography. Predictive Maintenance.

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 - Espectro eletromagnético	19
Figura 2.2 - Medições de Comprimento de Onda.....	20
Figura 2.3 - Relações entre energia absorvida, transmitida e refletida	22
Figura 2.4 - Classificação de Onda	22
Figura 2.5 - Bandas espectrais de funcionamento dos detectores	23
Figura 2.6 - Termogramas obtidos com sistemas de onda média e onda longa	23
Figura 2.7 - Comportamento espectral do vidro	24
Figura 2.8 - Termografia aplicada à Indústria	24
Figura 2.9 - Termografia aplicada à Dispositivos mecânicos e Força Motriz	27
Figura 2.10 - Termografia aplicada à Construção Civil.....	28
Figura 2.11 - Centros de Produção de Energia Elétrica.....	28
Figura 2.12 - Redes Aéreas de Distribuição e Transmissão de Energia	29
Figura 2.13 - Subestações – Postos de Transformação e de Seccionamento.....	29
Figura 2.14 – Câmaras Termográficas.....	30
Figura 2.15 – Funcionamento de uma câmara termográfica.....	32
Figura 3.1 – Diagrama Esquemático da Metodologia	34
Figura 3.2 – GSE – Sistema de gestão das ocorrências da concessionária Coelba.....	35
Figura 3.3 – Módulo Operação – Gestão das ocorrências e Módulo Relatórios	35
Figura 3.4 – Termovisor FLIR modelo T300.....	36
Figura 3.5 – Termovisor FLIR modelo T300.....	36
Figura 3.6 – Inspeção de redes de Distribuição com termovisor	38
Figura 4.1 – Principais causas de defeitos das ocorrências de Janeiro a Dezembro 2011 da região Sul da Bahia.....	39
Figura 4.2 – Ponto quente Chave faca AL 01V7 SE ITN (9027 consumidores).....	40
Figura 4.3 – Ponto quente na conexão do transformador de distribuição com a rede (174 consumidores).....	41
Figura 4.4 – Ponto quente Chave faca AL 01X7	41
Figura 4.5 – Ponto quente Pára-raio AL 01X7.....	41
Figura 4.6 – Ponto quente conexão Chave a óleo AL 01X6	42

Figura 4.7 – Ponto quente Chave fusível AL 01X6	42
Figura 4.8 – Ponto quente chave faca AL 01M3	42
Figura 4.9 – Ponto quente saída SE ITN	42
Figura 4.10 – Ponto quente saída AL 01X6	43
Figura 4.11 – Ponto quente chave fusível AL 01M3	43
Figura 4.12 – Ponto quente na conexão da chave faca AL 01M3	43
Figura 4.13 – Ponto quente na conexão da fase A chave a óleo	44
Figura 4.14 – Adaptado do Sistema GSE (2012) Principais abrangências das ocorrências relacionadas a ponto quente da Região Sul da Bahia. Período: Janeiro 2012 a Novembro 2012	45
Figura 4.15 – Adaptado do Sistema GSE (2012) - Quantitativo das ocorrências relacionadas a ponto quente da Região Sul da Bahia. Período: Janeiro 2011 a Novembro 2011	46
Figura 4.16 – Adaptado do Sistema GSE (2012) Quantitativo das ocorrências relacionadas a ponto quente da Região Sul da Bahia. Período: Janeiro 2012 a Novembro 2012	47
Figura 4.17 – Adaptado do Sistema GSE (2012) Comparativo das ocorrências relacionadas a ponto quente da Região Sul da Bahia entre os anos de 2011 e 2012. Período: Janeiro 2011 a Novembro 2012	48
Figura 4.18 – Adaptado do Sistema GSE (2012) Quantitativo do número de consumidores interrompidos por ocorrências relacionadas a ponto quente da Região Sul da Bahia. Período: Janeiro 2011 a Novembro 2011.....	49
Figura 4.19 – Adaptado do Sistema GSE (2012) Quantitativo do número de consumidores interrompidos por ocorrências relacionadas a ponto quente da Região Sul da Bahia. Período: Janeiro 2012 a Novembro 2012	49
Figura 4.20 – Módulo cadastro	51
Figura 4.21 – Módulo consulta	51
Figura 4.22 – Tela de avisos	52

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 – Espectro Eletromagnético –Valores de Frequência	19
--	----

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	VI
LISTA DE TABELAS.....	VII
1 INTRODUÇÃO	10
1.1 Justificativa	11
1.2 Objetivo Geral	11
1.2.1 Objetivos Específicos	11
1.3 Estrutura da monografia	12
2 REVISÃO DE LITERATURA	15
2.1 Como surgiu a termografia	17
2.2 Teoria dos Infravermelhos e da Termografia	19
2.3 Princípios da Radiação Térmica	20
2.4 Espectro Eletromagnético.....	20
2.5 Corpos Cinzentos ou Corpos Reais.....	23
2.6 Bandas Espectrais onde Funcionam os atuais sistemas de termografia	24
2.7 Diferença entre Sistemas de Onda média e onda longa	25
2.8 Comportamento Espectral do Vidro.....	25
2.9 A conexão Elétrica	26
2.9.1 Aspectos Fundamentais da conexão elétrica	26
2.9.2 Área de contato	27
2.10 Aplicações da termografia	28
2.11 Classificação dos sistemas de termografia	32
2.12 Vantagens em utilizar a termografia.....	34
2.13 A termografia nos dias atuais	35
3 METODOLOGIA.....	38
3.1 O Termovisor	38
3.2 Inspeções utilizando termovisores	39
4 ESTUDO DE CASO	41
4.1 Análise dos principais tipos de ocorrências relacionadas a ponto quente na cidade de Itabuna-Bahia	48
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	56
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	58

1. INTRODUÇÃO

O sistema de distribuição de energia elétrica é responsável por levar energia, com qualidade e confiabilidade para os consumidores. Esse sistema de distribuição de energia tem que ser eficiente, visto que a dependência com relação à energia elétrica pelas empresas e consumidores assume um papel nos dias de hoje fundamental e indispensável que reflete diretamente sobre a produção industrial e sobre a qualidade de vida dos brasileiros.

Cerca de 90% das redes de distribuição elétricas existentes hoje no Brasil são formadas por estruturas convencionais, ou seja, redes primárias de distribuição compostas por cabos nus isolados das cruzetas por meio de isolador de pino cerâmico. Quase a totalidade desses isoladores é fabricada em porcelana, material de boas características mecânicas e elétricas, porém, passível de sofrer processos de degradação. Estes isoladores de pino, ao apresentarem defeitos, sejam por fabricação, degradação, envelhecimento ou perfurações causadas por descargas atmosféricas, podem ocasionar o desligamento da rede de forma contínua ou intermitente, afetando grandes blocos de carga, causando assim prejuízos aos consumidores, indústria e à própria concessionária, que além de deixar de vender energia está sujeita a receber multas do órgão regulador, a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), BARRETO (2006).

Atualmente, um dos equipamentos disponíveis que está começando a ser empregado pelas concessionárias como forma preventiva para identificar possíveis pontos que podem vir a provocar esses tipos de defeito é o termovisor, que inicialmente foi criado e desenvolvido para outros fins como militares e industriais.

1.1 Justificativa

O presente tema foi escolhido pelo fato das empresas buscarem, a cada dia, otimizar seus processos, norteando suas estratégias com foco no aumento da qualidade dos seus produtos e uma incessante busca pela redução de custos.

A utilização do termovisor como ferramenta para otimizar as inspeções nas Redes de Distribuição é uma tecnologia que vem sendo cada vez mais utilizada e será demonstrado através deste trabalho que esta é uma técnica que traz resultados bastante satisfatórios, pelo nível de assertividade que possui, melhora que proporciona na qualidade de energia para os consumidores e visível redução do número de ocorrências relacionadas a ponto quente, o que se traduz em redução de custos para as Concessionárias de Energia.

1.2 Objetivo Geral

O objetivo deste trabalho é demonstrar a redução do número de ocorrências relacionadas a ponto quente em redes de Distribuição de Energia Elétrica da cidade de Itabuna-BA e cidades circunvizinhas utilizando o termovisor como ferramenta de manutenção preditiva.

1.2.1 Objetivos Específicos

- Demonstrar as principais aplicações da termografia;
- Avaliar a utilização de termovisores para inspeções nas redes de distribuição de energia da Concessionária do Estado da Bahia denominada Coelba na região Sul da Bahia;

- Analisar causas dos principais tipos de ocorrências de falta de energia na região Sul da Bahia;
- Fazer um estudo comparativo entre o número de ocorrências e consumidores interrompidos por ocorrências relacionadas a ponto quente entre os anos de 2011 e 2012;
- Desenvolver um Software na plataforma ACESS para controle e arquivamento das termovisões realizadas permitindo ao usuário gerar relatórios, controlar as termovisões ainda não realizadas por prioridade e servir como fonte de dados estatísticos para posterior consulta;
- Comprovar a eficácia da utilização do equipamento termovisor.

1.3 Estrutura da monografia

O presente Estudo de Caso, se estrutura em 5 (cinco) capítulos, sendo eles:

- Introdução

Neste capítulo será abordada a importância que possui um sistema de distribuição de energia elétrica na produção industrial e na qualidade de vida dos brasileiros.

Serão apresentados os problemas mais comuns que ocorrem nestas redes de distribuição e a aplicação do termovisor como uma das soluções que as empresas de distribuição de energia elétrica vêm empregando para identificar com maior eficiência estes problemas e corrigi-los antes que provoquem interrupção no fornecimento de energia elétrica para os consumidores.

- Revisão da Literatura

Neste capítulo serão descritas e discutidas o que existe na literatura a respeito da teorias relacionadas a termografia, além de outras teorias que fundamentam o referencial teórico deste trabalho.

Serão ainda abordados temas como a área de contato, demonstrando que a área de contato entre os materiais além de influenciar na boa condutividade de corrente elétrica, pode aumentar o risco de incidência de pontos quentes.

Serão classificados os sistemas de termografia existentes e demonstrado as principais aplicações da termografia nos dias atuais.

- Metodologia

Este capítulo faz um detalhamento de como foi realizada a pesquisa. Apresenta um diagrama esquemático de cada etapa da realização do trabalho informando os relatórios utilizados para obtenção da base de dados.

Demonstra ainda os critérios utilizados para seleção da amostra e faz uma descrição do equipamento termovisor utilizado nas inspeções termográficas neste trabalho.

- Estudo de Caso

Este capítulo tem por finalidade demonstrar a eficiência da termografia quando utilizada em redes de distribuição. São apresentados nesta parte do trabalho os principais tipos de defeitos que podem ocorrer em redes de distribuição.

São ainda apresentados algumas termovisões que foram realizadas no decorrer da pesquisa de campo.

São ainda comparados os dados de ocorrências relacionadas a ponto quente entre os anos de 2011 e 2012, considerando o mesmo período e ainda é exposto um software em plataforma ACESS que foi desenvolvido com a finalidade de otimizar o processo da termografia na Concessionária Coelba.

- Considerações Finais

Neste capítulo são apresentados os resultados da pesquisa após a implantação do termovisor como ferramenta de manutenção preditiva em redes de distribuição de energia na região de Itabuna e cidades circunvizinhas.

São também avaliados os benefícios da utilização da termografia nas inspeções das redes elétricas bem como verificado se houve redução no número de ocorrências relacionadas a ponto quente com a utilização desta técnica.

É também destacado neste capítulo que existem pontos ainda a serem estudados a cerca do tema que contribuirão positivamente e proporcionarão ganhos ainda maiores na utilização da termovisão nas inspeções das redes de distribuição de energia elétrica.

2 REVISÃO DA LITERATURA

Segundo Ozisik (1990), o fenômeno transmissão de calor pode ser definido como a transmissão de energia de uma região para outra, como resultado de uma diferença de temperatura entre elas. A literatura reconhece geralmente três modos distintos de transmissão de calor: convecção, condução e radiação.

Ainda Ozisik (1990), afirma que as transferências de calor por condução e por convecção exigem a presença de um gradiente de temperatura em alguma forma de matéria. Em contraste, a transferência de calor por radiação térmica não exige a presença de um meio material. Ela é um processo extremamente importante e no sentido físico talvez o modo mais interessante de transferência de calor.

A radiação é relevante em muitos processos industriais de aquecimento, resfriamento e secagem, bem como os métodos de conversão de energia que envolve a combustão de combustíveis fósseis e a radiação solar. A transferência de energia radiante pode ocorrer em uma única ou entre duas ou mais superfícies. Nas aplicações da engenharia, os problemas de interesse prático envolvem troca de radiação entre duas ou mais superfícies. Esta transferência depende fortemente das geometrias e orientações das superfícies bem como de suas propriedades radiantes, OZIKI (1990).

De acordo com Kreith (1977), existe uma diversidade de modelos e métodos para se determinar fatores de forma entre superfícies elementares. Em alguns sistemas é muito difícil deduzir este fator, mas para diversos dispositivos básicos ele é bastante simples. Os comprimentos de onda do espectro de radiação eletromagnética vão de 10^{-11} m a 10^5 m, sendo que a região de interesse, ou seja, a região da radiação térmica é aquela que se encontra na faixa de comprimentos de onda de 10^{-5} m. A radiação visível possui comprimentos de onda da ordem de 0,4 a 0,7 μ m, e a radiação infravermelha de 0,7 a 1000 μ m. Assim pode-se dizer que a região de interesse é aquela compreendida entre 0,4 a 1000 μ m.

Um corpo negro é um corpo hipotético que emite (ou absorve) radiação eletromagnética em todos os comprimentos de onda, de forma que toda a radiação incidente é completamente absorvida, e em todos os comprimentos de onda e em todas as direções a máxima radiação possível para a temperatura do corpo é emitida. Ou seja, é um absorvedor perfeito, um emissor perfeito e um corpo difuso, KREITH (1977).

Ainda Kreith (1977), afirma que esta inspeção se realiza sem a necessidade de interrupção do processo produtivo e sem contato físico do inspetor com qualquer elemento hostil. Um programa preventivo de inspeção termográfica adequadamente elaborada, com inspeções periódicas, minimiza e até elimina totalmente a ocorrência de falhas e da necessidade de intervenções não programadas. Os termovisores são classificados em duas linhas: termovisores fixos e termovisores portáteis.

Segundo Kowaski (2006), a utilização do termovisor na inspeção de redes de distribuição é motivo de muita discussão. Alguns afirmam que se deve realizar a mesma no período noturno a fim de se eliminar a interferência da radiação solar. Outros afirmam que deve ser realizada nos horários de pico no consumo de energia. Segundo os fabricantes os equipamentos produzem resultados eficientes em qualquer horário, pois atualmente os equipamentos já possuem sistema de correção para a radiação de fundo.

Quando uma corrente elétrica circula por um sistema, produz neste perdas por efeito Joule, em função do aquecimento. Baseado neste processo físico desenvolveu-se técnicas de detecção de defeitos em isoladores por meio de imagens termográficas, KOWASKI (2006).

Durrani et al (1988) apresentam dois algoritmos desenvolvidos e usados para a reconstrução de imagens obtidas de materiais isolantes, que apresentam falhas e em função destas um aquecimento. O equipamento usado para coletar as imagens, é uma câmera infravermelha de alta resolução. Os resultados mostram a eficiência da técnica aplicada em amostras de materiais isolantes em laboratório.

Já Niancang (1998) discute as dificuldades de se detectar defeitos internos em isoladores através da técnica de imagem por infravermelho. São discutidos alguns tipos de problemas e possíveis técnicas de imagem a serem usadas para auxiliar a detecção de falhas pela técnica.

Segundo Ishino (2002), os resultados obtidos com a aplicação da técnica de diagnóstico da imagem térmica obtida com câmeras de infravermelho de isoladores da rede de distribuição, onde se utiliza um algoritmo para identificar os isoladores e pontos que apresentam aquecimento. Segundo o autor, os erros com a técnica de identificação por meio de algoritmo é da ordem de 3% dos isoladores em pontos inspecionados.

Jermendy e Simon (1998) discutem que o termovisor, apresenta limitações produzindo resultados eficientes somente em situações onde se tem avançado estado de degradação do material. Em casos onde a poluição é acentuada nos isoladores, trilhamentos superficiais podem ser acentuados em função principalmente da umidade ambiente. Nesses casos a termovisão auxilia a detecção destes problemas.

Por sua vez, Barreto Junior et al (2006) apresentam resultados onde a termografia se demonstra eficiente em 88% dos casos inspecionados referentes a para-raios em subestações, além de se mostrar eficiente na detecção de contatos ruins em conectores, contatos elétricos e buchas de transformadores. Apresentam um resultado importante em termos de transformadores de potência onde a ineficiência do sistema de refrigeração dos transformadores pode ser levantada por meio da termovisão.

2.1 Como surgiu a termografia

A radiação infravermelha foi descoberta por acaso no ano de 1800, por Sir William Herschel, astrônomo real do Rei Jorge III da Inglaterra, já conhecido por ter descoberto o planeta Urano quando procurava um filtro óptico para reduzir o brilho

da imagem do sol nos telescópios durante observações solares. Ao testar várias amostras de vidro de cor que permitiam reduções semelhantes do brilho, ficou intrigado quando percebeu que algumas das amostras deixavam passar muito pouco calor do sol, enquanto outras deixavam passar tanto calor que, após alguns segundos de observação, o brilho era tão intenso que os olhos corriam risco de sofrerem lesões. Herschel imediatamente se convenceu da necessidade de fazer experiências sistemáticas, com objetivo de descobrir um único material que permitisse obter a redução do brilho pretendida, bem como redução máxima do calor, KREITH (1977).

O fato de Herschel ter utilizado vidro no prisma da sua primeira experiência provocou algumas controvérsias com seus contemporâneos acerca da existência real dos comprimentos de onda infravermelhos. Alguns cientistas, na tentativa de comprovar sua descoberta utilizaram indiscriminadamente vários tipos de vidro, com diferentes transparências nos infravermelhos. Através de experiências posteriores, Herschel constatou limitações na transparência do vidro relativamente à recém-descoberta radiação térmica sendo obrigado a concluir que a óptica de infravermelhos estaria provavelmente condenada à utilização exclusiva de elementos refletores, ou seja, espelhos planos e curvos, KREITH (1977).

Felizmente, a teoria de Herschel foi verdade até 1830, ano em que o cientista italiano Macedônio Melloni (1798 – 1854) fez grande descoberta: o sal – gema de origem natural (NaCl) (disponível em cristais naturais suficientemente grandes para serem transformados em lentes e prismas) é invulgarmente transparente aos infravermelhos. Como resultado dessa descoberta, o sal – gema tornou-se por muitos anos o principal material óptico de infravermelhos, até ser dominada a arte de se criar cristais sintéticos, nos anos 30 do século XX, KREITH (1977).

Os termômetros, enquanto detectores de radiações mantiveram-se insubstituíveis até 1829, ano em que Nobili inventou o par termoelétrico (o termômetro utilizado por Herschel permitia leituras até aos 0,2° C, ou 0,036 °F e os modelos posteriores permitiam efetuar uma leitura até aos 0,05° C, ou 0,09 °F).

Assistiu-se então a um avanço notável, quando Melloni ligou vários pares termoelétricos em série para formar a primeira termo pilha. O novo dispositivo era pelo menos 40 vezes mais sensível que o melhor termômetro da altura para detecção da radiação térmica capaz de detectar o calor libertado pelo corpo de uma pessoa a uma distância de três metros, NIANCANG (1988).

Segundo Ishino (2002), a primeira imagem térmica tornou-se possível em 1840, resultado do trabalho efetuado por Sir John Herschel, filho do descobridor dos infravermelhos e, também ele, um astrônomo famoso na altura. Baseando-se na evaporação diferencial de uma película fina de petróleo quando exposta a um padrão térmico incidindo nela, era possível ver a imagem térmica através da luz refletida onde os efeitos de interferência de película de petróleo tornavam a imagem visível a olho nu. Sir John conseguiu ainda ter o registro rudimentar da imagem térmica em papel, a que chamou de “termógrafo”.

Ainda Ishino (2002) relata que entre 1900 e 1920, inventores de todo o mundo “descobriram” os infravermelhos. Várias patentes foram emitidas para dispositivos de detecção de pessoas, artilharia, aviões, barcos e até icebergs. O primeiro dispositivo operativo, no sentido atual do termo, começou a ser desenvolvido durante a primeira guerra mundial (1914 – 1918) em que ambas as partes possuíam programas de investigação para exploração militar dos infravermelhos. Um sistema de procura por infravermelhos testados durante este período permitia detectar um avião em aproximação a uma distância de 1,5 km ou uma pessoa a mais de 300 metros.

2.2 Teoria dos Infravermelhos e da Termografia

Existem outras formas de luz (ou radiação) que não podemos ver; o olho humano só pode ver uma pequena parte do espectro eletromagnético: num dos extremos do espectro não podemos ver a luz ultravioleta e, no outro extremo, os nossos olhos também não podem ver os infravermelhos, BARRETO (2006).

As radiações infravermelhas encontram-se entre as zonas visíveis e invisíveis do espectro eletromagnético, a principal fonte de radiação infravermelha é o calor ou radiação térmica e qualquer objeto que tenha uma temperatura acima do zero absoluto (-273 °C / 60 K), emite uma radiação na zona dos infravermelhos; aqueles objetos considerados muito frios, como por exemplo, cubos de gelo, também emitem radiação, os calores sentidos pelo sol, por um fogo ou de um radiador, também são infravermelhos, BARRETO (2006).

Ainda que não seja perceptível ao olho nu, os nervos da nossa pele podem sentir o calor; quanto mais quente está o objeto, maior quantidade de radiação infravermelha ele emitirá, BARRETO (2006).

2.3 Princípios da Radiação Térmica

Radiação Térmica é o processo pelo qual o calor é transferido de um corpo sem o auxílio do meio interveniente e em função da sua temperatura, MUHLEN (2002).

Ainda Muhlen (2002), afirma que a radiação térmica não necessita da existência de um meio interveniente e ocorre inteiramente no vácuo, não havendo necessidade de um meio material para a colisão de partículas ou transferência de massa.

De acordo com Kreith (1977), isto se deve ao fato de a radiação térmica se propagar através de ondas eletromagnéticas. A radiação térmica é um fenômeno ondulatório, semelhante às ondas de rádio, raios-gama, raios-X, etc., diferindo apenas no comprimento de onda. Este conjunto de fenômenos de diferentes comprimentos de ondas é conhecido como espectro eletromagnético.

2.4 Espectro Eletromagnético

O espectro eletromagnético é dividido arbitrariamente em diversas regiões de comprimento de onda, designadas por bandas, distinguidas pelos métodos utilizados

para produzir e detectar a radiação; não existe nenhuma diferença fundamental entre a radiação nas diferentes bandas do espectro eletromagnético. Geram-se todas pelas mesmas leis e as únicas diferenças devem-se às diferenças no comprimento de onda. Observa-se na figura 2.1 o espectro eletromagnético.

O Espectro Eletromagnético

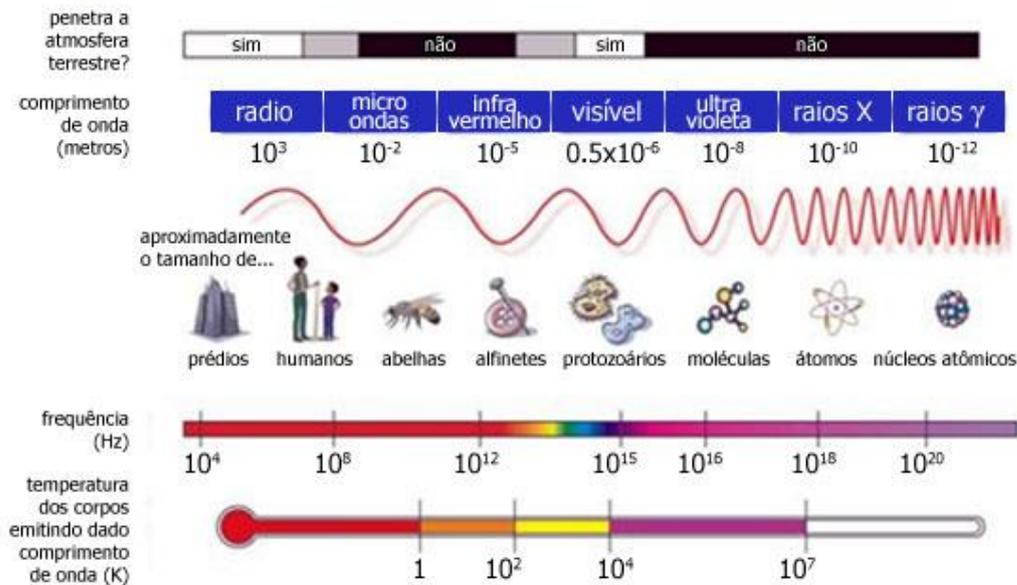


Figura 2.1 - Espectro eletromagnético

Fonte: Lima - UFSC, 2012.

A termografia utiliza a banda espectral dos infravermelhos: na extremidade da onda curta, a fronteira situa-se no limite da percepção visual, na área em vermelho, na extremidade de onda longa, funde-se com os comprimentos de onda das microondas e radioelétricas, em termos de milímetros, muito embora os comprimentos de onda sejam fornecidos em μm (microns), são ainda frequentemente utilizadas outras unidades para medir o comprimento de onda nesta região espectral, por exemplo, o nanómetro (nm) e o Ångström (Å), KREITH (1977).

As relações entre as diferentes medições de comprimento de onda são mostradas na tabela 2.1 e na figura 2.2:

Tabela 2.1: Espectro Eletromagnético – Valores de Frequências

Descrição	Sigla	Faixa de Frequência
Muito Baixa Frequência		< 30 KHZ
Baixa Frequência		30 KHZ - 650 KHZ
Média Frequência		650 KHZ - 1700 KHZ
Onda Curta		1,7 MHZ - 30 MHZ
Muito Alta Frequência		30 MHZ - 300 MHZ
Ultra Alta Frequência		300 MHZ - 3000 MHZ
Micro Ondas		3 GHZ - 300 GHZ
	FIR (Far Infrared)	300 GHZ - 6 THZ
INFRAVERMELHOS	MIR (Medium Infrared)	6 THZ - 120 THZ
	NIR (Near Infrared)	120 THZ - 384 THZ
Luz visível		384 THZ - 789 THZ
Ultra violeta		789 THZ - 30 PHZ
Raios X		30 PHZ - 30 EHZ
Raios Gama		> 30 EHZ

Fonte: Shihab (2000).

Radiação **não ionizante** até à luz visível.

Radiação **ionizante** desde os ultra violeta aos raios gama.

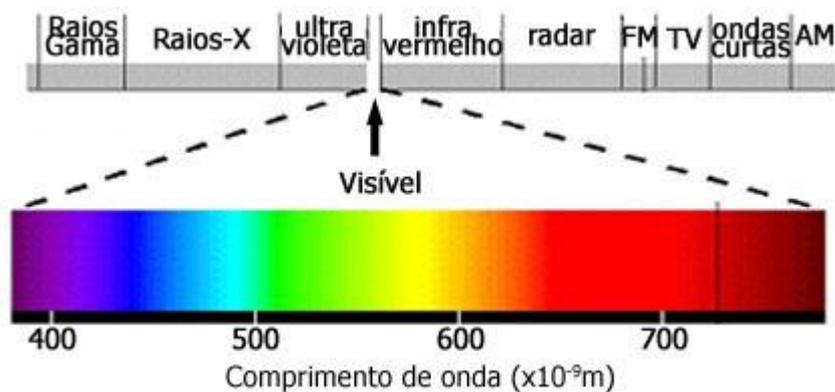


Figura 2.2 – Medições de Comprimento de Onda.

Fonte: Lima - UFSC, 2012.

A banda dos infravermelhos é frequentemente subdividida em quatro bandas menores, cujos limites são também escolhidos de forma arbitrária e incluem: a próxima de infravermelhos (0,75 – 3 μm); a média de infravermelhos (3 – 6 μm); a

afastada de infravermelhos (6 – 15 μm), e a extrema de infravermelhos (15–100 μm). Shihab (2000).

2.5 Corpos Cinzentos ou Corpos Reais

Em física, um corpo é considerado negro quando absorve toda a energia que nele incide. Na realidade isto quase nunca acontece. Podem ocorrer três processos que evitam que um objeto real se comporte como um corpo negro: pode ser absorvida uma fração da radiação incidente (α), pode ser refletida uma fração (ρ) e pode ser transmitida uma fração (τ). Estas quantidades de energia variam em maior ou menor porcentagem dependentemente das características do corpo. Uma vez que todos estes fatores são mais ou menos dependentes do comprimento de onda, o índice λ é utilizado para representar a dependência espectral das suas definições, KREITH (1977).

Assim:

A absorção espectral $\alpha\lambda$ = à relação da energia radiante espectral absorvida por um objeto com a que incide sobre si.

A reflexão espectral $\rho\lambda$ = à relação da energia radiante espectral refletida por um objeto com a que incide sobre si.

A transmissão espectral $\tau\lambda$ = à relação da energia radiante espectral transmitida através de um objeto com a que incide sobre si.

Segundo a lei de Kirchhoff, para qualquer material, a emissividade espectral e a absorção espectral de um corpo são iguais em quaisquer temperaturas e comprimentos de onda especificados, conforme figura 2.3:



Figura 2.3 - Relação entre energia absorvida, transmitida e refletida.

Fonte: Durrani (1988).

2.6 Bandas Espectrais onde Funcionam os Atuais Sistemas de Termografia.

Devido a constantes melhoramentos e avanços nesta tecnologia, hoje em dia são três e não duas como há alguns anos atrás, as bandas espectrais para as quais os detectores dos sistemas de termografia são fabricados para captarem a radiação infravermelha, sendo que, a que era considerada SW, passa agora a MW conforme Figura 2.4, SHIHAB (2000).

Onda curta - SWIR (<i>short wave infrared</i>) -	(SW) :	0,9 - 2,5 μm
Onda média - MWIR (<i>mid wave infrared</i>)	(MW) :	2,5 - 5,0 μm
Onda larga - VLWIR (<i>very large wave infrared</i>)	(LW) :	7,0 - 14,0 μm

Figura 2.4 Classificação de onda

Fonte: Shihab (2000).

Existem algumas diferenças entre si, no que as aplicações diz respeito, por exemplo:

Onda Curta (SW): Utilizada em trabalhos de investigação, restauro de peças de arte, aplicações militares, etc.

Onda Média (MW): Utilizada para se inspecionar equipamentos através de vidros e acrílicos.

Onda Longa (LW): Utilizada para se examinar equipamentos no exterior de instalações com presença do sol, ou seja, em zonas expostas a reflexos solares.

Além dos três grupos principais de detectores, existem subgrupos BB (1,5 a 5,0 μm), MBB (2,5 a 5,0 μm) e, LWIR (7 a 14 μm), SHIHAB (2000).

As câmaras utilizadas em aplicações industriais possuem geralmente detectores de 3,5 a 5,0 μm , e 7,5 a 14 μm (ou 13,0 μm , conforme o fabricante), sendo que os outros detectores são utilizados em aplicações muito especiais, tanto militares como em investigação, conforme figura 2.5, Lima (2012).

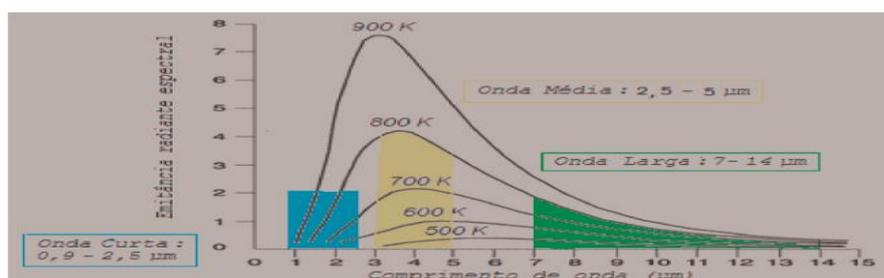


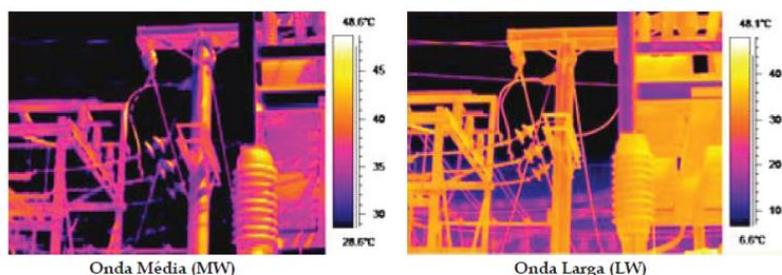
Figura 2.5 Bandas espectrais de funcionamento dos detectores

Fonte: Lima - UFSC, 2012.

2.7 Diferença entre Sistemas de Onda Média e de Onda Longa

Os Sistemas de onda longa eliminam melhor os reflexos solares que os sistemas de onda média. Isto é importante para o exame, por exemplo, de linhas aéreas de transporte e distribuição de energia elétrica e de subestações localizadas ao ar livre, NIANCANG (1988).

De acordo com a figura 2.6, observa-se uma Subestação examinada sob presença de sol, em que se constata que o sistema de onda longa proporciona melhor imagem que o de onda média, ou seja, os reflexos solares são minimizados, NIANCANG (1988).



Figuras 2.6 - Termogramas obtidos com sistemas de onda média e onda longa.

Fonte: Niancang (1988).

2.8 Comportamento Espectral do Vidro

Conforme figura 2.7 verifica-se o comportamento espectral do vidro, em função do comprimento de onda dos sistemas de termografia utilizados, com utilização de filtros para o efeito. A transmissão espectral através do vidro é superior na banda dos 3-5 μm , ou seja, com utilização de um sistema de termografia SW (hoje MW), os resultados obtidos serão bem melhores que um sistema LW, ISHINO (2002).

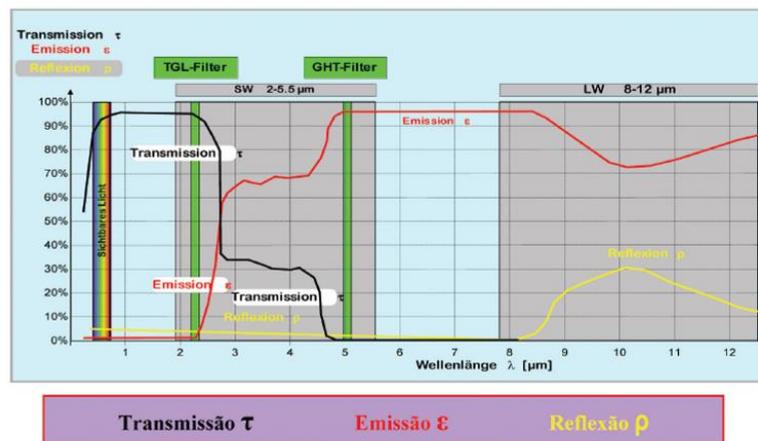


Figura 2.7 - Comportamento espectral do vidro.

Fonte: Ishino (2002).

2.9 A Conexão Elétrica

2.9.1 Aspectos fundamentais da conexão elétrica

O objetivo de uma conexão elétrica é possibilitar a passagem ininterrupta da corrente elétrica através de uma interface. Isso é conseguido quando um bom contato metal-metal for estabelecido e mantido. No entanto, quando se trata conexões alumínio, nem sempre é possível devido propriedades intrínsecas desse metal, tais como a sempre presente camada de óxido na superfície, tendência de sofrer fenômenos de fluência e relaxação, susceptibilidade à corrosão galvânica alto coeficiente de dilatação térmica o que leva ao fenômeno de fretting (desgaste por fricção) entre as interfaces. Esta situação pode resultar em falha de conexão, BRAUNOVIC (1985).

2.9.2 Área de contato

Segundo Braunovic (1985), as superfícies reais não são completamente lisas, compreendendo muita rugosidade. Quando o contato é estabelecido entre dois metais, rugosidade superficial dos membros em contato penetra na camada natural de óxido e outras superfícies contaminantes, estabelecendo desse modo um contato metálico localizado e, assim, conduzindo corrente elétrica. Com o aumento das forças, o número e a área desses pequenos pontos de contato metal-metal crescem, resultando na ruptura da camada de filme óxido e resultam em extrusão de metal através da ruptura.

Esses pequenos pontos, são pequenas soldas frias que determinam o único caminho para a corrente elétrica. Uma consequência direta disso é o contato “poroso” onde a infiltração do oxigênio e outros gases corrosivos podem entrar em reação com o metal exposto e alterar a área de contato metálico. Como o bom desempenho de uma conexão elétrica está diretamente relacionado à área de contato entre os condutores é de se esperar que quanto maior a área, melhor seja o contato, BRAUNOVIC (1985).

Ainda Braunovic (1985) afirma que quando a corrente elétrica é obrigada a fluir através dessas pequenas soldas frias formadas, temperatura do ponto de contato, pode ser maior do que o corpo do conector. Então um aumento da resistência de constricção sobre aquela resistência que existiria se o contato metal-metal fosse contínuo através de toda área de contato.

Um aumento da diferença de potencial pode elevar a supertemperatura consideravelmente, suficiente para produzir alterações metalúrgicas básicas como amolecimento ou até soldagem das áreas de contato, ARONSTEIN (1987).

À primeira vista, pode parecer que a criação dessas zonas de contatos fundidos poderia melhorar a estabilidade da conexão. Entretanto, num resfriamento posterior, o metal se retrai e trinca devido à tensão interna que aparece na

solidificação destas pontes. A oxidação dessas zonas de contato adicionalmente reduz o número de caminhos elétricos possíveis de condução de corrente, resultando em um sobreaquecimento culminando com falha mecânica da conexão, ARONSTEIN (1987).

Segundo Braunovic (1987), a diferença entre as propriedades físicas dos metais, mecânicas e metalúrgicas assim como a maneira como eles se comportam sob condições específicas provocam problemas como: oxidação, relaxação e tensão, expansão térmica diferencial, corrosão galvânica, formação de compostos intermetálicos e fretting (desgaste por fricção) afetam a ininterrupta passagem de corrente elétrica através de uma conexão de alumínio-cobre e alumínio-alumínio.

Desses processos, a corrosão galvânica é o mais frequentemente encontrado e também um dos mais prejudiciais, para estabilidade das conexões alumínio-cobre, BRAUNOVIC (1987).

Ainda Braunovic (1987), relata que para limitar esses efeitos, diversas medidas paliativas, como preparação das superfícies de contato das conexões, uso de lubrificantes e o revestimento de alumínio com metais que possuam um potencial galvânico intermediário tem sido realizados com relativo sucesso.

2.10 Aplicações da Termografia

A termografia pode ser utilizada para identificar possíveis problemas nos mais variados tipos de atividade e Segmentos como, por exemplo, Eletrônica – Correntes e Instrumentação, Telecomunicações, Painéis Solares, Controle de Qualidade e Recepção de Materiais, Navios, Aviação e Aeroportos, Medicina, Vigilância e Salvamento, Aplicações Militares, Restauração de obras de Arte e de Monumentos, Impacto Ambiental, Meteorologia, além dos que serão citados neste capítulo, FRATO (2012).

Todo tipo de atividade industrial, desde petroquímicas, celulose, siderurgias, fundições, automobilísticas, ramo alimentício, plásticos, entre outras atividades, são examinadas as subestações, postos de transformação, quadros gerais e parciais de baixa tensão, quadros de comandos e instrumentação, grupos geradores de emergência, motores, isolamento térmico dos mais variados equipamentos. Verificação de níveis de líquidos em tanques e do gradiente de temperaturas em válvulas e permutadores de calor, são entre outros, equipamentos também usualmente examinados. Demonstrado na figura 2.8, FRATO (2012).

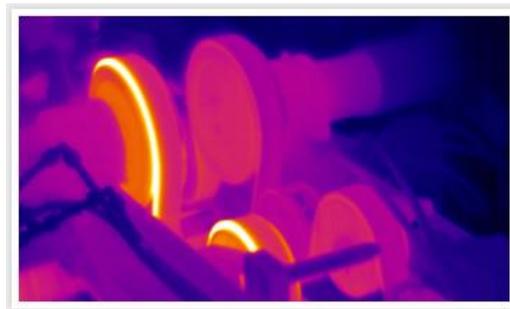


Figura 2.8 – Termografia aplicada à Indústria

Fonte: Frato, 2012.

Na área de dispositivos mecânicos e força motriz, a termografia é um ótimo complemento a outros tipos de ensaios não destrutivos. Detecção de sobreaquecimentos em motores, problemas por fricção, alinhamento de eixos, defeitos em rolamentos, caixas de bornes de ligações, anéis e escovas, polias, correias, entre outros. Observado na figura 2.9, INSTRUTEC (2012).

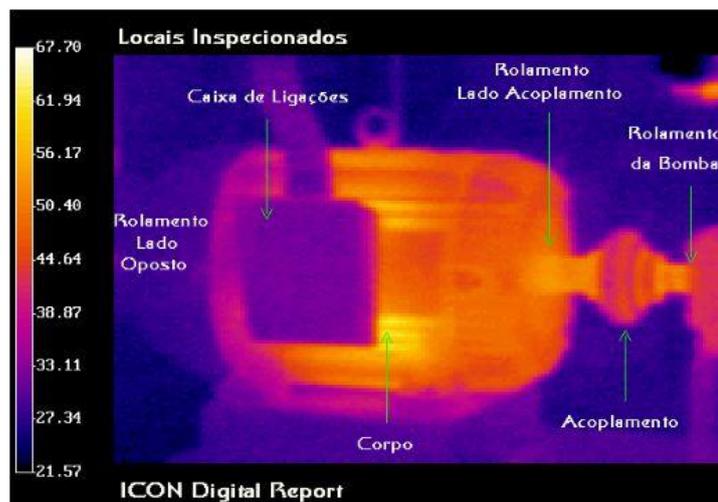


Figura 2.9 – Termografia aplicada à Dispositivos mecânicos e Força Motriz

Fonte: Instrutec (2012).

A termografia é também uma ferramenta muito útil na área da construção civil, nomeadamente na verificação da distribuição de temperaturas e na detecção de fendas e/ou fissuras em pontes, edifícios e paredões de barragens, entre outros exemplos. Determinação de perdas energéticas através de paredes, verificação de problemas de isolamento e localização de umidades internas são outras, entre tantas, as aplicações da termografia. Conforme figura 2.10, FISICA LEGAL (2012).

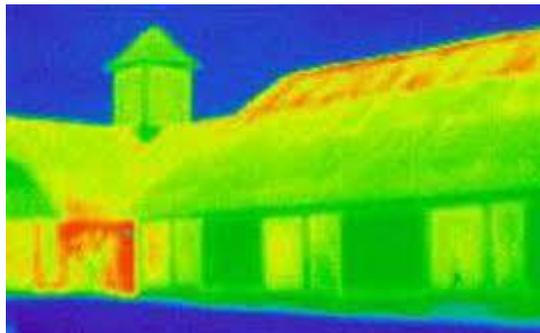


Figura 2.10 – Termografia aplicada à Construção Civil

Fonte: Física Legal (2012).

Centros de Produção de Energia Elétrica, Centrais Hídricas, Térmicas, Geotérmicas, Nucleares, Eólicas, Solares, Grupos Geradores etc. Onde podem ser examinados grupos geradores, caixas de ligações e cabos condutores, transformadores de potência, de excitação, de serviços auxiliares, de intensidade e de tensão, de isolamento, disjuntores e seccionadores, reatâncias e condensadores, barramentos, incluindo os de neutros e terras, conexões, isoladores, motores, isolamento térmico de caldeiras, chaminés, dutos de vapor e fluídos etc. Exemplifica-se conforme figuras 2.11, FLUKE (2012).

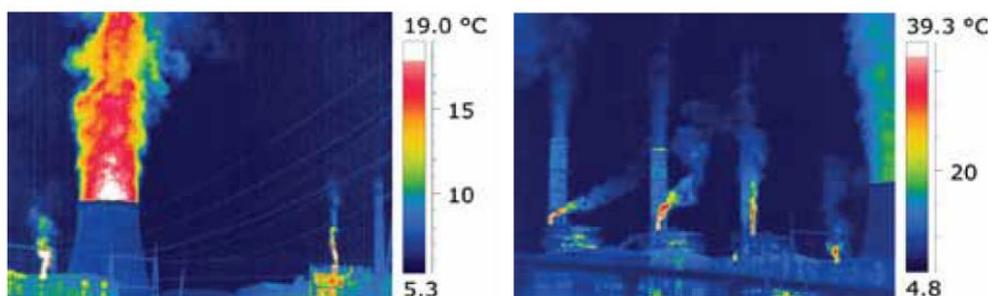


Figura 2.11 – Centros de Produção de Energia Elétrica

Fonte: Fluke, 2012.

Nas Linhas Aéreas de Transporte e Distribuição são inspecionados os cabos condutores e de terra, conexões, pinças de amarração e de suspensão, isoladores, chaves seccionadoras e de proteção, entre outros, BARRETO (2006).

Este trabalho é executado com utilização de viatura por todo o terreno ou com helicóptero, BARRETO (2006).

Nas linhas aéreas de baixa tensão, são examinados os cabos condutores, as conexões e isoladores. Estas inspeções podem ser complementadas com uma inspeção visual dos equipamentos, com utilização de binóculos. Demonstrado na figura 2.12, FLUKE (2012).

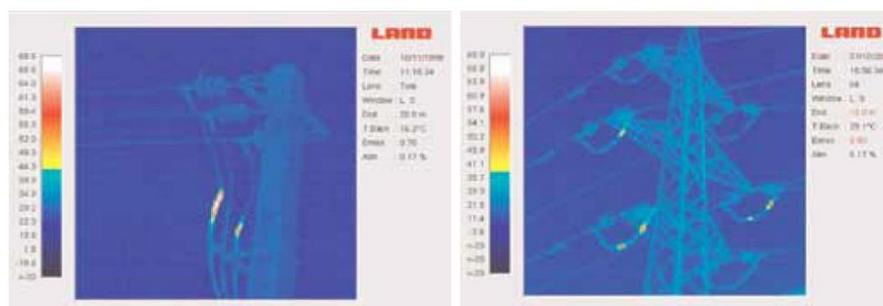


Figura 2.12 – Redes Aéreas de Distribuição e Transmissão de Energia
Fonte: Fluke, 2012.

Nas Subestações, são examinados na inspeção os transformadores de potência, de medida, de serviços auxiliares, para-raios, disjuntores e seccionadores, conectores e barramentos, bancos capacitores e reatores, isoladores, conectores de aterramento entre outros. Exemplificado pela figura 2.13, FLUKE (2012).

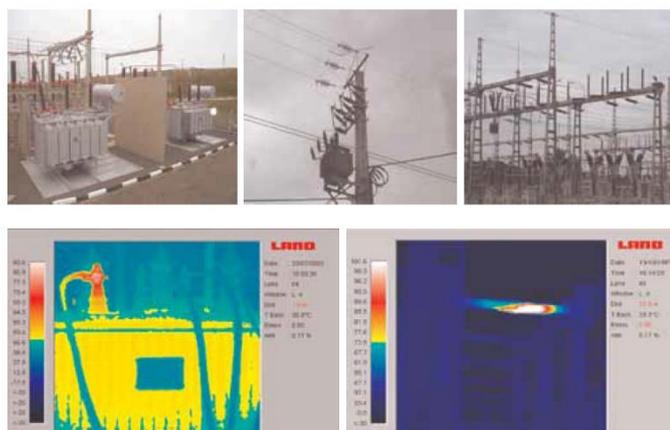


Figura 2.13 - Subestações – Postos de Transformação e de Seccionamento
Fonte: Fluke, 2012.

2.11 Classificação dos Sistemas de Termografia

Os atuais sistemas de termografia são classificados em três tipos: Pontuais (Pirômetros de Infravermelhos), Lineares (Scanners de linha) e Superficiais (Câmaras Termográficas), FLIR SYSTEMS (2013).

Os sistemas pontuais são sistemas que permitem a medição da temperatura de um ponto ou zona de um corpo, sem estar em contato com ele. A sua precisão depende muito da resolução da ótica do equipamento, do diâmetro da área a medir, e da distância a que se realiza a medida. São tipicamente equipamentos fixos e portáteis, FLIR SYSTEMS (2013).

Já os sistemas Lineares caracterizam-se essencialmente por permitirem a obtenção de perfis de temperatura e a obtenção de mapas térmicos. São vastamente utilizados em fornos rotativos para acompanhamento do estado do isolamento térmico, FLIR SYSTEMS (2013).

Os sistemas Superficiais que utilizam as Câmaras Termográficas ou termovisores são sistemas que possibilitam formação de imagens térmicas, permitindo a visualização da distribuição e quantificação de temperaturas em tempo real, na superfície dos objetos observados. São utilizados em uma imensa diversidade de aplicações, conforme figura 2.14, PCE INSTRUMENTS (2012).



Figura 2.14 - Câmaras Termográficas
Fonte: PCE Instruments, 2012.

Uma câmara termográfica mede e reproduz em imagens a radiação de infravermelhos emitida por um objeto. O fato de a radiação resultar da temperatura da superfície do objeto possibilita que a câmara calcule e mostre essa temperatura. As câmaras atuais são muito fáceis de utilizar. Funcionam com alguns botões que se encontram convenientemente dispostos, permitindo controlar principais funções apenas com as pontas dos dedos. A existência de um sistema de menus incorporados também possibilita o fácil acesso a um software de câmara avançado, de fácil utilização, para uma melhor funcionalidade do equipamento, PCE INSTRUMENTS (2012).

Para analisar dados sobre o objeto analisado, é possível capturar e armazenar imagens em memória interna da câmara e / ou em cartão de memória. As imagens podem ser analisadas quer no campo, através da utilização das funções de medição em tempo real incorporada na câmara, quer num PC, utilizando um software para o efeito, FLUKE (2012).

Estas câmaras, atualmente, além da lente de infravermelhos, incluem também, GPS, um ponteiro laser, viewfinder, LCD policromático, lente de câmara fotográfica digital, sistema bluetooth para colocação de voz em cima da imagem e baterias de alimentação, FLUKE (2012).

A figura 2.15 mostra, de uma forma simples, como o objeto de interesse aparece na câmara de infravermelhos, ou seja, no sistema de termografia, neste caso da FLIR SYSTEMS, FLUKE (2012).

A energia infravermelha (A) proveniente de um objeto é focada por um conjunto de lentes (B) sobre um detector de infravermelhos (C). O detector envia a informação ao sensor eletrónico (D) para processar imagem. A eletrónica converte os dados provenientes do detector em uma imagem (E) que pode ser vista no visor integrado por um monitor de vídeo standard ou em um monitor de LCD, FLUKE (2012).

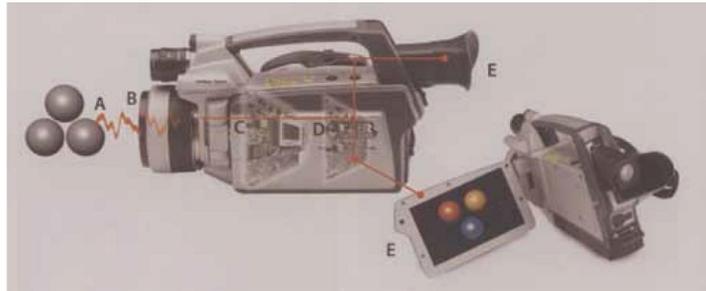


Figura 2.15 – Funcionamento de uma câmara termográfica

Fonte: Fluke, 2012.

2.12 Vantagens em Utilizar a termografia

A termografia permite determinar à distância e sem contato, as temperaturas superficiais dos objetos observados. Pelo conhecimento dessas temperaturas, pode fazer-se diagnóstico precoce de avarias ou a otimização da exploração de instalações. Através da identificação de pontos quentes ou do mapeamento das temperaturas dos equipamentos, é possível evitar prejuízos graves. Recorrendo regularmente às inspeções de termografia, é possível detectar, ainda na fase inicial, avarias que podem vir a originar curto-circuito, como por exemplo, maus contatos, tantas vezes responsáveis por incêndios e destruição de aparelhos. Podem também localizar causas dos desperdícios de energia, por exemplo, deficiência em isolamentos térmicos, que resultam sempre consumos exagerados e desperdício de combustíveis, BARRETO (2006).

Segundo Nepomuceno (1989), Manutenção preditiva é aquela que indica as condições reais de funcionamento das máquinas com base em dados que informam o seu desgaste ou processo de degradação. Trata-se da manutenção que prediz o tempo de vida útil dos componentes das máquinas e equipamentos e as condições para que esse tempo de vida seja bem aproveitado.

É uma grande vantagem a utilização da termografia, uma grande ajuda na manutenção preventiva, sendo um investimento bastante compensador, quer pelas

economias que proporciona, quer pelos danos que consegue prevenir, quer ainda pelas interrupções de produção que consegue evitar, BARRETO (2006).

O termo ocorrência encontrado neste trabalho é todo e qualquer evento que ocorra no Sistema Elétrico no qual o consumidor informa a falha ou falta de energia via telefone, internet ou mensagem de celular, a um centro de teleatendimento que posteriormente registra esse evento como uma ocorrência no sistema para que o Centro de Operação possa enviar equipes para normalização da energia para os consumidores.

Outra vantagem da termografia é que os pontos quentes encontrados durante as inspeções termográficas, ou seja, pontos de conexões da rede elétrica que estejam com temperatura superior ao normal, não poderiam ser identificados a olho nu, mas somente com a utilização do termovisor.

2.13 A termografia nos dias atuais

Hoje em dia, existem no mercado diversos sistemas de termografia com uma qualidade notável, quer em nitidez de imagem, quer em performance, quer nas aplicações. A exemplo de alguns modelos de câmera termográfica da empresa FLIR SYSTEMS, que além de pequenos e muito leves, possibilita a gravação de voz em cima da imagem para a sua identificação, obtenção de foto digital através de uma pequena câmara no seu interior e um grande número de funções que tornam esses termovisores excelentes ferramentas para uma boa execução de inspeções em termografia. É acompanhado por um excelente software que permite trabalhar de uma maneira profissional as imagens térmicas e elaborar relatórios com todos elementos necessários para uma boa análise, FLIR SYSTEMS (2013).

3 METODOLOGIA

A metodologia empregada neste trabalho foi um estudo qualitativo obtido através de análises de dados coletados por relatórios gerenciais e a partir de amostras de inspeções realizadas em campo na rede Elétrica de Distribuição de Energia na região Sul da Bahia. A figura 3.1 apresenta um diagrama esquemático das etapas principais para confecção deste trabalho:

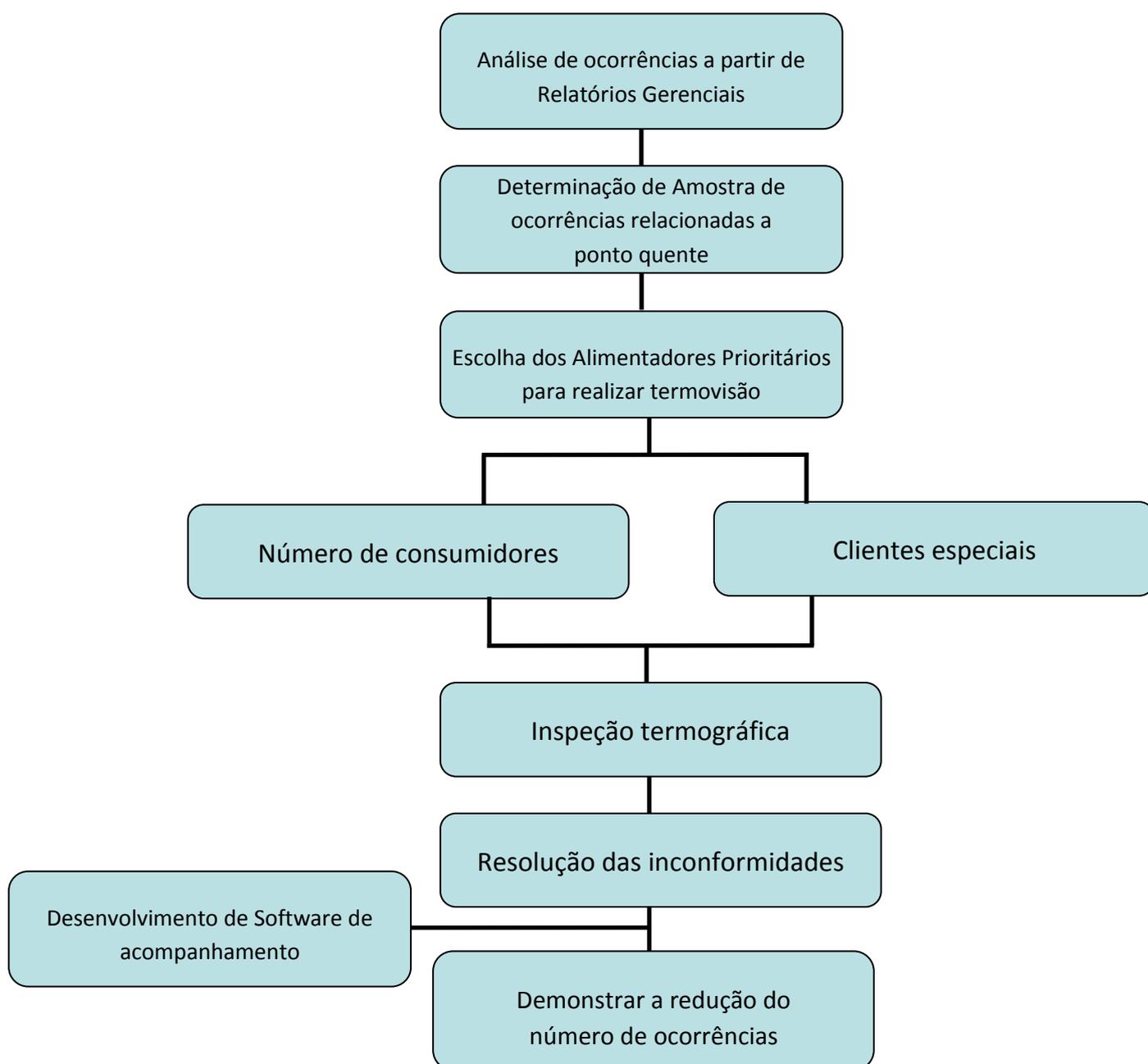


Figura 3.1 – Diagrama esquemático da Metodologia.

Para se obter os resultados experimentais, adotou-se uma metodologia de trabalho que consistiu em realizar inspeções termográficas ao longo de alguns alimentadores localizados na cidade de Itabuna e cidades circunvizinhas, com objetivo de detectar pontos quentes em equipamentos, estruturas ou componentes conectados à rede elétrica.

Foram analisadas 218 ocorrências relacionadas a ponto quente que provocaram interrupções em consumidores nestas cidades no ano de 2011 e 84 ocorrências relacionadas a ponto quente no ano de 2012.

Os dados obtidos foram extraídos o programa GSE - Gestão do Sistema Elétrico da concessionária Coelba. O GSE é o sistema que gerencia todas as ocorrências da Companhia bem como contabiliza os indicadores operacionais da concessionária. Conforme figura 3.2 e 3.3.

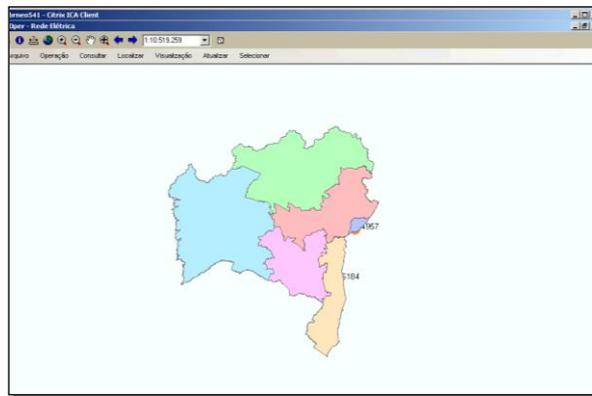


Figura 3.2. Fonte: Adaptado do GSE (2012) – Sistema de gestão das ocorrências da concessionária Coelba

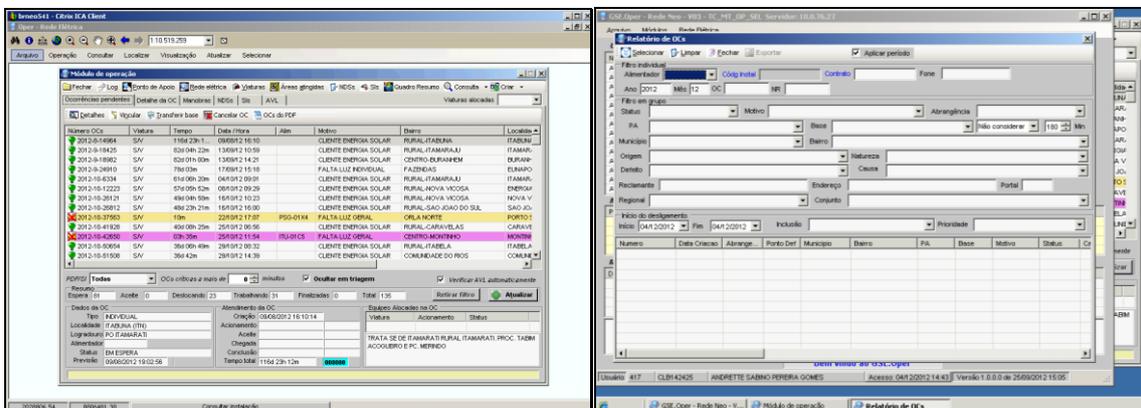


Figura 3.3 – Adaptada do Sistema GSE (2012) Módulo Operação – Gestão das ocorrências e Módulo Relatórios

Foi feito cruzamento dos dados de quais alimentadores ou chaves que tiveram como interrupção causas relacionadas a ponto quente. A partir daí foram selecionados os alimentadores que seriam prioritários para fazer as termovisões utilizando os seguintes critérios: quantidade de consumidores, quantidade de consumidores especiais como hospitais ou indústrias e quantidade de ocorrências relacionadas a ponto quente em um mesmo alimentador.

Depois de realizadas as termovisões, foram imediatamente regularizados os problemas encontrados. Foi feito este processo ao longo do ano de 2012. Com isso, foram comparados os valores obtidos do ano de 2011 com 2012 visando demonstrar a eficiência da utilização do sistema de termovisão como medida eficaz na manutenção preditiva em redes de distribuição.

3.1 O Termovisor

O equipamento utilizado para detectar as incidências de pontos quentes nas redes de Distribuição de Energia Elétrica é o termovisor. As figuras 3.2 e 3.3 mostram um termovisor da FLIR modelo T-300



Figura 3.4 - Termovisor FLIR modelo T300

Fonte: FLIR, 2012.



Figura 3.5 - Termovisor modelo T-300

Fonte: FLIR, 2012.

Trata-se de uma câmera de mão infravermelho que mede a temperatura dos objetos. A câmera tira imagens de calor com base na radiação emitida por cada objeto e converte imagem térmica em um formato eletrônico padrão.

Para possibilitar uma melhor avaliação da utilização da termovisão como ferramenta de manutenção preditiva em redes de distribuição de energia foram feitas várias termovisões em alimentadores diversos da cidade de Itabuna e cidades circunvizinhas.

As inspeções foram realizadas no período entre Janeiro 2012 à Setembro 2012 tendo como finalidade demonstrar a eficácia da utilização da termovisão na detecção de possíveis “pontos quentes” nas estruturas, conexões e equipamentos das redes de distribuição de energia elétrica na cidade de Itabuna e cidades circunvizinhas possibilitando assim uma antecipação a possíveis defeitos em equipamentos ou conexões que pudessem vir a provocar interrupção de energia aos consumidores.

A metodologia utilizada foi a identificação de quais redes (alimentadores) haviam maior quantidade de problemas relacionados à rompimento de condutores por motivos de sobreaquecimento de junções, conexões ou equipamentos de distribuição.

Foram realizadas inspeções minuciosas nesses alimentadores com equipamento termovisor FLIR T300. Após inspeção, os dados foram tratados e foram gerados relatórios para serem passados às equipes de manutenção para que pudessem atuar preventivamente, sanando o problema antes que o mesmo viesse ocorrer.

Foram realizadas termovisões em diversos horários do dia tendo como melhores resultados medições realizadas nos períodos onde houveram menor incidência de radiação solar.

3.2 Inspeções utilizando Termovisores

As inspeções de redes de distribuição utilizando termovisores são realizadas com o equipamento instalado sobre um veículo que se desloca com uma velocidade média de 20 km/h. Ao se identificar um ponto quente nas estruturas, ou seja, uma

temperatura acima da normalmente encontrada nas conexões elétricas, o veículo para e novas imagens são feitas para se confirmar o ponto quente. A Figura 3.2 mostra o trabalho de inspeção de redes de distribuição com a utilização do termovisor.



Figura 3.6 – Inspeção de redes de distribuição com termovisor

A partir da figura 3.2 pode-se observar a Inspeção realizada a partir do veículo, durante o período diurno. À direita pode-se observar a inspeção sendo realizada no período noturno.

Existem divergências entre os autores a respeito do melhor horário para se realizar as inspeções termográficas. Alguns afirmam que se deve realizar as inspeções no período noturno a fim de se eliminar a interferência da radiação solar. Outros afirmam que deve ser realizada nos horários de pico de consumo de energia, das 18:00 hs às 21:00 hs, KOWALSKI (2006).

Os fabricantes afirmam que os equipamentos produzem resultados eficientes em qualquer horário, pois atualmente os equipamentos já possuem sistema de correção para a radiação de fundo, KOWALSKI (2006).

4 Estudo de Caso

Neste capítulo será demonstrado através de um estudo de caso, a eficiência da termografia quando utilizada em manutenções preventivas em Redes de Distribuição.

Foram analisados os principais tipos de defeito que ocorriam nos alimentadores, com a finalidade de identificar um tipo de defeito específico que fosse responsável por uma parcela significativa entre os tipos de defeito existentes.

As principais causas de defeitos nas redes de Distribuição de Energia na região Sul da Bahia no ano de 2011, podem ser observadas na figura 4.1.

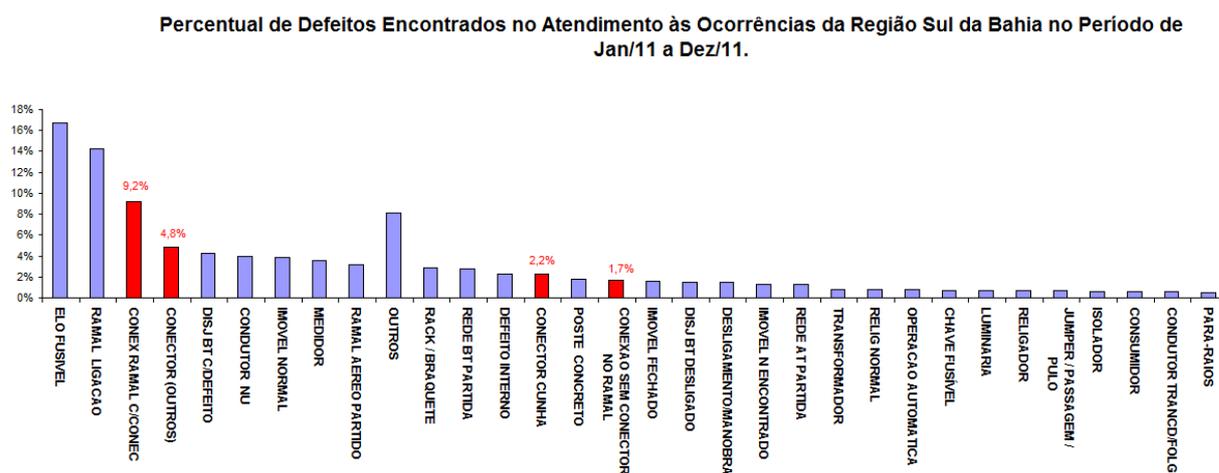


Figura 4.1 - Principais causas de defeitos das ocorrências de Janeiro a Dezembro 2011 da região Sul da Bahia. Fonte: Adaptado GSE (2012).

A partir da figura 4.1, observa-se que cerca de 20% das ocorrências atendidas, ou seja, somando-se os percentuais das causas Conexão do Ramal com Conector, Conector (Outros), Conector Cunha e Conexão sem conector no ramal, tiveram causas associadas a problemas de conexão, o que é um valor significativo, visto que é citado apenas uma das várias possíveis causas de problemas no sistema em relação aos 32 tipos de defeitos citados.

Das cinco maiores causas das ocorrências, duas delas estão associadas a problemas com conexão. São elas: Conexão Ramal com Conector e Conector (Outros).

Levando-se em conta, que o conector é um dos componentes de mais baixo custo que é aplicado na rede elétrica, esta análise ganha grande importância para redução dos custos operacionais.

Apesar de ser um componente de baixo custo, os danos causados pela má aplicação ou aplicação de materiais de baixa qualidade podem provocar prejuízos de grande proporção a exemplo de interrupção de grandes blocos de cargas, rompimento de condutores além de outros transtornos a exemplo de oscilações de tensão podendo provocar queima de equipamentos.

Observa-se através das figuras: 4.2, 4.3, 4.4, 4.5, 4.6, 4.7, 4.8, 4.9, 4.10, 4.11, 4.12 e 4.13 exemplos de pontos quentes em diversos alimentadores da região Sul da Bahia, que depois de identificados foram imediatamente enviado equipes para regularizar os possíveis pontos de problema, sendo substituídas as conexões.



Figura 4.2 Ponto quente Chave faca AL 01V7 SE ITN (9027 consumidores)

A partir da figura 4.2 que mostra um ponto quente acentuado em uma chave-faca do alimentador 01V7 da Subestação Itabuna que atende 9.027 consumidores, pode-se observar que na imagem térmica gerada a menor temperatura registrada na imagem é de 32,3°C (canto inferior direito) e que a maior temperatura registrada na imagem é de 54,4°C (canto superior direito), uma temperatura elevada para uma chave que deveria ter uma temperatura por volta dos 30°C.

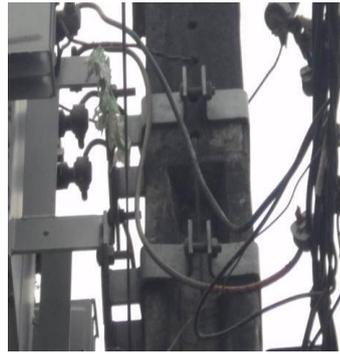
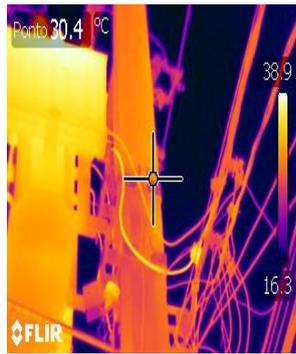


Figura 4.3 Ponto quente na conexão do transformador de distribuição (174 consumidores)

Pode-se observar que na imagem térmica gerada na figura 4.3 a menor temperatura registrada é de 16,3°C e a maior temperatura registrada é de 38,9°C, uma temperatura elevada para uma conexão do transformador à rede secundária que deveria estar por volta dos 35°C. Observa-se que trata-se da mesma imagem, uma figura com a imagem fotográfica e outra figura com a imagem térmica.



Figura 4.4 Ponto quente Chave faca

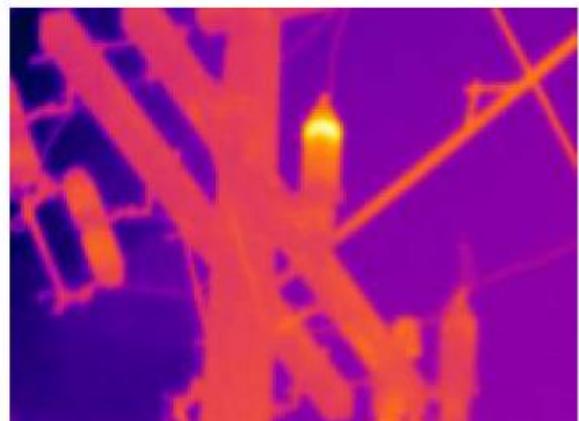


Figura 4.5 Ponto quente Pára-raio

Pode-se observar na figura 4.4 um ponto quente acentuado (termografia realizada no período noturno) em uma chave-faca que atende uma derivação importante no alimentador 01X7 Subestação Itabuna que atende 8.555 consumidores.

Já na figura 4.5 pode-se notar um ponto quente registrado em um para raio do mesmo alimentador na fase “B”.

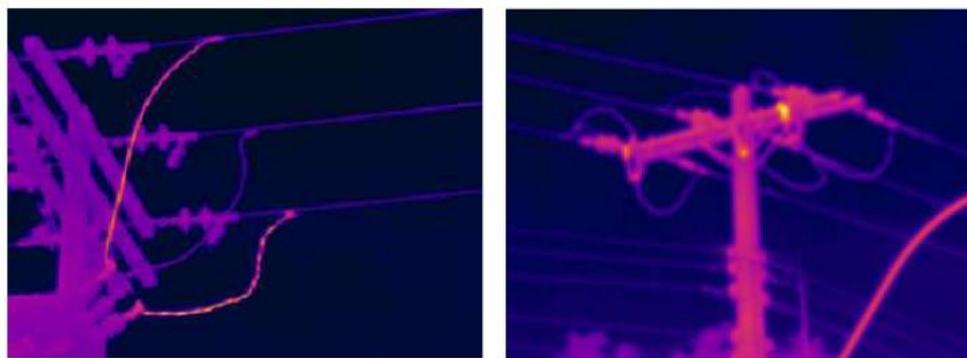


Figura 4.6 Ponto quente conexão Chave a óleo **Figura 4.7 Ponto quente Chave fusível**

Na figura 4.6 a termografia identificou dois pontos quentes acentuados nas fases que estão nas extremidades da rede elétrica conectando uma chave a óleo ao alimentador.

A imagem térmica da figura 4.7 registrou pontos quentes acentuados nas chaves fusíveis da extremidade do alimentador 01X7 Subestação Itabuna.

Todos os pontos quentes registrados nas figuras 4.4, 4.5, 4.6, 4.7 são pontos quentes registrados no alimentador 01X7 SE ITD SAÍDA DA SUBESTAÇÃO (Atende 8555 consumidores)

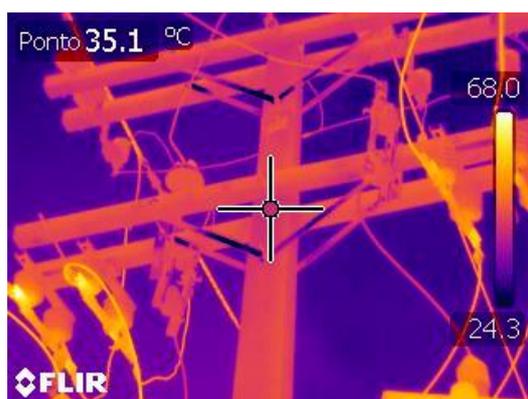


Figura 4.8 Ponto quente chave faca 01X7



FIGURA 4.9 Ponto quente saída SE ITN

Observa-se na figura 4.8, pontos quentes acentuados nas 3 (três) chaves faca, registrando temperatura mínima na imagem térmica de 24,3°C e temperatura máxima registrada de 68°C, um valor bem acima do normalmente encontrado em chaves faca que está em torno de 30° C.

Na figura 4.9, a imagem térmica registrou como temperatura mínima 25,2°C e temperatura máxima de 55°C nas extremidades das conexões das chaves face na Saída da Subestação.



Figura 4.10 Ponto quente saída AL 01X6 SE ITD

Na figura 4.10, pode-se observar que a imagem térmica gerada registra uma temperatura mínima de 18,7°C e temperatura máxima de 82,1°C, uma temperatura bem acima do normal que seria algo em torno de 30°C.

Os pontos quentes registrados nas imagens 4.8, 4.9 e 4.10 são pontos quentes diversos encontrados no alimentador 01X6 SE ITD SAÍDA DA SE (Atende a 2100 clientes além da fábrica da Nestlé e Petrobrás)



Figura 4.11 Ponto quente chave fusível



Figura 4.12 Ponto quente na conexão da chave face

A figura 4.11 mostra uma imagem térmica registrada em chave fusível de distribuição sendo que a menor temperatura é de 21,8°C e a maior temperatura é de 45,4°C, enquanto que o normal seria no máximo 30°C.

Na figura 4.12, observa-se um ponto quente na conexão da chave faca com a rede que poderia provocar a qualquer momento rompimento dos condutores.



Figura 4.13 Ponto quente na conexão da fase A chave a óleo

Já na figura 4.13, a imagem térmica registrou um ponto quente acentuado na conexão da chave faca com a chave a óleo. Nesta imagem a temperatura mínima registrada foi de 26,6°C e a temperatura máxima registrada foi de 53,6°C quando o normal para essa situação seria uma temperatura máxima de 30°C.

Das figuras 4.11 à 4.13 pode-se observar diversos pontos quentes no AL 01M3 SE ITJ (Atende 5379 consumidores, cidade de Uruçuca).

Caso não fossem identificados com a termovisão, esses pontos quentes se agravariam provocando o rompimento dos condutores, interrompendo por aproximadamente 3 horas (tempo médio de atendimento de uma ocorrência na região Sul da Bahia) cerca de milhares de consumidores, entre consumidores residenciais, comerciais, industriais além de diversos hospitais visto que tratam-se de alimentadores que atendem sedes municipais. Independente do custo financeiro (com multas e compensações) há outro custo que a maioria das pessoas ou

empresas não leva em consideração que é o custo com a imagem e credibilidade da empresa pelo serviço prestado.

A inspeção termográfica é muito útil para a detecção de pontos quentes nas redes elétricas, como por exemplo, contatos e conexões ruins e pontos de oxidação os quais provocam o aquecimento dos condutores e conectores.

Analisando uma amostra de ocorrências de interrupções de consumidores relacionadas a ponto quente na região de Itabuna, localizada no Sul da Bahia, verifica-se que do ano 2011 para o ano 2012 houve uma redução de 65,01% no número de ocorrências dessa natureza, diminuindo o número de consumidores interrompidos, o número de compensações pagas além de melhorar a percepção do consumidor a respeito da qualidade e continuidade do fornecimento de energia elétrica.

Foram analisadas 401 ocorrências entre Janeiro de 2012 a Novembro de 2012 que provocaram interrupção do fornecimento, avaliando-se somente as abrangências Subestação, Alimentador e Chave visto que são os que impactam mais devido a possuírem grandes blocos de carga e verificou-se que a maior abrangência das ocorrências relacionadas a ponto quente está em pontos quentes a montante das chaves fusíveis ou seccionadoras, conforme figura 4.14:

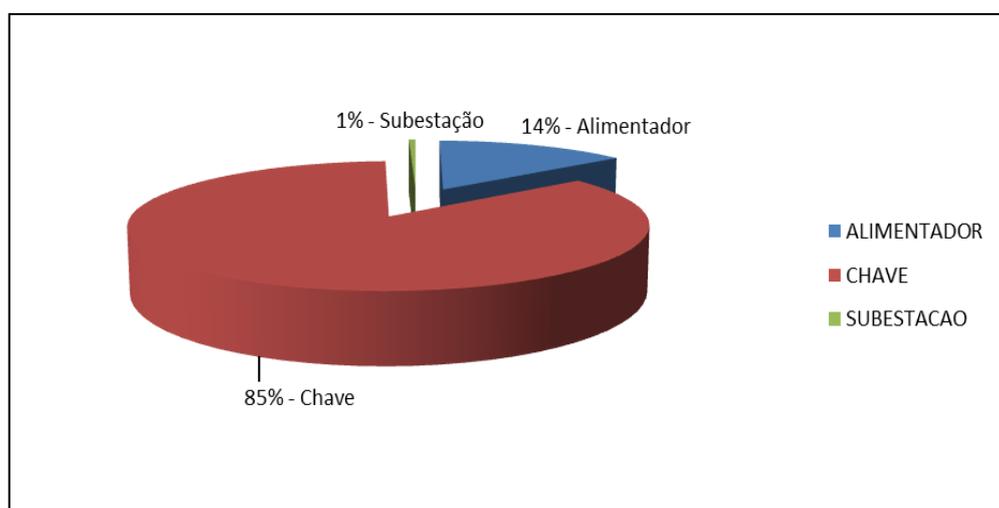


Figura 4.14. Fonte: Adaptado GSE, 2012. Principais abrangências das ocorrências relacionadas a ponto quente da Região Sul da Bahia. Período: Janeiro 2012 a Novembro 2012

Os dados obtidos do sistema GSE demonstraram que de janeiro a Dezembro do ano de 2012, 85% das ocorrências relacionadas a ponto quente interromperam Chaves, 14% interromperam alimentadores e 1% interromperam Subestações.

Percebe-se que a interrupção do componente Chave tem um valor significativo quando comparado com os outros componentes. O valor de 85% se deve a característica dos circuitos de distribuição de energia visto que existem muito mais ramificações dos alimentadores que são protegidas pelas chaves do que alimentadores (redes tronco) ou Subestações.

4.1 Análise dos principais tipos de ocorrências relacionadas a ponto quente na cidade de Itabuna-Bahia

Tomando como uma amostra da Cidade de Itabuna, cerca de 200.000 consumidores de energia, para serem avaliadas as quantidades de ocorrências relacionadas a ponto quentes verificadas mês a mês no ano de 2011, constatou-se o seguinte resultado:

Foram analisadas 218 ocorrências de Janeiro de 2011 a Novembro de 2011 encontrando os seguintes resultados estratificados por mês, conforme figura 4.15.

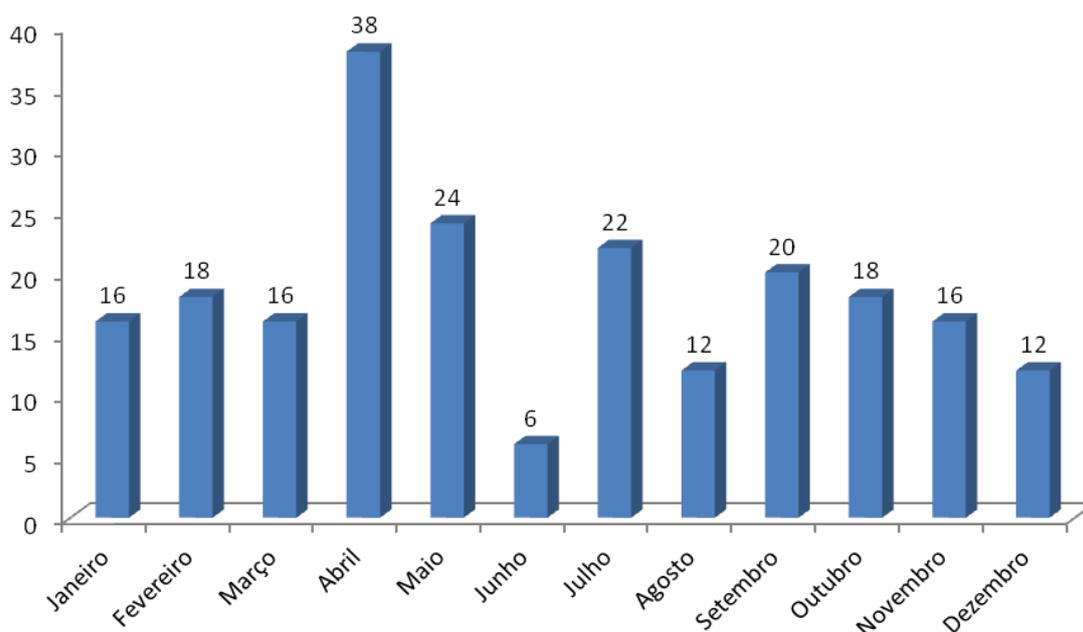


Figura 4.15. Adaptado do GSE, 2012 - Quantitativo das ocorrências relacionadas a ponto quente da Região Sul da Bahia. Período: Janeiro 2011 a Novembro 2011

Verificamos por meio da figura 4.16 que ao se comparar a quantidade de ocorrências relacionadas a ponto quente na região de Itabuna com o mesmo período para o ano de 2012 temos:

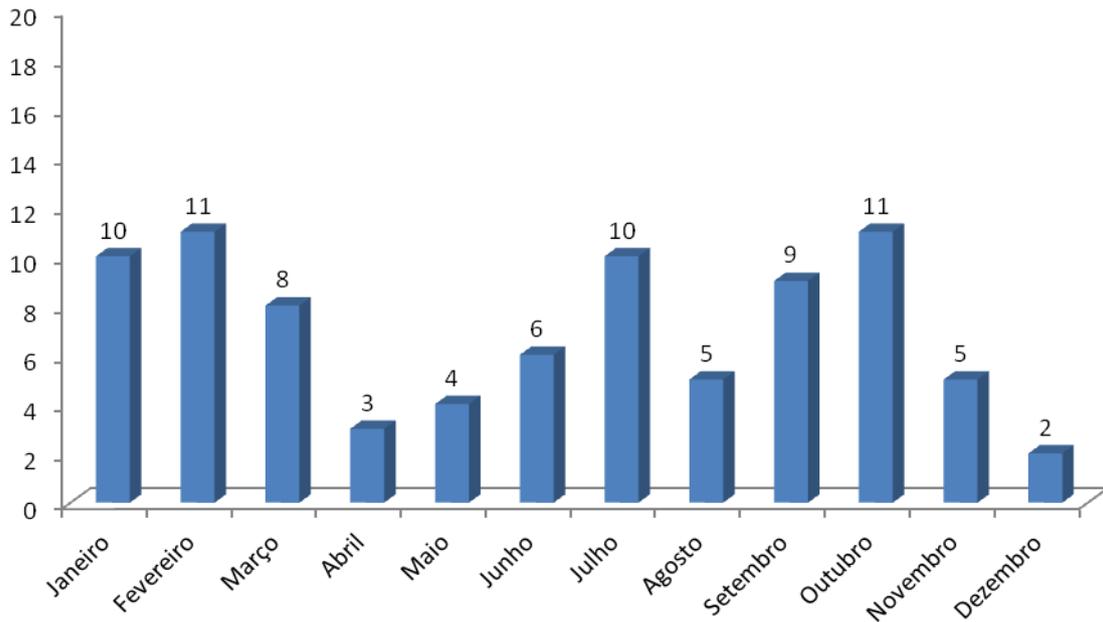


Figura 4.16. Fonte: Adaptado do GSE, 2012. Quantitativo das ocorrências relacionadas a ponto quente da Região Sul da Bahia. Período: Janeiro 2012 a Novembro 2012

Comparando mês a mês, observa-se uma sensível redução no número de ocorrências relacionadas a ponto quente entre os anos de 2011 e 2012 conforme figura 4.17:

Comparação mês a mês do número de ocorrências relacionadas a ponto quente no Município de Itabuna entre os anos de 2011 e 2012

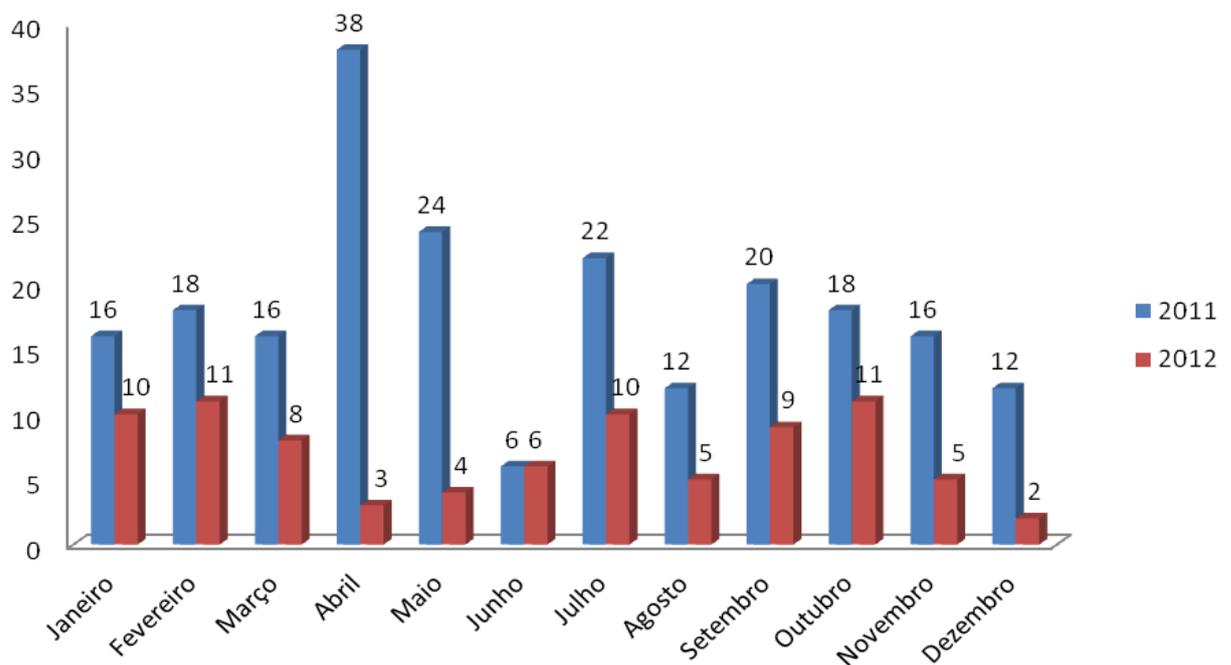


Figura 4.17. Fonte: Adaptado do GSE, 2012. Comparativo das ocorrências relacionadas a ponto quente da Região Sul da Bahia entre os anos de 2011 e 2012. Período: Janeiro 2011 a Novembro 2012

Em termos globais, observamos uma redução no valor de 218 ocorrências relacionadas a ponto quente para o ano de 2011 contra um valor de 84 ocorrências relacionadas a ponto quente para o ano de 2012. O que representa uma redução de 65,01% no número de ocorrências relacionadas a ponto quente na região Sul da Bahia.

Analisando a quantidade de consumidores interrompidos por ocorrências relacionadas a ponto quente período Janeiro 2011 a Dezembro 2011 pode-se verificar os seguintes resultados, conforme figura 4.18:

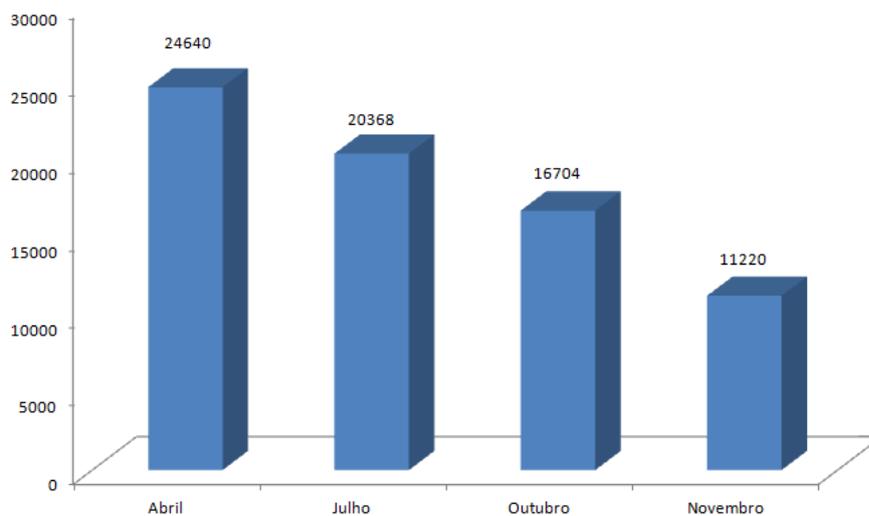


Figura 4.18. Fonte: Adaptado do GSE, 2012. Quantitativo do número de consumidores interrompidos por ocorrências relacionadas a ponto quente da Região Sul da Bahia. Período: Janeiro 2011 a Novembro 2011

Ao se comparar os dados com mesmo período em 2012, obtiveram-se os seguintes resultados, conforme figura 4.19:

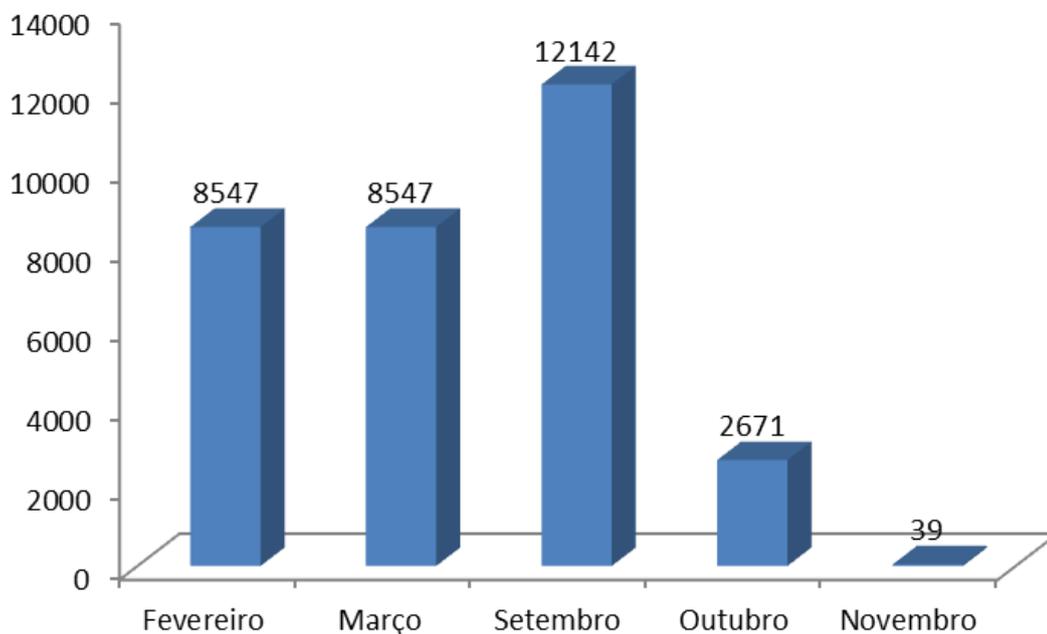


Figura 4.19. Fonte: Adaptado do GSE, 2012. Quantitativo do número de consumidores interrompidos por ocorrências relacionadas a ponto quente da Região Sul da Bahia. Período: Janeiro 2012 a Novembro 2012

Tanto na figura 4.18 quanto na figura 4.19, os meses não coincidem devido ao fato dos alimentadores que foram interrompidos no ano de 2011, em determinado

mês não coincidirem com os alimentadores que foram interrompidos no ano de 2012 no mesmo mês.

Observa-se para o item quantidade de consumidores interrompidos devido ocorrências relacionadas a ponto quente uma redução no quantitativo de consumidores interrompidos, de 72.932 no ano de 2011 para 31.946 consumidores interrompidos no ano de 2012. O que representa uma redução de 56,2% no número de consumidores interrompidos por ocorrências relacionadas a ponto quente na região Sul da Bahia.

Observa-se uma grande diminuição no número de ocorrências relacionadas a ponto quente, bem como no número de consumidores interrompidos de 2011 para 2012.

Essa melhora se deve ao programa de manutenção preditiva utilizando termovisor para inspeção em redes de distribuição de energia implantada no início de 2012, na região Sul da Bahia que tem como finalidade reduzir sensivelmente ocorrências relacionadas a ponto quente realizando inspeções termográficas periódicas em alimentadores mais sujeitos a esse tipo de incidência.

Com a finalidade de melhorar esse processo, foi criado na plataforma ACESS, um software para controle e arquivamento das termovisões realizadas podendo assim o usuário gerar relatórios, controlar as termovisões ainda não realizadas por prioridade e servir como fonte de dados estatísticos para posterior consulta. Observa-se nas figuras 4.20, 4.21 e 4.22, módulos deste software de gerenciamento das termovisões.

Entradas de Dados de Inspeção Termográfica

Entrada de dados de Inspeções

Dados do Relatório de análise

Chave: Cadastro:

Tipo: S.E.: Alim.:

Rua:

Bairro:

Pt.Ref.:

Cliente: Nome_Imagem:

Operador: Emissividade:

Modelo_Camera: Temperatura Refletida:

Data_Imagem: Distância:

Hora_Imagem: Cod_Chave:

Providências para solução:

Foto1: Foto2:

Equipamento/Componentes:

- Barramentos**
 - Conexões e Condutores: 0,00
- Chave Seccionadora**
 - Conexões: 0,00
 - Lâminas: 0,00
 - Cordalhas: 0,00
- Trafo de Força**
 - Conexão das Buchas: 0,00
 - Corpo das Buchas: 0,00
 - Disp. do "TAP" capacitivo: 0,00
 - Radiadores: 0,00
 - Panel de Fiações: 0,00
 - Moto Ventilador: 0,00
 - Tanques: 0,00
- Transformador de Instrumentos**
 - Conexões do primário: 0,00
 - Cabeçote: 0,00
 - No Tanque (base): 0,00
- Pára-raios**
 - Coluna isolante: 0,00
- Cabo mufla**
 - Conexões dos terminais: 0,00
 - Corpo dos terminais: 0,00
 - Cabos mufla: 0,00
- Capacitores**
 - Conexões terminais: 0,00
 - Tanque do Capacitor: 0,00
- Disj., Relig. e Chaves Banco de Capacitores**
 - Conexão das Buchas: 0,00
 - Corpo das Buchas: 0,00
 - Porcelanas (PVO e SF6): 0,00
 - Tanques (GVO): 0,00

Figura 4.20 Módulo cadastro

Consulta dados de Inspeção

Consulta dados de Inspeção

Pesquisar Chave:

Dados da Inspeção:

Cod. da Chave:

Cliente: COELBA

Operador: CLEIDINALDO

Modelo da Camera: ZOMM 200-0

Data da Imagem: 17/11/2012

Hora da Imagem: 10:24:36

Nome da Imagem: TESTE 1

Emissividade: 5,75

Distância: 20,00

Temperatura refletida: 21,00

Providências:

bater estribo e GLV na reirvação da faz Boa Esperança do st Vicente e limpar o pé do poste na chave da derivação A66535.

Descrição: 13 (modificado 95) foco no 82

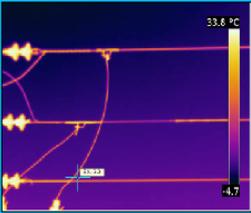
Foto1: 

Foto2: 

Criado em: 15/5/2012

Modificado em: #####

Inspeção Realizada/Concluída

Data_Conclusão: 13/12/2012

Equipamento/Componentes:

- Barramentos**
 - Conexões e Condutores: 1,00
- Chave Seccionadora**
 - Conexões: 2,00
 - Lâminas: 3,00
 - Cordalhas: 4,00
- Trafo de Força**
 - Conexão das Buchas: 5,00
 - Corpo das Buchas: 6,00
 - Disp. do "TAP" capacitivo: 7,00
 - Radiadores: 8,00
 - Panel de Fiações: 9,00
 - Moto Ventilador: 10,00
 - Tanques: 11,00
- Transformador de Instrumentos**
 - Conexões do primário: 12,00
 - Cabeçote: 13,00
 - No Tanque (base): 14,00
- Pára-raios**
 - Coluna isolante: 15,00
- Cabo mufla**
 - Conexões dos terminais: 16,00
 - Corpo dos terminais: 17,00
 - Cabos mufla: 18,00
- Capacitores**
 - Conexões terminais: 19,00
 - Tanque do Capacitor: 20,00
- Disj., Relig. e Chaves Banco de Capacitores**
 - Conexão das Buchas: 21,00
 - Corpo das Buchas: 22,00
 - Porcelanas (PVO e SF6): 23,00
 - Tanques (GVO): 24,00

Figura 4.21 Módulo Consulta

002-Alerta

Pendentes de Manutenção

Sub	Alim	Cod_Chave	Qtd_CONS	Hospitais	Aparelho_Vida	Cliente_Esp	Tempo/Dias	Fator de Risco
ITD	09Y2	A93600	19.718	1	1	1		1.971.951
CMC	01P5	A91133	6.089	1	2	4		609.301
CMC	01P5	A91133	6.089	1	2	4	213	609.301
MDN	01C3	A04660	4.781				213	478.100
MDN	01C3	A06282	4.781				213	478.100
BTN	01F1	A66303	839				213	83.900

Sub: Alim: Chave:

Figura 4.22 Tela de avisos

Foi desenvolvido neste programa um item chamado Fator de Risco. Este item tem a finalidade de ajudar o usuário na prioridade que deve ser dado na manutenção dos alimentadores. O Software leva em consideração a quantidade de consumidores existentes no alimentador, mas leva em consideração também os clientes especiais, como hospitais, clientes com Unidade de Tratamento Intensivo Domiciliar e Indústrias. Para estes clientes especiais foi criado um fator multiplicador.

Por exemplo: foram realizadas inspeções termográficas em dois alimentadores. Um alimentador possui 1.000 (Mil) clientes e nenhum consumidor especial. O outro alimentador possui 500 (Quinhentos) clientes, no entanto, dentre esses clientes, existem 2 (dois) hospitais. O usuário define qual o Fator Multiplicador para cada tipo de cliente especial. Neste caso específico, será considerado que o Fator Multiplicador para o hospital é igual a 100 (cem), ou seja, para o segundo caso, o software multiplicará a quantidade de consumidores pela quantidade de hospitais existentes no alimentador e o resultado multiplicará pelo fator multiplicador, neste caso, considerado 100 (cem). Ou seja:

Fator de Risco = Quant. de consumidores x Quant. de hospitais x Fator Multiplicador

Fator de Risco = 500 x 2 x 100

Fator de Risco = 100.000

Para o primeiro caso, no qual o alimentador possui 1.000 (Mil) clientes o fator multiplicador é igual a 1 (um). Ou seja, o Fator de Risco é igual ao número de consumidores.

Desta forma, o software definirá como prioridade o alimentador que possui 500 (clientes), um número menor que o primeiro caso, mas que possui 2 (dois) hospitais.

O Fator de Risco foi criado para que os alimentadores definidos como prioritários para serem programadas as manutenções não considerem apenas o quantitativo de consumidores, mas também levem em consideração os alimentadores, que apesar de não possuírem um elevado número de consumidores, possuem clientes prioritários.

Esse software foi visto como uma oportunidade de melhoria no processo e ajudará o técnico a controlar e criar um plano de manutenção preditiva otimizando assim esse processo na empresa.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Após implantação do termovisor como ferramenta de manutenção preditiva, comprovaram-se através dos resultados obtidos, significativas reduções no número de ocorrências bem como redução dos indicadores operacionais, regulados pela ANEEL da Concessionária Coelba no Sul da Bahia, especificamente na cidade de Itabuna e cidades circunvizinhas, comparando resultados entre os anos 2011 e 2012.

A manutenção preditiva utilizando termovisor é uma técnica não destrutiva que aumenta a confiabilidade do sistema elétrico, melhora a qualidade da energia para os consumidores, reduz sensivelmente os custos de manutenção, aumenta a vida útil dos equipamentos, das instalações, cria uma expectativa real de melhora no tempo de vida útil das conexões da rede elétrica e dos componentes conectados ao sistema elétrico, além de aumentar a segurança dos processos.

As termografias nas redes de distribuição realizadas neste trabalho que constataram pontos quentes nas conexões ou componentes isolantes possibilitaram identificar rapidamente falhas no sistema elétrico, que fatalmente provocariam grandes interrupções, tiveram uma intervenção rápida, segura e programada pela equipe de manutenção, evitando assim grandes prejuízos para Concessionária e consumidores interligados ao Sistema Elétrico.

Os resultados obtidos com o equipamento termovisor se mostraram bastante satisfatórios, pois demonstraram uma redução de 65,01% para 56,2% no número de ocorrências relacionadas a ponto quente. Em todas as situações avaliadas, o equipamento detectou com precisão pontos quentes, comprovados após substituição que os equipamentos retirados apresentavam ou apresentariam falhas que causariam interrupção do Sistema Elétrico, o que provocaria grandes prejuízos para a Concessionária e para os consumidores.

Durante o desenvolvimento e pesquisas realizadas neste Trabalho de Conclusão de Curso, mesmo tendo-se atingido os objetivos do mesmo, constatou-se que ainda existem vários temas a serem estudados e aprofundados. Com isso, sugerem-se alguns pontos que poderão ser pesquisados de forma mais específica a fim de otimizar as inspeções em redes de distribuição como: estudos relacionados a criar compostos para redução da resistência de contato nas conexões elétricas; estudos para criação de algoritmo associado ao Software em ACESS que possibilite pela intensidade da cor da imagem, sugerir automaticamente os pontos mais críticos na imagem térmica; criação de uma interface que possibilite ao usuário através do próprio Software em ACESS, transferir as imagens do equipamento termovisor diretamente para o programa sem ter que utilizar o que vêm do fabricante.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARONSTEIN, J., "Evaluation of a Plated Aluminum Wire for Branch Circuit Applications", Electrical Contacts, 1987.

BARRETO, J. T.; Carvalho, S. G.; de Oliveira M. J; de Martins H. J. A; da Silva A. N. Diagnóstico de Campo da Condição Operativa de Subestações de 138 kV através da Termovisão. Seminário de Sistemas de Transmissão e Distribuição de Energia Elétrica – ABRAMAN, Belo Horizonte, Jun., 2006.

BRAUNOVIC, M., "Evaluation of Different Platings for Aluminum-to-Copper Connections", IEEE Transactions on Components, Hybrids and Manufacturing Technology, vol.15, 1992

BRAUNOVIC, M., "Evaluation of Different Types of Contact Aid Compounds for Aluminum-Aluminum Connectors and Conductors", IEEE Transactions CHMT, 1985.

CLAYTON, R. Paul. Electromagnetics for Engineers with Applications to Digital Systems.

Durrani, T.S.; Rauf, A.; Boyle, K.; Lotti, F. Reconstruction techniques for the inspection of composite materials using thermal images. International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing, New York, v.2,1988.

Dutta, P.K. ; Duttagupta, P.B. Novel signal processing techniques for fault detection and location in HV sub transmission and transmission lines, IEEE 2nd International Conference on Advances in Power System Control, Operation and Management (APSCOM -93), Hong Kong (China), 1993.

Física Legal. Estudo de perdas de Energia através das paredes. Disponível em: <http://legalfisica.blogspot.com.br/>. Acessado em: 12 de novembro de 2012.

Flir Systems. **The World Leader in Thermal Imaging.** Disponível em: <http://www.flir.com/br/>. Acessado em: 05 de dezembro de 2012.

Fluke. Catálogo de Produtos. Disponível em: <http://e.fluke.com/forms/MULTI-PPC-WBF-AMPAC-BRPT-JUN-12>. Acessado em: 19 de outubro de 2012.

Frato Termografia. Termografia Industrial. Disponível em: <http://fratotermografia.listasa.com.br/termografia-industrial/>. Acessado em: 02 de novembro de 2012.

Grupo Intelli. Indústria de terminais elétricos, catálogo de produtos fornecidos. Disponível em: <http://www.intelli.com.br/produto>. Acessado em: 15 de nov. 2011.

HARE, T. K., "Investigation of Nickel Plated Aluminum Wire Using Analytical Electron Microscope", Electrical Contacts, p. 113, 1987.

Incesa. Componentes elétricos, catálogo de conectores. Disponível em: <http://www.incesa.com.br/incesa/>. Acessado em: 01 de nov. 2012 às 10h00min.

Ishino, R. Detection of a faulty power distribution apparatus by using thermal images. IEEE Power Engineering Society Winter Meeting, New York, v. 2, p. 1332-1337, 27 – 31 Jan., 2002. 58

Kowalski, E.L; Machado, R.P; Fernadez, Mariana; Borges, Ademar. Sistema de inspeção instrumental para detecção de falhas em isoladores nas linhas de distribuição, Projeto 2866-032, 2006.

Kreith, Frank. "Princípios da transmissão de calor"" São Paulo: Editora Edgard Blucher Ltda, 1977

Instrutec. Manutenção e Automação Industrial. Disponível em: <http://instrutec.ind.br/produtos/Detalhes.asp?op=17>. Acessado em: 01 de dezembro de 2012.

L. Jermendy; S. Simon. Insulation Diagnostic Methods. IEEE Power Delivery v.2 p.81-85, 1998.

Loftness, Marv. AC Power Interference Handbook. 2nd Edition, Tumwater, Percival Technology, 2003.

Muhlen, Sérgio Santos. Interferência e Compatibilidade Eletromagnética. Alemanha 2002.

Nepomuceno, Lauro Xavier. Técnicas de Manutenção Preditiva Vol 1, 1989.

Niancang, H. The infrared thermography diagnostic technique of high-voltage electrical equipments with internal faults. International Conference on Power System Technology (POWERCON), Beijing (China), v.1, p.110-115, 18 - 21 Ago., 1998.

Ozisik, M. Necati. "Transferência de calor- um texto básico", Rio de Janeiro: Editora Guanabara Koogan S. A. 1990

Shihab, S.; Wong, K.L. Detection of faulty components on power lines using radio frequency signatures and signal processing techniques. IEEE Power Engineering Society Winter Meeting, Cingapura, v.4, p.2449-2452, 23-27 Jan., 2000.

PCE Instruments. Catálogo de produtos. Disponível em: <http://www.pce-medidores.com.pt/fichas-dados/camara-termografica-pce-tc3.htm>. Acessado em: 13 de dezembro de 2012.

TE Connectivity. Conectores e componentes elétricos, catálogo de conectores. Disponível em: <http://www.incesa.com.br/incesa/>. Acessado em: 05 de dez. 2012 às 20h00min.

UFSC – Universidade Federal de Santa Catarina. Espectro Eletromagnético: Lâmpadas incandescentes como funcionam? Disponível em: HTTP://www.ced.ufsc.br/men5185/trabalhos/63_lampadas/incand/funcciona03.htm.

Acessado em: 25 de janeiro de 2012 às 22h25min.