

A Relevância da Termografia e seus Impactos na Indústria

Dimas Antônio Ramalho

Estudante de Engenharia Elétrica, Jaboatão dos Guararapes, Brasil, dimas.ramalho@hotmail.com

Italo Lima dos Santos

Estudante de Engenharia Elétrica, Jaboatão dos Guararapes, Brasil, italo5252@hotmail.com

Solon Maia Vieira

Estudante de Engenharia Elétrica, Jaboatão dos Guararapes, Brasil, solonmaivieira@gmail.com

RESUMO: A aplicação da inspeção termográfica para manutenção preditiva de painéis elétricos, tem como base utilizar um equipamento termovisor para detectar pontos quentes em sistemas elétricos, a fim de reduzir o número de manutenções corretivas emergenciais. São apresentados os principais componentes que compõem um painel elétrico, os critérios de classificação de anomalias térmicas, além de um estudo sobre como especificar uma câmeratermográfica e aplicação de técnicas de planejamento. A análise da termografia de componentes elétricos em indústrias e edificações tem como principal finalidade garantir uma maior confiabilidade na vida útil dos equipamentos, bem como cobrir sua integridade aderindo uma maior segurança aos colaboradores. Os fundamentos por trás desse estudo têm como justificativa o modo como a termografia exibe-se de forma eficaz na detecção de indícios de anomalias/desvios na alteração de temperatura normal de operação dos componentes elétricos. Contudo, o manuseio desta ferramenta sem um conhecimento prévio de seus conceitos e limitações pode acarretar em interpretações indesejadas e, conseqüentemente, desligamentos desnecessários dos equipamentos e instalações.

PALAVRAS-CHAVE: Análise termográfica, Manutenção Preditiva, Termografia.

ABSTRACT: The application of thermographic inspection for predictive maintenance of electrical panels is based on using thermal imager equipment to detect hot spots in electrical systems, in order to reduce the number of emergency corrective maintenance. The main components that make up an electrical panel are presented, the criteria for classifying thermal anomalies, as well as a study on how to specify a thermographic camera and application of planning techniques. The thermography analysis of electrical components in industries and buildings has the main purpose of ensuring greater reliability in the useful life of equipment, as well as covering its integrity by adhering to greater safety for employees. The grounds behind this study are justified by the way in which thermography displays itself effectively in detecting signs of anomalies/deviations in the change in the normal operating temperature of electrical components. However, handling this tool without prior knowledge of its concepts and limitations can lead to unwanted interpretations and, consequently, unnecessary shutdowns of equipment and installations.

KEYWORDS: Thermographic analysis, Predictive Maintenance, Thermography.

1 Introdução

A melhoria do gerenciamento da confiabilidade dos equipamentos que cada empresa possui, traz ganhos significativos de segurança, produtividade, qualidade e custo. A manutenção é fator essencial dentro desse processo de gerenciar a confiabilidade dos equipamentos. (XENOS, 2014).

A manutenção preditiva fundamenta-se em uma série de medidas periódicas de acompanhamento de equipamentos e máquinas com o intuito de diminuir possíveis danos que esses dispositivos possam apresentar (Nemésio Souza 2017). A manutenção preditiva é o conjunto de atividades que gera mais credibilidade ao maquinário, acarretando em economia relacionada com manutenção. A ideia principal para esse tipo de manutenção é planejar intervenções nas máquinas a partir de parâmetros dos próprios equipamentos. Esses dados são proporcionados por programas de inspeções e monitoramento de desempenho (KARDEC e NASCIF, 2013). Parte importante desse processo de preservação é a análise termográfica.

Segundo (VIANA, 2002), “termografia é a técnica de ensaio não destrutivo que permite o sensoramento remoto de pontos ou superfícies aquecidas por meio da radiação infravermelha.” Em outras palavras, a utilização desta técnica possibilita identificar previamente condições inadequadas de operação ou indicativos de falhas graves, que podem resultar na destruição parcial ou total das máquinas e, em uma hipótese de um cenário mais extremo, provocar a paralisação da operação comercial.

De acordo com Fraga (2009), termografia é uma técnica que possibilita a medição remota de temperatura, através da formação de termogramas (imagens térmicas) de equipamentos, máquinas, componentes e até processos produtivos. Essas informações podem ser retiradas de qualquer corpo ou material que emita radiação infravermelha, pois essa é a maneira que o termovisor realiza a sua medição.

A análise termográfica vem sendo bastante utilizada na indústria como parte das ações de manutenção preditiva, permitindo que sejam observadas características de operação do equipamento, mostrando de forma clara e simples as condições de peças, circuitos, motores e quadros de energias, sendo esta última aplicação uma das mais utilizadas, pois a termografia se mostra eficiente na identificação de alguns componentes defeituosos. Anormalidades térmicas normalmente antecede falhas em equipamentos elétricos, transformando a medição de temperatura uma das principais ferramentas de diagnóstico e análise (MEDEIROS, 2012).

Nesse contexto, o estudo propõe a análise da termografia para a realização de manutenção preditiva. Os objetivos do trabalho pautam-se em detectar possíveis pontos de falha utilizando uma câmera termográfica, elaborar um relatório com os pontos avaliados e classificar o grau de intervenção para colaborar com o planejamento de manutenção do local. Dessa forma, será possível evitar paradas emergenciais ou até mesmo interrupções indesejadas, além de garantir a segurança dos usuários.

2 Referencial Teórico

2.1 Manutenção

Os Equipamentos instalados dentro de uma planta industrial, sejam mecânicos ou elétricos, são projetados para uma grande durabilidade, segurança, precisão, economia e produtividade. Contudo, para que ele cumpra seu papel e realize o trabalho garantido pelo fabricante: necessita-se de capacitação para quem vai operá-lo, de modo a extrair o máximo do desempenho a que ele se propõe; manutenção de qualidade, realizadas periodicamente ou conforme necessidade, sempre respeitando o manual de manutenção do fabricante (KARDEC e NASCIF, 2009).

Ao longo do tempo, portanto, e acompanhando a evolução da humanidade, a manutenção foi ganhando força e importância no mundo todo. Nos últimos anos passou por importantes mudanças, abordando novas técnicas e estratégias que melhor pudessem chegar a um resultado satisfatório, aumentando as exigências, diante da competitividade (KARDEC e NASCIF, 2009).

Conforme (RODRIGUES, 2009), a manutenção está diretamente relacionada com a qualidade, produtividade e competitividade de uma empresa, tendo como uma de suas premissas a conservação dos equipamentos e máquinas em condições satisfatórias de operação. As práticas de manutenção, portanto, é fundamental para a produtividade das empresas e qualidade dos produtos. Dessa forma, para que seja possível a concretização eficaz dos objetivos propostos pela manutenção, é necessária a utilização de uma série de estratégias e ferramentas definidas nas políticas de manutenção.

Atualmente, há de se considerar que toda evolução tecnológica dos equipamentos, processos e técnicas de manutenção, a necessidade de controles cada vez mais eficientes e de ferramentas de apoio à decisão, o desenvolvimento de estudos relativos ao desgaste e controle das falhas e suas consequências, a dependência de equipes treinadas e motivadas para enfrentar estes desafios, e o desenvolvimento de novas técnicas, transformaram a gestão da manutenção em um segmento estratégico para o sucesso industrial (ALMEIDA; ROCCA, 2018).

A NBR 5462/94 define três tipos de manutenções, que são: Corretiva, Preventiva e Preditiva. Assim, a empresa define o tipo de estratégia de manutenção conforme as prioridades que assegurem a disponibilidade e confiabilidade dos ativos (ABNT, 1994).

2.1.1 Manutenção Preditiva

A NBR 5462 (1994, p.7), em seu item 2.8.9, define Manutenção preditiva como: Manutenção que permite garantir uma qualidade de serviço desejada, com base na aplicação sistemática de técnicas de análise, utilizando-se de meios de supervisão centralizados ou de amostragem, para reduzir ao mínimo a manutenção preventiva e diminuir a manutenção corretiva.

A manutenção preditiva é também conhecida como manutenção sob condição ou manutenção com base no estado do equipamento. É baseada na tentativa de definir o estado futuro de um equipamento ou sistema, por meio de dados coletados ao longo do tempo por uma instrumentação

específica, verificando e analisando a tendência de variáveis do equipamento. Esses dados coletados, por meio de medições em campo como temperatura, vibração, análise físico-química de óleos, ultrassom e termografia, permitem um diagnóstico preciso (KARDEC e NASCIF, 2013).

Este método está associado às práticas de manutenção com caráter preventivo e antecipado de todo o aparato físico utilizado nas operações. Na prática, este procedimento tem um maior apelo para a prevenção de danos e previsibilidade de falhas. O foco desta técnica dedica-se em acompanhamentos através de inspeções /medições realizadas periodicamente com o equipamento em funcionamento (KARDEC e NASCIF, 2013).

A manutenção preditiva baseia-se em um conjunto de medidas de acompanhamento periódico de equipamentos e máquinas, com o intuito de diminuir possíveis danos que esses dispositivos possam apresentar. Dentro de um âmbito industrial, onde há uma intensa demanda por consumo de produtos e serviços, táticas que garantam a proteção do maquinário torna-se indispensável. O impacto causado por este método contribui diretamente para a eficiência operacional do chão de fábrica, reduzindo custos, erros e atrasos no fluxo produtivo, por permitir a identificação da falha em estado inicial (XENOS, 2014).

Dentro da termografia, esse tipo de manutenção é extremamente importante, uma vez que determina com antecedência a necessidade de realizar algum tipo de manutenção nos componentes do equipamento, tornando muito mais fácil a eliminação do problema sem a necessidade de desmontagem. Além disso, a manutenção preditiva termográfica é muito mais econômica, aumenta a vida útil e a disponibilidade do equipamento, minimiza o número de falhas e aumenta a produtividade do equipamento (MEDEIROS, 2012).

2.1.2 Manutenção Preventiva

A NBR 5462 (1994, p.7) define Manutenção preventiva como: Manutenção efetuada em intervalos predeterminados, ou de acordo com critérios prescritos, destinada a reduzir a probabilidade de falha ou a degradação do funcionamento de um item.

Pode caracterizar manutenção preventiva todas as ações de amparo, bem como atividades de prevenção de falhas, pane e quebras, realizada de forma antecipada, com a finalidade de evitar que os equipamentos falhem durante o processo de produção. É uma atividade de extrema importância para otimizar a vida útil de um equipamento, bem como garantir a sua utilização de forma eficiente, assegurando uma maior confiabilidade dos equipamentos (KARDEC e NASCIF, 2009).

Na manutenção preventiva, há a diminuição na frequência de falhas, aumento na disponibilidade dos equipamentos e diminuição das interrupções inesperadas da produção. Kardec e Nascif explicam que além de unicamente reparar o equipamento ou instalação, é preciso manter a função do equipamento disponível para a operação, evitar a falha e reduzir os

riscos de uma parada de produção não planejada. Nesse cenário, a manutenção preventiva permite um bom gerenciamento das atividades e maior previsibilidade. Contudo, devem ser observada através de um planejamento adequado e pautada em metodologias estratégicas, do contrário podem acarretar a ineficácia do método (KARDEC e NASCIF, 2009).

2.1.3 Manutenção corretiva

A manutenção corretiva compreende a forma mais antiga e utilizada, desde os primórdios da história da manutenção, embasada e desenvolvida para simples correção de uma falha. Molda em ações curativas, não planejadas ou de emergência, visando a restauração de um item a sua condição normal ou determinada (XENOS, 2014).

A NBR 5462 (1994, p.7), no item 2.8.8, define Manutenção corretiva como: Manutenção efetuada após a ocorrência de uma pane destinada a recolocar um item em condições de executar uma função requerida. Este tipo de prática é realizado com o objetivo de corrigir algo no equipamento, para que o mesmo possa cumprir com o papel dentro do processo de produção o qual ele foi designado em seu projeto. Essa metodologia pode ser empregada de duas maneiras: emergencial ou programada.

Sendo considerada a manutenção mais custosa, por vezes que, quem determina o momento qual será feita a manutenção é o equipamento, causando gastos e paradas não programadas. Apesar disso, muitas empresas ainda optam por agir somente após a falha do componente. Por essa razão, este método deve ser realizado de forma rápida e eficaz, seja reparando ou substituindo uma peça, para que a empresa retome as atividades no menor tempo possível (KARDEC e NASCIF, 2009).

2.2 Temperatura

De acordo com Halliday & Resnick (2016), assim como o mercúrio usado em termômetros, vários materiais têm suas propriedades, tais como volume ou condutividade elétrica, alteradas de maneira previsível conforme a variação da temperatura, o que torna mais tangível a medição de temperatura de forma mais precisa.

2.2.1 Medidas de Temperatura

De acordo com Halliday e Resnick (2016), estando inserida entre as grandezas fundamentais do Sistema Internacional de Unidades, a temperatura, mesmo não possuindo um teto superior, ainda assim possui um limite mínimo, conhecido como zero absoluto, o qual possui o valor zero na escala Kelvin (K), escala essa utilizada com mais frequência por cientistas. Mediante essa grandeza que é tomado como base para a calibração de termômetros, baseando-se não só apenas no zero absoluto, como também

no ponto triplo da água, momento o qual essa substância pode coexistir em equilíbrio térmico nos três estados da matéria devido a um valor específico de pressão e temperatura combinadas.

Outra escala usada para medir a temperatura, principalmente no Brasil, é a escala Celsius (°C) que é medida em graus e possui o mesmo valor numérico da escala Kelvin, no entanto, tomando a água como análise, o seu zero (0 °C) é o ponto de congelamento da água, podendo assim também assumir valores negativos ao contrário da escala Kelvin. Na escala Celsius, o ponto de ebulição da água é representado por 100 °C (HALLIDAY e RESNICK, 2016).

Ainda há a escala Fahrenheit (°F) conforme aponta Halliday e Resnick (2016). Embora também seja medida em graus, a escala Fahrenheit possui um grau que difere em valor da escala Celsius, sendo o 0 °C equivalente a 32 °F e os 100 °C iguais a 212°F. Tal escala é mais comumente usada nos Estados Unidos.

2.2.2 Fenômenos de transferência de energia por calor

De acordo com Çengel e Ghajar (2011), há três maneiras distintas pelos quais pode ocorrer a transferência de calor de um corpo a outro: Condução, Convecção e Radiação. Tais métodos necessitam de uma variação térmica entre os corpos para que possam vir a ocorrer e, em todos os casos, a transferência de calor sempre ocorre do corpo de maior temperatura para o de menor temperatura, tendendo sempre a um equilíbrio térmico, onde é finalizado o processo de troca de calor.

Existem dois mecanismos distintos de transferência de energia: Transferência de energia para a matéria; trabalho ou transferência de calor, sendo esta última metodologia a mais apropriada para o assunto de trabalho e, portanto, será descrita com mais detalhes. Quando a força motriz de um sistema é a diferença de temperatura entre seus componentes, a energia é transmitida por transferência de calor, mas se a diferença de temperatura não atuar como força motriz, então a transferência de energia é considerada apenas trabalho (ÇENGEL e GHAJAR, 2011). A relação entre energia, trabalho e calor pode ser expressa matematicamente pela primeira lei da termodinâmica:

$$dE_{int} = dQ - dW \quad (1)$$

Por conseguinte, a energia interna (E_{int}) do sistema pode ser modulada de tal forma que: será aumentada acrescentando energia em forma de calor (Q) ou diminuída removendo energia em forma de trabalho (W). Resumidamente, a variação líquida da energia total do sistema é decorrente da diferença entre a energia recebida em forma de calor e a energia dispensada em forma de trabalho. (ÇENGEL e GHAJAR, 2011).

A transferência de energia por condução ocorre pela interação direta entre as partículas de duas substâncias adjacentes. Uma vez que os elétrons de uma substância aquecida vibram com maior intensidade devido à temperatura a qual estão expostos, eles acabam por transferir sua energia através

de colisões, difusões ou vibrações para os átomos de uma substância mais fria com a qual estejam em contato, fazendo com que essa segunda substância se aqueça também (HALLIDAY & RESNICK, 2016).

O exemplo mais comum de transferência de calor por condução é uma panela sendo aquecida sobre a chapa de um fogão. A condução também ocorre quando uma pessoa tem uma sensação gelada ao tocar uma peça de metal num dia frio; nesse caso a energia passa do corpo da pessoa para o objeto de metal devido ao fato do corpo humano possuir uma temperatura maior que tal peça (HALLIDAY & RESNICK, 2016).

Já a transferência de calor de um sólido para um fluido (líquido ou gás) se chama Convecção, fazendo com que a porção do fluido em contato com o corpo quente se expanda, ficando menos denso e, conseqüentemente, mais leve que o resto do fluido que o cerca. Essa diferença de peso faz com que o fluido mais leve suba e o mais pesado desça para ocupar seu lugar num movimento que pode se repetir indefinidamente (HALLIDAY & RESNICK, 2016).

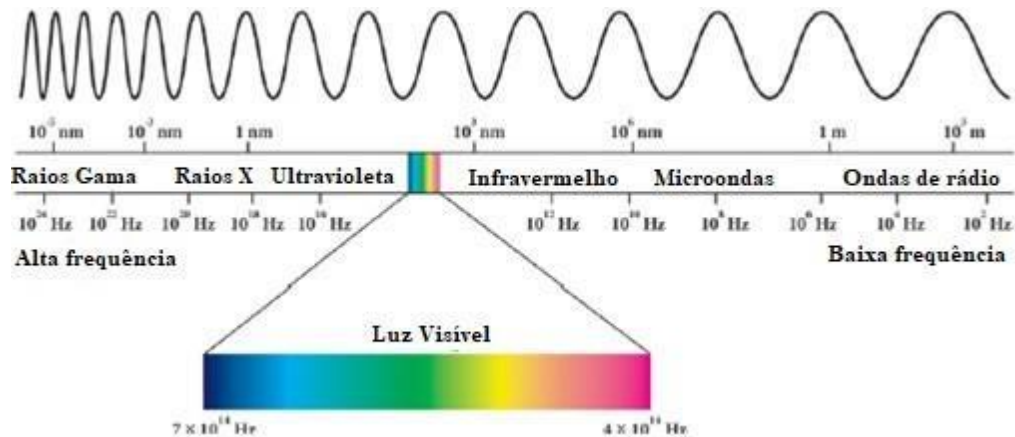
Por fim, a radiação é a energia emitida pela matéria em forma de ondas eletromagnéticas. Essas ondas são denominadas de radiação térmica para evitar que sejam confundidas com os sinais eletromagnéticos usados na telecomunicação ou com a radiação nuclear. A transferência de calor por radiação não necessita de um meio material para se propagar, podendo ocorrer até mesmo através do vácuo, sendo o modo mais rápido de propagação, uma vez que, no vácuo, as ondas eletromagnéticas viajam na velocidade da luz (ÇENGEL e GHAJAR, 2011).

2.2.3 Radiação Infravermelha

O espectro eletromagnético é tradicionalmente dividido em sete regiões conforme a frequência e comprimento de onda das ondas eletromagnéticas: ondas de rádio, micro-ondas, infravermelho, luz visível, ultravioleta, raios x e raios gama. Denominadas radiações óticas, estas são as faixas de emissão da radiação infravermelha, podendo ser transmitida através da luz visível e ultravioleta. Contudo, de acordo com Chrzanowski (2001), decorrente das temperaturas encontradas no planeta Terra, a radiação térmica emitida fica contida dentro da faixa do infravermelho, sendo popularmente conhecida como radiação infravermelha.

Segundo Çengel e Ghajar (2011), a luz visível, que varia do violeta ao vermelho, é a única porção do espectro eletromagnético que pode ser captada pela visão humana, conforme demonstra a Figura 1. Em outras palavras, a visão humana não é capaz de enxergar a radiação infravermelha a olhos nus, tomando necessário então o uso de instrumentos desenvolvidos especificamente com a finalidade de captar e mostrar essas ondas.

Figura 1 - Espectro Eletromagnético



Fonte: Adaptado de Dramicanin – Luminescence Thermometry (2018, p. 34).

2.3 Termografia

A termografia pode ser definida como uma técnica sensorial remota, realizada por meio de câmeras e sensores infravermelhos que medem a temperatura e a distribuição de calor. O objetivo desse processo é identificar possíveis falhas térmicas e desgastes em fase inicial. Através dessa tecnologia é possível detectar em estágio inicial, processos de falha gerados por anomalias térmicas em um determinado componente antes que ocorra interrupção de funcionamento dos equipamentos, podendo classificar e quantificar (SILVA, 2020).

Essa técnica identifica o problema precisamente no local afetado, sem que haja a necessidade de interromper os processos e sem desmontar equipamentos para inspeção. Os setores em que são aplicados esse tipo de análise são: instalações elétricas, equipamentos mecânicos, sistemas de refrigeração e aquecimento, infiltrações e isolamento térmico (SILVA, 2020).

A termografia é uma metodologia de inspeção que visa diagnosticar algum equipamento por meio da leitura da radiação infravermelha emitida pelos corpos de forma não invasiva e não destrutiva. A variação de temperatura em um corpo faz com que a agitação de suas moléculas emitam uma frequência de onda eletromagnética ainda maior ou menor, sendo possível fazer a diferenciação em pontos quentes. Regiões com temperaturas mais elevadas em equipamentos eletromecânicos podem ser detectadas com esta técnica de inspeção e dependendo do seu valor uma falha pode ser rapidamente apontada. Tornando-se altamente eficaz com um diagnóstico para análise rápido e prático, este método é amplamente utilizado em manutenções preventivas e preditivas no âmbito industrial (PELIZZARI et al., 2006).

Através de técnicas como a inspeção termográfica, é possível detectar anomalias, sempre visando conseguir informações da condição operacional do componente para atuar na prevenção de quebras da máquina. Como a termografia pode ser realizada com a máquina em operação, é classificada como inspeção não destrutiva (FRAGA, 2009).

Entre os diversos pontos positivos da termografia infravermelha, que a torna requisitada para as manutenções, podemos destacar: Segurança; Duas dimensões; Tempo real; Minimiza a necessidade de realizar a manutenção corretiva; Diminui o consumo de energia elétrica; Prolonga a vida útil do equipamento, garantindo a confiabilidade do processo operacional/produtivo (SANTOS, 2006).

No tocante a segurança, assegura proteção do usuário, mantendo o colaborador seguro sem a possibilidade de um possível acidente, assim como não afeta ou interfere o alvo, garantindo a operação do equipamento durante a realização da inspeção. Por se tratar de padrões térmicos, é de extrema importância que a análise de imagens seja feita por meio de comparação de dois ou mais pontos na mesma imagem, a fim de conseguir um diagnóstico possível para detectar a anomalia (FRAGA, 2009).

Essa técnica também possibilita concluir varreduras de pontos críticos de forma instantânea. Caso contrário, possivelmente algumas discrepâncias seriam descobertas tarde demais. O caráter de tempo real da termografia infravermelha permite capturar mudanças rápidas nos padrões térmicos, isso tudo sem alterar a forma com que esses padrões se modificam (FRAGA, 2009).

A inspeção termográfica está entre uma das técnicas de manutenção. Nesta, as máquinas são monitoradas periodicamente e as variações observadas na temperatura constituem parâmetros para prevenção de falhas e perdas na produtividade. As imagens térmicas se apresentam como uma valiosa ferramenta de diagnóstico de inspeção de equipamentos (MUNIZ e MENDES, 2019).

2.3.1 Análise Termográfica de Componentes Elétricos – Campos de Aplicação

A tecnologia infravermelha permite visualizar e medir temperatura de equipamentos ou produtos sem contato, mesmo que estejam movendo-se rapidamente ou energizados. A inspeção utilizando a câmera termográfica FLIR permite inspecionar os equipamentos de maneira segura, rápida e sem precisar desligar ou parar a linha de produção. As câmeras infravermelhas da FLIR revelam os problemas térmicos mais sutis, os quantificam com suas medidas precisas de temperatura e os documentam rapidamente com a emissão de relatórios profissionais que permitem análise posterior (MUNIZ e MENDES, 2019).

A Câmera Termográfica FLIR é um equipamento de última geração e envolve uma tecnologia avançada para capturar uma imagem precisa do local do aquecimento. Permite examinar o interior de máquinas e instalações e detectar falhas ou defeitos. A partir disso é possível determinar se o equipamento se encontra em situação normal e elaborar um relatório de análise. Atuam sem necessitar de desmontagem, além de serem capazes de ler a variação de temperatura de -20°C até 1500°C (MUNIZ e MENDES, 2019).

A inspeção termográfica em sistemas elétricos tem como finalidade identificar problemas causados por alterações térmicas devido ao efeito joule dos componentes, geralmente causada por deficiências de contato. É uma importante ferramenta de manutenção preditiva na detecção de problemas térmicos em componentes dos mais variados materiais, sendo uma técnica não invasiva, segura e com baixo custo (SOARES et al., 2018).

Figura 2 - Inspeção termográfica em sistemas elétricos



Fonte: Instrutemp (2017)

Na inspeção feita em equipamentos mecânicos, é possível mapear não conformidades causadas pelo atrito entre peças devido a uma deficiência por parte da lubrificação, desalinhamento de eixos pelo aquecimento nos dispositivos de acoplamento (SILVA, 2020).

Figura 3 - Inspeção termográfica em equipamentos mecânicos



Fonte: Instrutemp (2017)

Por fim, a termografia realizada em equipamentos estáticos, tais como motores, tem como principal objetivo identificar irregularidades em superfícies de regiões onde exista carência de isolamento térmica (SILVA, 2020).

Figura 4 - Inspeção termográfica em equipamentos estáticos (1)



Fonte: Instrutemp (2017)

Figura 5 - Inspeção termográfica em equipamentos estáticos (2)



Fonte: Instrutemp (2017)

As câmeras de inspeção compreende uma ferramenta fundamental no cotidiano dos processos. As medições de temperatura podem determinar se uma ascensão de temperatura significativa comprometerá a confiabilidade do componente (QUERINO, 2020).

2.3.2 Máxima temperatura Admissível (MTA)

A Máxima Temperatura Admissível (MTA) refere-se à temperatura mais alta que um determinado objeto, material ou sistema pode suportar sem sofrer danos ou falhas. É o limite máximo

de temperatura que é considerado seguro para o funcionamento adequado e a integridade do objeto em questão. A MTA pode variar dependendo do tipo de material, da aplicação e do contexto em que está sendo usado. Diferentes materiais têm diferentes pontos de fusão, propriedades térmicas e tolerâncias ao calor, o que afeta sua capacidade de resistir a altas temperaturas (TEIXEIRA, 2022).

É importante respeitar as máximas temperaturas admissíveis especificadas pelos fabricantes de equipamentos, componentes eletrônicos, materiais e produtos em geral. Ultrapassar esses limites pode resultar em deformações, falhas mecânicas, perda de funcionalidade, riscos de segurança ou até mesmo incêndios. Portanto, é essencial entender e observar as especificações técnicas e limites de temperatura recomendados para garantir a operação segura e adequada dos objetos e sistemas, evitando danos e garantindo uma vida útil adequada (TEIXEIRA, 2022).

Para a classificação da máxima temperatura admissível, o critério escolhido foi a norma Standard for Infrared Inspection of Electrical Systems & Rotating Equipment. Que descreve que a anomalia térmica pode ser classificada pelo estabelecido pelo fabricante em condições normais. (MTA); pela comparação com outro elemento similar analisando a variação de temperatura (Delta T); por um valor estabelecido com base no histórico de operação do equipamento. O Quadro 1 demonstra a classificação de anomalias de acordo com os critérios de Delta T, segundo a Standard for Infrared Inspection of Electrical Systems & Rotating Equipment.

Quadro 1 - Critério Delta T

Priority	Delta T	Recommended Action
4	10 to 25 C°	Component failure unlikely but corrective measure required at next scheduled routine maintenance period or as scheduling permits
3	25 to 40 C°	Component failure probable unless corrected
2	40 to 70 C°	Component failure almost certain unless corrected
1	70 C° and above	Component failure imminent. Stop survey. Inform cognizant officers

Fonte: Standard for Infrared Inspection of Electrical Systems & Rotating Equipment (2016)

O profissional deverá ter conhecimento da temperatura máxima sob a qual o componente inspecionado pode operar sem causar nenhuma discrepância à máquina ou ao processo em que está inserido. A norma NBR 15572:2013 cita que o termografista pode beneficiar-se de critérios próprios para diagnosticar a severidade da irregularidade térmica, podendo também adotar os parâmetros do fabricante como base.

3 Metodologia

Este trabalho consiste em um estudo de caso para as instalações elétricas, utilizando a termografia. Buscou-se verificar a presença de pontos fora do padrão da fábrica petroquímica. Os dados foram coletados e fornecidos por uma indústria Petroquímica. Os resultados visam apontar os principais

conceitos, vantagens e limitações da termografia aplicada às instalações elétricas inseridas dentro de indústrias e edificações; descrevendo o funcionamento da técnica termográfica nas instalações elétricas; e definindo os critérios da termografia nos componentes elétricos.

4 Resultados e Discussão

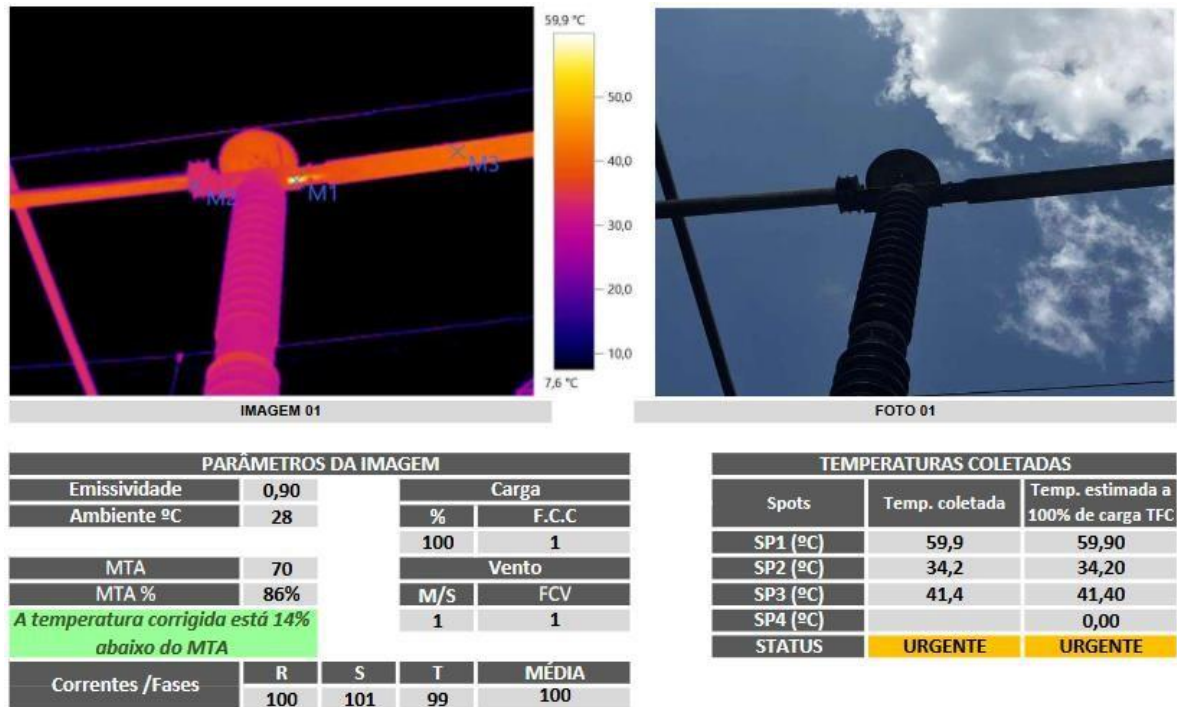
4.1 Caso 1

O estudo foi realizado pela equipe de Manutenção de uma indústria Petroquímica, instalada em Suape PE, como acompanhamento de rotina que visa manter sobre intensa observação os equipamentos das suas subestações para evitar paradas repentinas e ou não programadas, o que podem gerar um transtorno gigantesco, além de um prejuízo colossal. Buscou-se detectar um ponto quente em dos terminais da chave seccionador de transformador de uma subestação de 230 KV. Essa subestação trabalha em regime de substituição de transformadores uma vez por mês, para que evite assim o desgaste prematuro de um em relação ao outro, e para que se tenha o conhecimento de que todos os transformadores estão aptos a serem colocados em operação sem danos ao processo.

Como se trata de um equipamento que tem sua troca programada e envolve um procedimento especial, uma vez colocado em processo necessita de todo um trâmite para que seja realizada a troca novamente. Neste caso, após a substituição do mesmo, quando se deu o período de realização da termografia, identificou-se um ponto quente. Então foi acompanhado a evolução conforme as figuras e dados abaixo:

Em uma primeira análise, com temperatura corrigida 14% abaixo do MTA, identificou-se aquecimento no contato do fechamento de entrada da chave seccionadora CH-02 (FASE-R). Para isso, as ações recomendadas foram: Realizar limpeza e reaperto no contato da Chave. Na ocasião da manutenção, identificar se há a necessidade de substituição de algum componente como garra de pressão e etc. Até a realização da manutenção, recomendou-se monitorar a temperatura da chave para identificar uma possível alteração da temperatura, com fator de intervenção alto.

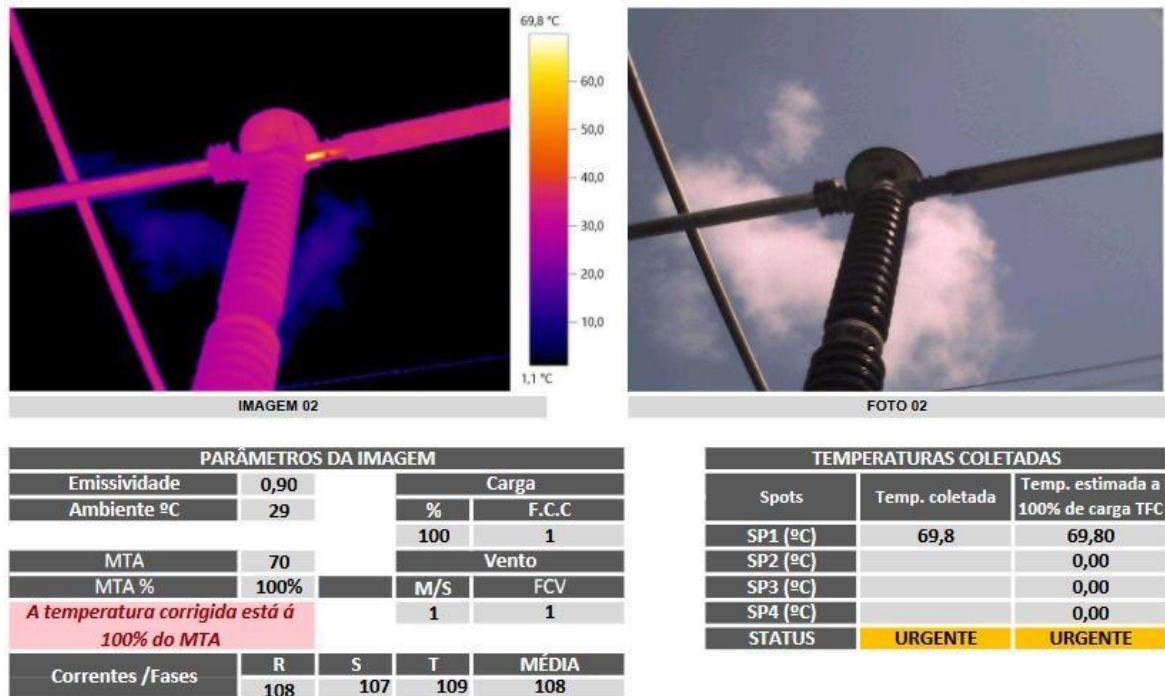
Figura 6 - Temperatura corrigida 14 % abaixo do MTA



Fonte: Autores, 2023

Em uma primeira análise, com temperatura corrigida 100% do MTA, identificou-se o aquecimento no contato do fechamento de entrada da chave seccionadora CH-02 (FASE-R). Para isso, as ações recomendadas foram: Realizar limpeza e reaperto no contato da Chave. Na ocasião da manutenção, identificar se há a necessidade de substituição de algum componente como garra de pressão e etc. Até a realização da manutenção, recomendou a monitorar a temperatura da chave para identificar uma possível alteração da temperatura, com fator de intervenção alto.

Figura 7 - Temperatura corrigida 100% do MTA



Fonte: Autores, 2023.

Na terceira análise, em temperatura corrigida de 19% acima do MTA, as temperaturas coletadas apresentaram sinal de emergência, com aquecimento no contato do fechamento de entrada da chave seccionadora CH-02 (FASE-R). Para isso, as ações recomendadas foram: Realizar limpeza e reaperto no contato da Chave. Na ocasião da manutenção, identificar se há a necessidade de substituição de algum componente como garra de pressão e etc. Até a realização da manutenção, recomendou a monitorar a temperatura da chave para identificar uma possível alteração da temperatura. Nesse cenário, buscou programar a intervenção para evitar a elevação da temperatura e quebra do equipamento, com fator de intervenção crítico.

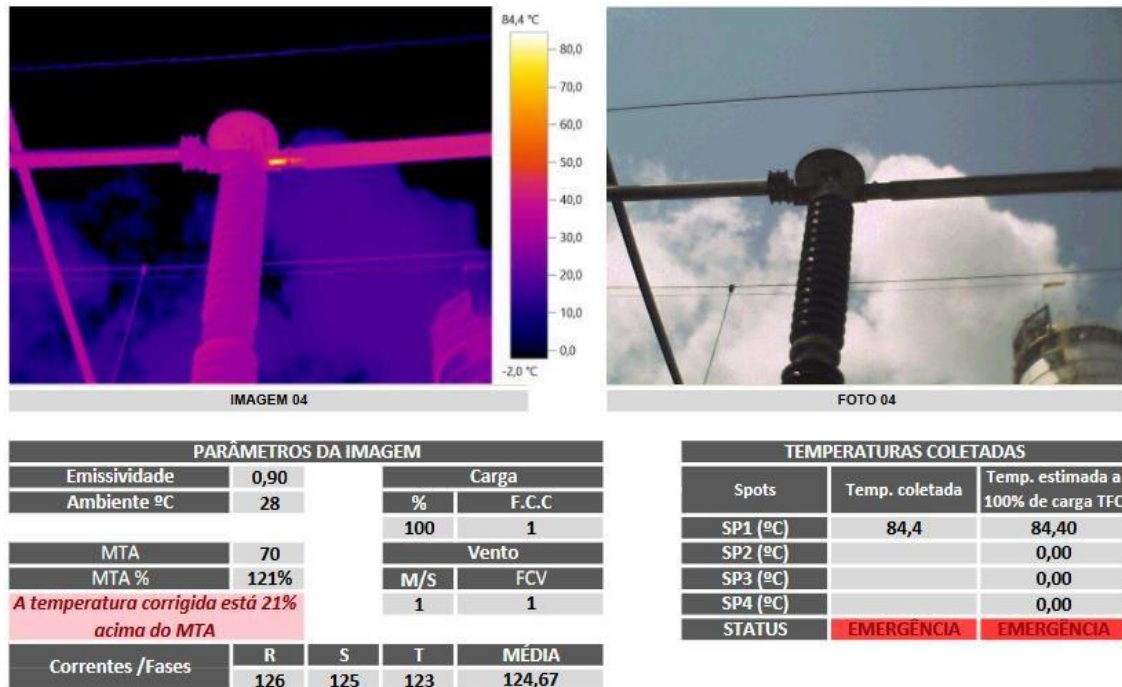
Figura 8 - Temperatura corrigida 19 % acima do MTA



Fonte: Autores, 2023

Em seguida, foi realizada a mesma análise com temperatura corrigida em 21% acima do MTA, as temperaturas coletadas apresentaram sinal de emergência, com aquecimento no contato do fechamento de entrada da chave seccionadora CH-02 (FASE-R). Para isso, as ações recomendadas foram: Realizar limpeza e reaperto no contato da Chave. Na ocasião da manutenção, identificar se há a necessidade de substituição de algum componente como garra de pressão e etc. Até a realização da manutenção, recomendou a monitorar a temperatura da chave para identificar uma possível alteração da temperatura. Nesse cenário, buscou programar a intervenção para evitar a elevação da temperatura e quebra do equipamento, com fator de intervenção crítico.

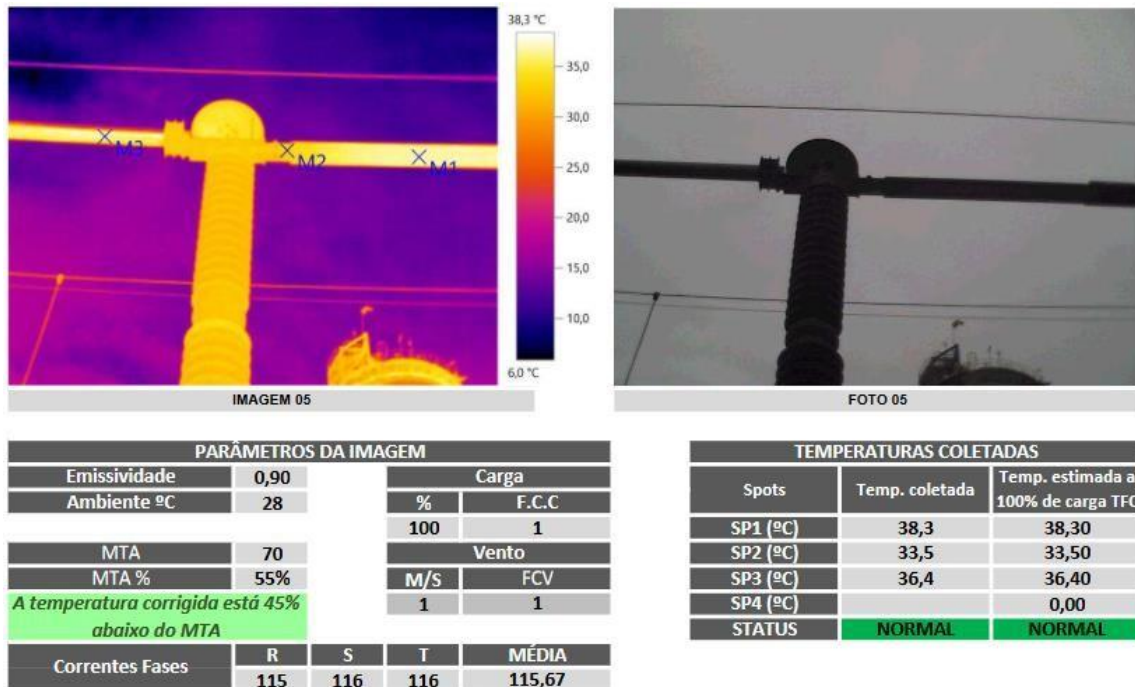
Figura 9 - Temperatura corrigida 21 % acima do MTA



Fonte: Autores, 2023.

Uma última análise foi realizada com temperatura corrigida em 45% abaixo do MTA, onde as temperaturas coletadas apresentaram status normal, com entrada da chave seccionadora CH-02 (FASE-R). Em uma manobra de rotina a Chave Seccionadora foi aberta e fechada novamente. Esta ação resultou em uma melhora no fechamento do contato, eliminando o ponto de aquecimento que existia. Pelo histórico de anomalia, foi recomendada uma manutenção de rotina, com fator de intervenção baixo.

Figura 10 - Temperatura corrigida 45 % abaixo do MTA

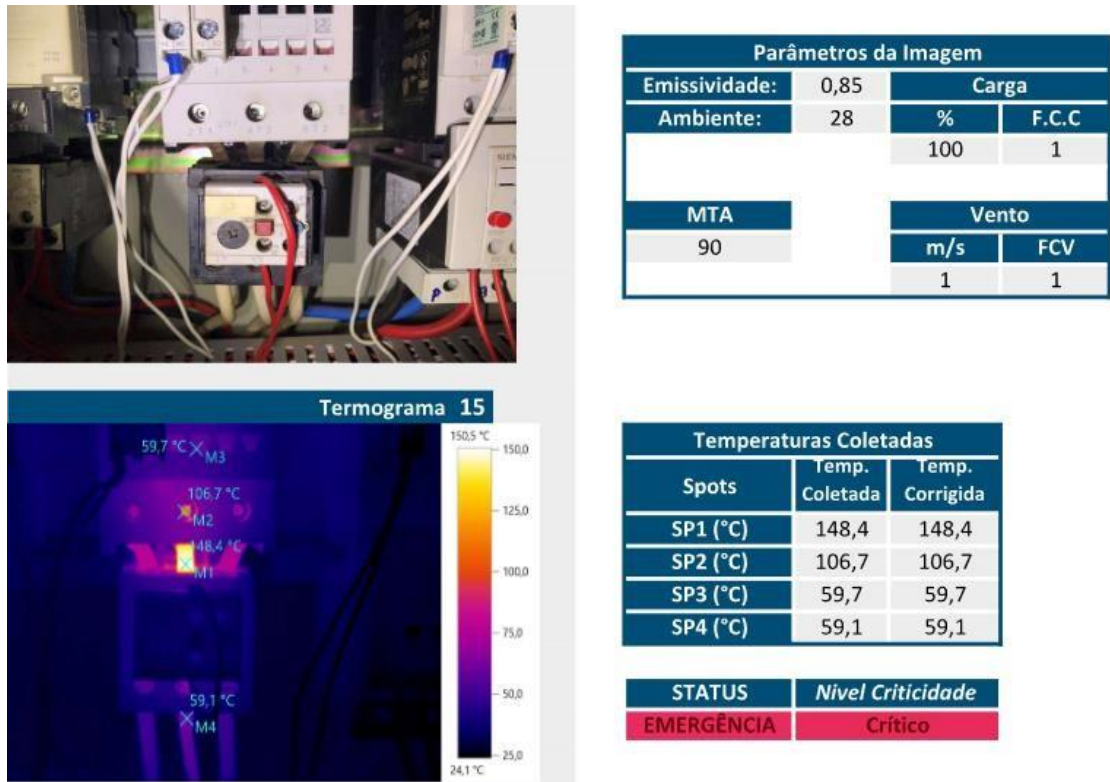


Fonte: Autores, 2023.

4.2 Caso 2

Trata-se de uma medição de rotina no painel geral de distribuição, onde foi encontrado o aquecimento na conexão e no contato de saída do contactor contatos de entrada do Relé (fase S). Como fator de intervenção, apresentou status de emergência e nível crítico, com temperatura elevada. Teve como ação recomendada realizar limpeza e reaperto na conexão de saída do contactor e no contato de entrada do Relé.

Figura 11 - Análise Termográfica em painel geral de distribuição

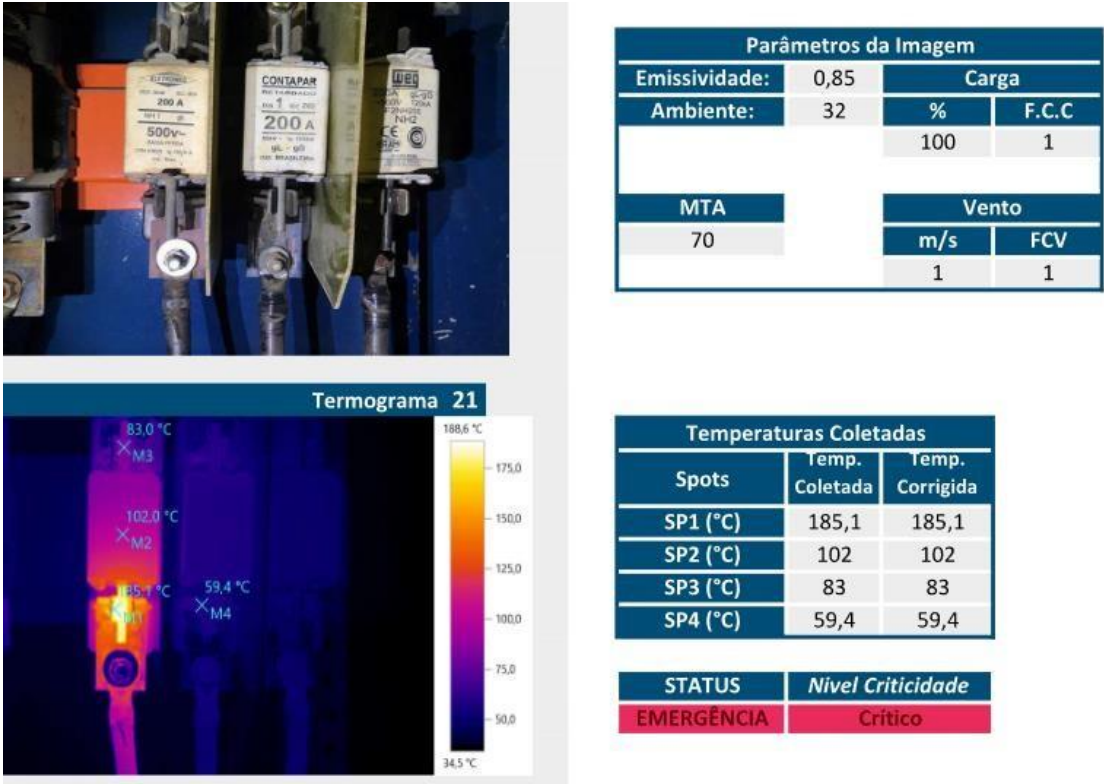


Fonte: Autores, 2023.

4.3 Caso 3

Trata-se de uma medição no motor da bomba de vácuo 1. Nesse caso, foi identificado um ponto quente fusível da fase R. Teve como ação recomendada realizar substituição da garra e limpeza dos contatos. Como fator de intervenção, apresentou status de emergência e nível crítico, com temperatura elevada.

Figura 12 - Análise Termográfica em motor de bomba vácuo

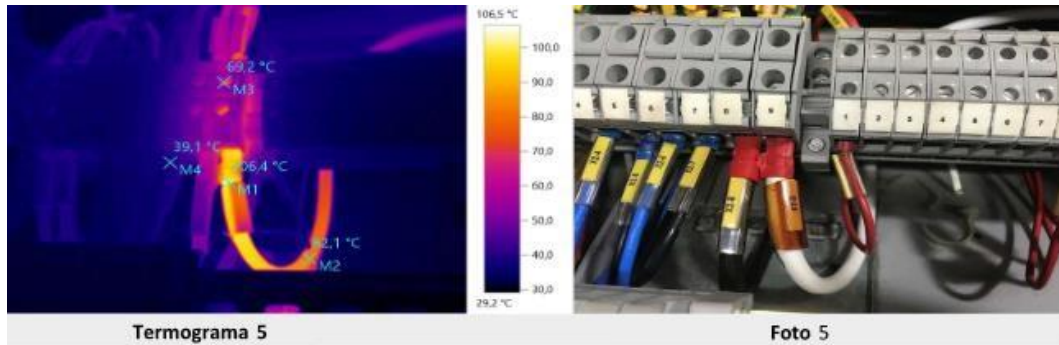


Fonte: Autores, 2023.

4.4 Caso 4

Trata-se de acompanhamento de rotina na sala de painéis de alimentação de motores para processo de Fiação. A primeira análise envolve aquecimento no terminal de saída do bome K1X02 cabo X2. Apresentou status de emergência e nível crítico, com temperatura elevada. Foi sugerida a realização da substituição do terminal, limpeza e reaperto da conexão.

Figura 13 - Análise Termográfica em painéis de alimentação de motores(1)



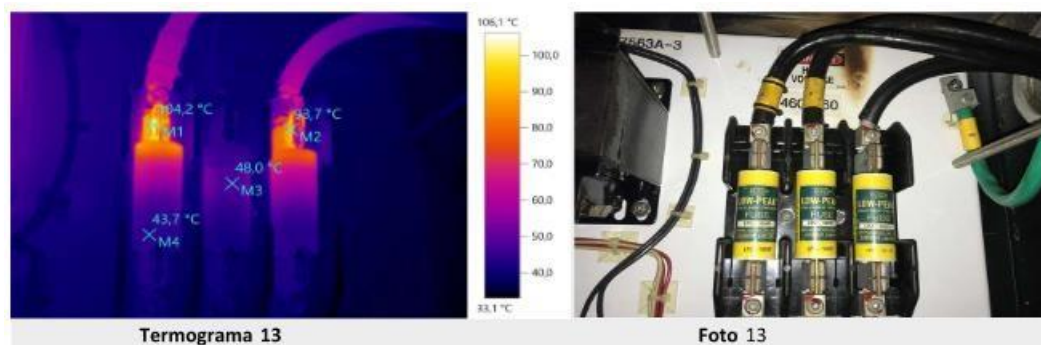
PARÂMETROS DA IMAGEM				
Emissividade	0,90	Carga		
Ambiente	28	%	FCC	
		100	1	
MTA	70	Vento		
MTA %	152%	m/s	FCV	
		1	1	
Temp Corrigida está 52% acima do MTA				
CORRENTE	R	S	T	MÉDIA
FASES				

Temperaturas Coletadas		
Spots	Temp. Coletada	Temp. estimada a 100% de carga TFC
SP1 (°C)	106,4	106,40
SP2 (°C)	82,1	82,10
SP3 (°C)	69,2	69,20
SP4 (°C)	39,1	39,10
STATUS	EMERGÊNCIA	EMERGÊNCIA

Fonte: Autores, 2023.

A segunda análise envolve aquecimento no contato de entrada da base dos fusíveis de alimentação geral. Apresentou status de emergência e nível crítico, com temperatura elevada. Foi Segerida a realização de limpeza e reaperto nas garras da base dos fusíveis.

Figura 14 - Análise Termográfica em painéis de alimentação de motores (10)



PARÂMETROS DA IMAGEM				
Emissividade	0,90	Carga		
Ambiente	30	%	FCC	
		100	1	
MTA	70	Vento		
MTA %	149%	m/s	FCV	
Temp Corrigida está 49% acima do MTA		1	1	
CORRENTE	R	S	T	MÉDIA
FASES				

Temperaturas Coletadas		
Spots	Temp. Coletada	Temp. estimada a 100% de carga TFC
SP1 (°C)	104,2	104,20
SP2 (°C)	93,7	93,70
SP3 (°C)	48	48,00
SP4 (°C)	43,7	43,70
STATUS	EMERGÊNCIA	EMERGÊNCIA

Fonte: Autores, 2023.

5 Considerações finais

A conclusão obtida dos relatórios apresentados é que nos casos em questão, foram identificados pequenos pontos quentes nas conexões. É sempre realizada uma recomendação no caso de uma constatação para que se realize uma intervenção o mais breve possível. Não é imposta uma data para manutenção preditiva, pois o equipamento está em operação e não pode ser tirado do processo sem um planejamento prévio. Dentro do controle, após as constatações, são tomadas medidas de acompanhamento em espaço de tempo mais curto, de modo a garantir a produtividade sem maiores danos ao equipamento, até o momento de sua liberação para a manutenção atuar. Em muitos casos, não se necessita de grandes trabalhos, mas apenas limpeza, reaperto de bornes e conexões.

Ficou claro como a termografia pode ser importante e eficiente dentro de uma empresa, pois, consegue se antecipar aos grandes problemas que podem ser gerados por um simples mau contato, que pode culminar em um curto-circuito, ou até mesmo em um incêndio, causando prejuízo financeiro, perda de produtividade, risco de acidentes graves e até a morte de colaboradores.

Portanto, pode-se concluir que o grande impacto positivo da aplicação dessa técnica de termografia nos sistemas elétricos prova-se ser uma excelente ferramenta para diagnósticos na prevenção de falhas em sistemas elétricos, tornando-se conveniente para a manutenção preditiva.

AGRADECIMENTOS

À nossa família, por todo apoio e carinho.

A todos os mestres que contribuíram para a nossa formação acadêmica.

Aos colegas de curso, com os quais tivemos o privilégio de compartilhar esse período de aprendizado.

A todos aqueles que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Associação Brasileira de Normas Técnicas (1994). NBR 5462/94. Confiabilidade e manutenibilidade.

Associação Brasileira de Normas Técnicas (2013). NBR 15572/2013. Ensaaios não destrutivos - Termografia - Guia para inspeção de equipamentos elétricos e mecânicos.

Almeida, P. S., Rocca, J. E. (2018). Manutenção Mecânica Industrial – Princípios técnicos e operações. 1ª edição. Editora Érica.

Cengel, Y., Ghajar, A. (2011). Transferência de Calor e Massa. 4º ed. McGraw-Hill Educação.

Chrzanowski, K. (2011). Non-Contact Thermometry – Measurement errors. SPIE PL, Research And development Treaties, Warsaw, v. 7.

Fraga, A. S. (2009). Ensaaios não destrutivos -Termografia. Faculdades integradas de São Paulo.

- Halliday, D., Resnick, R. (2016). Fundamentos de física. Tradução Ronaldo Sérgio de Biasi. - 10. ed. - Rio de Janeiro: LTC.
- Kardec, A., Nascif, J. (2009). Manutenção: função estratégica. 3.ed. Rio de Janeiro: Ed. Qualitymark.
- Kardec, A., Nascif, J. (2013). Manutenção Preditiva: fator de sucesso na gestão empresarial. 1.ed. Rio de Janeiro: Ed. Qualitymark.
- Medeiros, R. de C. M. (2012). *Emprego da termografia na inspeção preditiva*. Revista de divulgação do Projeto Universidade Petrobras e IF Fluminense.
- Muniz, P. R., Mendes, M. A. (2019). Termografia infravermelha aplicada à manutenção: dos fundamentos ao diagnóstico. Edifes, Vitória.
- NEMÉSIO SOUSA, J.: Manutenção de Instalações e Equipamentos Elétricos. Material Didático da Disciplina Manutenção e Operação de Equipamentos Elétricos, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2017.
- Pelizzari, E. (2006). Aplicações da termografia como ferramenta de manutenção preditiva em conectores elétricos. 17º. Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais. Foz do Iguaçu, PR, Brasil.
- Querino, T. F. (2020). Termografia infravermelha e Gestão de Ativos. Novas Edições Acadêmicas.
- Rodrigues, M. (2009). Gestão da manutenção. Curso técnico em eletrotécnica, módulo 3, livro 17. Curitiba: Base Livros Didáticos.
- Santos, L. (2006). Termografia Infravermelha em Subestações de Alta Tensão Desabrigadas. Dissertação. Universidade Federal de Itajubá.
- Silva, J. C. (2020). Termografia aplicada a manutenção industrial. 1 ed. Clube de autores, Fortaleza.
- Soares, R. M. S., Silva, A. L. O., Souza, M. C.M. F., Miyamoto, H. K., Fortes, M. Z., Ferreira, V. H. (2018). Termografia Aplicada na Manutenção Preditiva de Retificadores de Proteção Catódica – Estudo de Caso. São Paulo: INTERCORR.
- Standard for Infrared Inspection of Electrical Systems & Rotating Equipment. (2016). Infrasppection Institute, Ellis Street: Burlington.
- Teixeira, Marcos José. Redução dos custos de manutenção utilizando a termografia em redes de distribuição de energia elétrica. Monografia. Universidade do Sul de Santa Catarina, 2022.
- Viana, H. R. G. (2002). PCM, planejamento e controle de manutenção. Rio de Janeiro, Editora Qualitymark.
- Xenos, H. G. (2014). Gerenciando a Manutenção Produtiva. São Paulo. Ed. Falconi.