

FACULDADE DOCTUM
RAFAEL ISIDORIO GOMES
SAMUEL BORGES FRANCO

**ANÁLISE TERMOGRÁFICA ALIADA A MANUTENÇÃO
CENTRADA NA CONFIABILIDADE**

Juiz de fora
2021

RAFAEL ISIDORIO GOMES
SAMUEL BORGES FRANCO

**ANÁLISE TERMOGRÁFICA ALIADA A MANUTENÇÃO
CENTRADA NA CONFIABILIDADE**

Projeto do Trabalho de Conclusão de Curso, apresentado à Faculdade Doctum de Juiz de Fora, como requisito para conclusão do curso de Engenharia Elétrica.

Orientador: Prof. M.Sc. Luis Gustavo Schroder e Braga

Juiz de Fora

2021

FRANCO, Samuel Borges. GOMES, Rafael Isidorio
Análise termográfica aliada a manutenção centrada na confiabilidade

Samuel Borges Franco, Rafael Isidorio Gomes.

Juiz de Fora, 2021 26f.

Monografia (Curso de Engenharia Elétrica) –

Faculdade Doctum Juiz de Fora

1. Termografia. 2. Manutenção Centrada na Confiabilidade.

Faculdade Doctum Juiz de Fora

FRANCO, SAMUEL BORGES e GOMES, RAFAEL ISIDORIO. Título: Análise termográfica aliada a manutenção centrada na confiabilidade. Projeto apresentado ao Centro de Engenharias da Faculdade Doctum de Juiz de Fora, como requisito parcial para a Obtenção de título de Bacharel em Engenharia Elétrica, e aprovada pela seguinte banca examinadora.

Orientador Prof. MSc. Luis Gustavo Schroder e Braga

Prof. MSc. Daniele De Alcântara Barbosa

Examinado (a) em: / /

RESUMO

FRANCO, SAMUEL. GOMES, RAFAEL. **Análise termográfica aliada a manutenção centrada na confiabilidade.** (26nf.). Projeto de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Elétrica). Faculdade Doctum, Juiz de Fora, 2021.

Entendendo a competitividade de uma empresa e sua capacidade de ser bem sucedida tornou-se necessário uma evolução nos modos de atuação da manutenção industrial, os quais possuem um papel fundamental na prosperidade da organização. Com maior preocupação na saúde dos ativos, faz-se necessário atuar de forma preditiva, tais como análise termográfica em painéis elétricos e aplicando a metodologia da manutenção centrada na confiabilidade.

O presente trabalho tem como objetivo demonstrar a importância da análise termográfica somados com a manutenção centrada na confiabilidade, para que possamos atuar de maneira, eficaz, inteligente e seletiva.

No caso uma inspeção termográfica pode evitar paradas não planejadas, prevenindo falhas e sanando-a com menor tempo possível garantindo uma maior disponibilidade dos ativos e evitando acidentes, com o apoio da manutenção centrada na confiabilidade onde procura que um sistema cumpra sua função com sucesso, por um período de tempo previsto.

Este trabalho apresenta um estudo de literatura no qual faz se um estudo sobre termografia aliada na manutenção centrada na confiabilidade.

PALAVRAS-CHAVE: Termografia. Manutenção centrada na confiabilidade. Análise dos modos de falha e efeitos

ABSTRACT

Understanding the competitiveness of a company and its ability to be successful has made it necessary to evolve the ways in which industrial maintenance works, which play a fundamental role in the organization's prosperity. With greater concern for the health of assets, it is necessary to act in a predictive manner, such as thermographic

analysis in electrical panels and applying the methodology of maintenance centered on reliability.

The present work aims to demonstrate the importance of correct parameterization of protective equipment so that they can act selectively and effectively.

In this case, a thermographic inspection can avoid unplanned downtime, predicting failures and remedying it in the shortest time possible, ensuring greater availability of assets and avoiding accidents, with the support of maintenance focused on reliability where it seeks for a system to successfully fulfill its function, for an anticipated period of time.

This paper presents a literature study in which a study on thermography combined with reliability-centered maintenance is carried out.

KEYWORDS: Thermography. Maintenance centered on reliability. Analysis of failure modes and effects.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Componentes do RPN	24
-------------------------------------	----

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Inspeção termográfica em painel de baixa tensão.....	11
Figura 2 - Câmera termográfica FLIR T1020.....	12

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

EPI	EQUIPAMENTO DE PROTEÇÃO INDIVIDUAL
FMEA	ANÁLISE DOS MODOS DE FALHAS E EFEITOS
MCC	MANUTENÇÃO CENTRADA NA CONFIABILIDADE
NBR	NORMA BRASILEIRA
RPN	GRAU DE PRIORIZAÇÃO DE RISCO

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	9
1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS	9
1.2 OBJETIVOS	10
2 REFERENCIAL TEÓRICO	10
2.1 TERMOGRAFIA	10
2.2 INSPEÇÕES TERMOGRÁFICAS	12
3 A IMPORTÂNCIA DAS MANUTENÇÕES EM EQUIPAMENTOS ELÉTRICOS ..	15
3.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS	15
3.2 TIPOS DE MANUTENÇÃO	15
3.2.1 MANUTENÇÃO CORRETIVA	15
3.2.2 MANUTENÇÃO PREVENTIVA	16
3.2.3 MANUTENÇÃO PREDITIVA	17
4 MANUTENÇÃO CENTRADA NA CONFIABILIDADE ALIADA A TERMOGRAFIA EM EQUIPAMENTOS ELÉTRICOS	18
4.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS	18
4.1.1 QUESTÕES BÁSICAS DA MANUTENÇÃO CENTRADA NA CONFIABILIDADE	19
4.2 IMPLEMENTAÇÃO	21
4.3 ANÁLISE DOS MODOS DE FALHAS E EFEITOS	23
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	26
6 REFERÊNCIAS	27

1. INTRODUÇÃO

1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

A manutenção industrial ao longo dos últimos anos vem ganhado maior relevância, sempre procurando alinhar a função dos equipamentos, processos a manutenção centrada na confiabilidade. Esta confiabilidade acarreta diretamente na redução de custos e aumento do rendimento, proporcionando maior lucratividade, pois qualquer tempo parado não planejado pode acarretar em perda financeira.

Muitas alterações vêm ocorrendo ao longo das últimas décadas na manutenção, dentre as quais destaca-se: aumento da quantidade e da diversidade dos tipos de equipamentos; complexidade nos projetos; novas técnicas de manutenção; novos enfoques de gestão da manutenção bem como suas responsabilidades; além da importância que deve ser dada a manutenção como uma ação estratégica dos resultados e aumento da competitividade perante o mercado.

Para que as ações dentro das empresas tenham uma rápida resposta é necessária uma conscientização do quanto uma falha no equipamento pode afetar a segurança, meio ambiente e os custos da empresa. A qualidade que é cobrada em um mercado tão competitivo pode ser afetada devido ao não cumprimento da entrega de resultados esperados. (KARDEC E NASCIF, 2009).

Atualmente o método de manutenção utilizado em painéis elétricos são baseados nos conceitos de manutenção corretiva e preventiva. Uma das técnicas de manutenção que podemos utilizar é manutenção sob condição ou preditiva onde busca a prevenção de falhas com base na aplicação sistemática de técnicas de análises, este tipo de manutenção utiliza de técnicas tais como termografia, análises de vibração (Pereira, 2011).

A termografia técnica de inspeção não destrutiva em equipamentos, onde se utiliza como base a detecção de radiação infravermelha emitida por qualquer corpo com intensidade proporcional a sua temperatura. (FRAGA, 2009). Termografia em sistemas elétricos identifica problemas causados por anormalidades térmicas devido à relação entre a corrente e o aumento da resistência ôhmica dos componentes. Os pontos quentes em circuitos elétricos são causados pela deficiência de contato nos componentes, corrosão ou oxidação, distribuição de carga ou defeito de componentes. (MUNIZ E MENDES, 2019).

Manutenção e acompanhamento de painéis elétricos podemos utilizar a termografia para melhorar a eficiência e reduzindo risco de acidentes, este trabalho tem como proposta demonstrar os benéficos de uma manutenção preditiva, com o uso da técnica de termografia onde pode minimizar os reparos levando a zero as corretivas na manutenção, aumentando a confiabilidade, segurança e otimização dos painéis elétrico e comandos.

1.2 OBJETIVOS

Assim, o objetivo deste trabalho é realizar uma análise sobre o tema questão, ou seja, uma análise termográfica aliada a manutenção centrada na confiabilidade. Sendo assim, os objetivos específicos deste estudo.

- **Demonstrar conceitos de análises termográficas e seus benefícios.**
- **Exemplificar conceitos de manutenção corretiva, preventiva e preditiva.**
- **Estudo sobre manutenção centrada na confiabilidade.**

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 TERMOGRAFIA

A palavra termografia significa termo (calor) e grafia (escrita), através da radiação emitida por um corpo é possível com uma câmera termográfica transformar em uma imagem térmica, com um programa é possível trabalhar a imagem e identificar em cada parte do equipamento ou objeto suas temperaturas distintas. Quanto maior for a temperatura maior é a excitação molecular e, conseqüentemente, maior é a intensidade da radiação emitida. Assim, a temperatura de um objeto pode ser determinada pela intensidade da radiação emitida por sua superfície, fato utilizado pela termografia para realizar medidas de temperatura e visualizar a distribuição

térmica de uma determinada superfície, sem a necessidade de contato físico (SANTOS, 2012)

Emissividade, refletividade e transmissividade, são conceitos de grande importância dentro da termografia. A emissividade é a capacidade que um material tem de emitir ou liberar a radiação infravermelha, varia de acordo com a propriedade da superfície do material e o objeto medido, refletividade é a capacidade de um material de refletir, depende da propriedade da superfície, temperatura e do tipo de material e transmissividade a disposição que determinado material tem em transmitir a radiação infravermelha, está relacionado à espessura do material, a maioria dos materiais não são transmissíveis. (MUNIZ E MENDES, 2019).

Acerca das vantagens da técnica termográfica cabe mencionar: os equipamentos são examinados em serviço, não sendo necessário qualquer interrupção do seu funcionamento; não necessita de contato físico entre inspetor e equipamento inspecionado; a análise pode ser realizada em grandes áreas e em tempos reduzidos; existe possibilidade de análise de objetos móveis e de difícil acesso; melhor visualização da distribuição das temperaturas em tempo real; possibilidade de fenômenos transitórios de temperaturas; a medição de temperatura pode ser feita em vários objetos simultâneos; acréscimo da segurança de pessoas e bens; a otimização de manutenção; menor consumo de energia, pois como sabemos seccionadoras, disjuntores, contadores, relés com aperto incorretos proporcionam perdas de energia por efeito joule; evitando falhas e assim paradas de manutenção não programadas. Pode ser considerada como uma ferramenta para a manutenção que possibilita o monitoramento térmico do sistema analisado. Enquadra-se em diversas metodologias de manutenção como a preditiva. A Figura 1 mostra a aplicação da termografia para detecção de pontos onde podem acarretar futuras falhas.



Figura 1: Aplicação da termografia na inspeção elétrica.

Fonte: Autor

"Problemas de temperatura elevada são muitas vezes indicadores potenciais de falha de um determinado componente sejam por fadiga ou alteração do sistema. (MONTEIRO, et. al, 2018)".

Segundo Monteiro (2018) se for possível detectar a elevação de temperatura, para comparar e determinar a sua variação, as falhas poderão ser detectadas no início do seu desenvolvimento, podendo resultar em médio prazo uma parada programada do equipamento. Isto permite a redução dos tempos de interrupção e a diminuição da probabilidade de saída de serviço não prevista, isto é não programada.

2.2 INSPEÇÕES TERMOGRÁFICAS

Inspeção termográfica incide em capturar a radiação infravermelha do equipamento através de uma câmera termográfica, transformando em uma imagem térmica, por meio de um software e possível analisar e visualizar valores de temperatura em todo o objeto em questão. Utilizar a inspeção termográfica significa atuar na manutenção preditiva e evitar danos ao sistema, esse tipo de inspeção nos garante identificar conexão com sobreaquecimento, tornar mínimo custo operacional (perdas e danos imprevistos), segurança para quem realiza a termografia, pois não há contato físico entre o profissional e o equipamento.

A inspeção termográfica é a técnica de inspeção não destrutiva realizada com a utilização de sistemas infravermelhos (radiômetros, câmera termográfica ou termovisores) para a medição de temperaturas ou observação de padrões diferenciais de distribuição de calor. Tem por objetivo propiciar informações relativas à condição operacional de um componente, equipamento ou processo (PELIZZARI,2006).

Atualmente existem no mercado vários modelos e fabricantes, cito como destaque a fabricante FLIR, dentre outras, com seguimentos na linha FLIR T1020 (Figura 2), características são: frequência da imagem, campo de visão, distância mínima de foco, armazenamento da imagem, foco (manual/automático), controle de ajuste (paletas de cores, idioma, formato de data e hora, galeria de imagens) vale ressaltar que cada câmera termográfica tem particularidades que diferenciam umas das outras, assim como o preço, sendo necessário avaliar o custo benefício.

Antes de comprar uma câmera termográfica devem ser observados alguns itens, tais como:

- Forneçam resultados confiáveis e precisos;
- Alta qualidade de imagem e resolução de detecção;
- Ergonômica e leve;
- Com um apontador a laser embutido;
- Fácil atualização de software;
- Capacidade de fusão de imagem melhorada.



Figura 2: Câmera termográfica FLIR T1020

Fonte: <https://www.flir.com.br/products/t1020/>

O termografista deve ter alguns cuidados, tais como: atenção ao manusear a câmera termográfica, conhecer os equipamentos que serão medidos, evitar medições na chuva, usar sempre os equipamentos individuais de segurança

adequado a atividade (EPs), ter cuidado com os equipamentos adjacentes e a foto.

Fatores que influenciam no resultado da medição infravermelha:

- Valor incorreto de emissividade e refletividade;
- Imagem térmica sem foco;
- Lente da câmera inadequada ao tipo de medição;
- Distância do objeto a ser medido muito longo ou muito perto;
- Fontes externas de radiação (luzes, sol, aquecedores);
- Temperatura ambiente;
- Falhas na transmissividade (poeiras, cobertura, tampas em acrílico etc.);

A termografia permite detectar o processo de falha de um componente através de uma anomalia térmica antes que a mesma se manifeste como interrupção da função. Além disso, assegura a quantificação da falha em termos de risco e impacto à produção (custo), pois pode revelar as causas de defeito através da modificação da temperatura superficial de um componente e da confiabilidade do item monitorado.

No caso das subestações de potência, um dos elementos chave a ser monitorado com o uso da termografia é o surgimento de ponto quente em contatos físicos das estruturas que compõem o equipamento e que podem fornecer informações importantes (assinatura térmica) de uma condição de falha incipiente (PELIZZARI,2006).

A implantação de serviços de termografia visa, sobretudo, a não interrupção da produção e ao funcionamento perfeito vistoriado do sistema, no qual podem ser detectadas falhas que provocariam perdas, muitas vezes, superiores ao valor investido na inspeção termográfica.

3. A IMPORTÂNCIA DAS MANUTENÇÕES NOS EQUIPAMENTOS ELÉTRICOS

3.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

As vantagens de fazer termografia, permite determinar a distância e sem contato, as temperaturas superficiais dos objetos observados, pelo conhecimento dessas temperaturas, podemos fazer o diagnóstico precoce de avarias ou a otimização da exploração de instalações.

Através da identificação de pontos quentes ou do mapeamento das temperaturas dos equipamentos, e possível evitar prejuízos graves, recorrendo regularmente as inspeções de termografia. Ainda na fase de incubação ou fase inicial, evitando avarias que podem vir a originar o curto-circuito, como por exemplo maus contatos que são responsáveis por incêndios e destruição de aparelhos e equipamentos, podem também localizar-se causas de desperdícios de energia, como exemplo a deficiências em isolamentos térmicos que resultam sempre em consumos exagerados e inúteis de combustíveis/energia.

E uma grande vantagem a utilização da termografia, na manutenção preditiva sendo um investimento altamente compensador, sendo pôr as economias que proporciona, e pelos danos ao sistema que consegue prevenir, se quer ainda pelas interrupções de produção que consegue evitar.

3.2 TIPOS DE MANUTENÇÃO

Os tipos de manutenção são caracterizados pela maneira como é feita a intervenção nos equipamentos, instalações. Neste trabalho, serão descritas três práticas básicas de manutenção, consideradas como principais por diversos autores, sendo: manutenção corretiva, manutenção preventiva e manutenção preditiva.

3.2.1 Manutenção Corretiva

A manutenção corretiva é a forma mais simples e mais primitiva de manutenção. De acordo com SLACK et al. (2002 p.625) “significa deixar as instalações continuarem a operar até que quebrem. O trabalho de manutenção é

realizado somente após a quebra do equipamento ter ocorrido [...]”.

De acordo com KARDEC e NASCIF (2001, p.36) como sendo “a atuação para correção da falha ou desempenho menor do esperado”.

A manutenção corretiva visa corrigir, restaurar, recuperar a capacidade produtiva de um equipamento ou instalação, que tenha cessado ou diminuído sua capacidade de exercer as funções às quais foi projetado.

Na manutenção corretiva significa dizer que o equipamento quebrou, conforme ABNT NBR 5462 (1994).

A manutenção corretiva trata-se de uma política de manutenção curativa, efetuada após a ocorrência de uma pane, destinada a recolocar um item em condições de executar uma função requerida. A pane é o estado de um item caracterizado pela incapacidade de desempenhar uma função requerida.

A estratégia de manutenção corretiva engrandece o custo de manutenção tendo em vista a necessidade de peças de reposição, trabalhos extras da equipe da manutenção, elevado tempo de paralisação do equipamento e baixa disponibilidade da produção.

3.2.2 Manutenção Preventiva

Na manutenção preventiva podem ser adotadas duas condições para sua realização, a primeira baseada na condição, ou seja, quando existe uma falha no equipamento e a segunda baseada no tempo, ou seja, de acordo com o fabricante. “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 (ABNT NBR 5462, 1994)”.

Para Viana (2002 p. 10) “A manutenção preventiva é todo o serviço de manutenção realizado em máquinas que não estejam em falha, estando com isto em condições ou estado de zero defeito”.

Xenos (1998, p. 24) destaca a vantagem do uso da manutenção preventiva em face a manutenção corretiva:

“(...) a frequência de falhas diminui, a disponibilidade dos equipamentos aumenta e também diminuem as interrupções inesperadas da produção. Ou seja, se considerarmos o custo total, em várias situações a

manutenção preventiva acaba sendo mais barata que a manutenção corretiva, pelo fato de se ter domínio das paradas dos equipamentos, ao invés de se ficar sujeito às paradas inesperadas por falhas nos equipamentos.”

Nesse tipo de manutenção há aplicação de critérios estatísticos, recomendações dos manuais do fabricante e os conhecimentos práticos sobre o equipamento para estabelecer um cronograma de inspeções e intervenções.

3.1.1 Manutenção Preditiva

Preditiva significa prever quando uma condição anormal pode acontecer ao equipamento ou sistema, é feito através de acompanhamento periódico utilizando a inspeção termográfica, entre outras técnicas. A vantagem da manutenção preditiva é que não precisa interromper o circuito e nem parar a máquina. Na preditiva o trabalhador não tem contato direto com o equipamento. Quando é detectado uma falha, é feito o diagnóstico do defeito e o prognóstico do período de alarme, para programar a intervenção no equipamento para a manutenção.

Kardec e Nascif (2009, p. 45) bem explicam os objetivos da manutenção preditiva:

“Seu objetivo é prevenir falhas nos equipamentos ou sistemas através de acompanhamento de parâmetros diversos, permitindo a operação contínua do equipamento pelo maior tempo possível. Na realidade, o termo associado à Manutenção Preventiva é o de prever as condições dos equipamentos. Ou seja, a Manutenção Preditiva privilegia a disponibilidade à medida que não promove a intervenção nos equipamentos ou sistemas, pois as medições e verificações são efetuadas com o equipamento produzindo.”

Através da manutenção preditiva podemos prolongar a preventiva (planejada) e corretiva (defeitos), o objetivo é alcançar o nível de quebra/falha zero, nos equipamentos, circuitos elétricos e do próprio sistema.

4. MANUTENÇÃO CENTRADA NA CONFIABILIDADE ALIADA A TERMOGRAFIA EM EQUIPAMENTOS ELÉTRICOS

4.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

A manutenção e todas as ferramentas existentes hoje que auxiliam a todos não podem ser referência para os primórdios da utilização desse conceito. Houveram muitos avanços que decorreram ao longo dos anos que proporcionaram um crescimento nas técnicas utilizadas que trazem resultados financeiros para as grandes empresas.

A Manutenção Centrada na Confiabilidade (MCC) teve origem na indústria aeronáutica americana, contudo hoje os seus conceitos podem ser utilizados em qualquer setor industrial. Isso justifica-se devido a abordagem racional e sistemática, que tem tornado o MCC reconhecido como a forma mais eficiente de tratar as questões de manutenção.

Segundo Fogliato (2011), esta metodologia é considerada um programa que reúne várias técnicas de engenharia para assegurar se os equipamentos de planta fabril continuarão realizando as funções especificadas, permitindo que as empresas alcancem excelência nas atividades de manutenção, ampliando a disponibilidade dos equipamentos e reduzindo custos, acidentes, defeitos, reparos e substituições.

Já Moubrey (1997), acredita que a MCC é um processo usado para determinar o que deve ser feito para, assegurar que qualquer ativo físico continue a fazer o que os seus usuários querem que ele faça no seu contexto operacional.

Kardec e Nascif (2009), destacam a MCC como uma metodologia que estuda o equipamento ou sistema em detalhes, além de analisar como ele pode falhar e definir a melhor forma de realizar a manutenção, de modo a prevenir a falha ou minimizar as perdas decorrentes das falhas.

Tendo em vista as considerações afirmadas, temos que a estratégia de MCC tem como maior objetivo determinar quais os serviços de manutenção mais adequados para na importância da função dos ativos físicos em sistemas operacionais e produtivos de uma empresa, visando potencializar a disponibilidade, manutenibilidade e confiabilidade dos processos produtivos, dando suporte as decisões gerenciais a serem tomadas, das quais muitas vezes são necessárias mediante a grandeza das ações a serem realizadas.

4.1.1 Questões básica da Manutenção Centrada na confiabilidade

Para Moubray (2000), para saber se um determinado item poderá ter a metodologia MCC aplicada, sete questões primordiais devem ser consideradas, são elas:

- i. Quais são as funções e padrões de desempenho de um ativo no seu contexto presente de operação?
- ii. Quais os modos de falha do equipamento ao cumprir suas funções?
- iii. Qual a causa de cada falha em cumprir suas funções?
- iv. O que acontece quando ocorre cada falha?
- v. De que forma cada falha importa?
- vi. O que pode ser feito para prever ou inibir a ocorrência de cada falha?
- vii. Se não for encontrada uma tarefa ação apropriada, o que deve fazer?

De acordo com Fogliatto e Ribeiro (2009), existe uma definição para cada uma das perguntas. A primeira questão aborda a compreensão do que é esperado por um equipamento, as funções que ele deve cumprir e o padrão de desempenho que deve ser mantido durante sua vida útil. Esta definição das funções e padrões de desempenho dos equipamentos fabris estabelece a base de trabalho do programa MCC.

A segunda questão é a identificação dos modos de falhas, ou seja, como os equipamentos podem falhar ao cumprirem as suas funções. Estes modos são os prováveis eventos que podem ocorrer ou aqueles que já ocorreram no passado ou os poderão ocorrer no futuro em componentes similares.

A terceira questão está vinculada quando as ações preventivas não são direcionadas aos modos de falhas e sim as suas causas, com isso torna importante a identificação das causas de cada falha funcional no equipamento. Pois as causas das falhas devem ser identificadas em suficiente detalhe para assegurar que as ações sejam dirigidas à raiz do problema e não aos sintomas.

A quarta questão é o que acontece quando cada falha ocorre, visto que além de identificar as causas das falhas, é importante reconhecer seus efeitos. Para de isso deve ser abordado: (i) o que pode ser observado quando a falha ocorre, (ii) o tempo que o equipamento irá permanecer parado na eventualidade da ocorrência da falha,

(iii) os danos que a falha pode acarretar, incluindo possibilidade de perdas de materiais, humanas ou ambientais e (iv) o que pode ser feito para reparar a falha.

A quinta questão relaciona a análise de falhas, pois em uma planta industrial podem existir centenas de modos de falha possíveis de ocorrer, então deve ficar claro de que forma cada falha interessa. Podem ter falha com consequências de efeito mínimo e outras que podem causar prejuízos consideráveis, associados a segurança, produtividade, qualidade ou ao meio ambiente. Essas consequências podem ser classificadas em cinco grupos: (i) consequências escondidas; (ii) consequências para segurança; (iii) consequências ambientais; (iv) consequências operacionais; (v) outras consequências, que não se adequam as opções anteriores, mas envolvem apenas o custo direto de reparo.

A sexta questão leva em consideração o que pode ser feito para prevenir ou impedir cada falha, tendo em vista que são conhecidos as consequências e o nível de prioridade das falhas, para resolução desse questionamento será necessário a gestão de falhas e tarefas reativas. As tarefas proativas são conduzidas anteriormente à ocorrência de falhas, visando impedir que um componente falhe, sendo tarefas que contemplam a manutenção preventiva e preditiva. Já as tarefas reativas são conduzidas quando não é possível empreender uma atividade proativa eficaz, e com isso o equipamento funciona até a ocorrência da falha.

Por fim tem a sétima questão que contempla o que deve ser feito quando não pode ser estabelecida uma atividade proativa pertinente. Quando a consequência da falha é considerada grave e não é possível empreender atividade preventivas ou preditivas, a procura de falhas se torna uma atividade que envolve a verificação periódica de funções escondidas, para determinar se elas não apresentam falhas. O redesenho envolve alterações em componentes, conjuntos ou subsistemas, contudo representa uma situação excepcional e não faz parte da rotina das equipes de trabalho. Com isso, deve ser observado que: (i) o redesenho necessita de competências que usualmente não estão presentes nas equipes de MCC; (ii) o redesenho mobiliza muitas horas de trabalho e, caso empreendido pelas equipes de MCC, poderia paralisar todo o restante do trabalho. Com isso, o redesenho de subsistemas deve ser uma decisão tomada com cautela e deve envolver recursos humanos adicionais qualificados.

4.2 Implementação

A implementação da metodologia do MCC deve adotar uma sequência estruturada composta de sete etapas segundo Siqueira (2005), das quais podem ser apresentadas da seguinte forma:

- i. Seleção do Sistema e Coleta de Informações;
- ii. Análise de Modos de Falha e Efeitos;
- iii. Seleção de Funções Significantes;
- iv. Seleção de Atividades Aplicáveis;
- v. Avaliação de Efetividade das Atividades;
- vi. Seleção das Atividades Aplicáveis e Efetivas;
- vii. Definição da Periodicidade das Atividades;

A primeira etapa é a Seleção do Sistema e Coleta de Informações, na qual tem como objetivo a identificação e a documentação do sistema ou processo que está sendo analisado.

A segunda etapa é a análise de modos de falha e efeitos, na qual são identificadas e documentadas todas as funções e seus modos de falha, assim como todas as consequências produzidas por elas, na qual se utiliza a metodologia FMEA (*Failure Mode and Effects Analysis*).

A terceira etapa é a seleção de funções significantes, que utiliza um processo estruturado para análise de cada função identificada na etapa anterior. Afim de determinar se a falha tem efeito considerável mediante aos principais pilares, são eles: segurança, meio ambiente, operação e economia do processo

A quarta etapa é a seleção de atividades aplicáveis, onde é determinado se as tarefas de manutenção preventiva são tecnicamente aplicáveis na prevenção ou correção de cada modo de falha ou amenização de suas consequências.

A quinta etapa é a avaliação de efetividade das atividades, é onde se constitui o processo estruturado para determinação se uma tarefa de manutenção preventiva pode ser efetiva para redução, de forma tolerável, as consequências previstas para uma falha.

A sexta etapa é a seleção das atividades aplicáveis e efetivas, na qual utiliza o processo estruturado para determinar a melhor tarefa a ser aplicada no processo.

A sétima e última etapa é a definição da periodicidade das atividades, que é o momento que estabelece se os métodos e critérios para definição da prioridade de execução das atividades selecionadas, assim como o planejamento e a estruturação do processo de implantação da metodologia na empresa.

Apesar de muitas referências considerarem sete etapas para implementação do MCC, Fogliatto (2009) menciona nove etapas, são elas:

- (i) Escolha do comitê e equipes de trabalho;
- (ii) Capacitação em MCC;
- (iii) Estabelecimento dos critérios de confiabilidade;
- (iv) Estabelecimento da base de dados;
- (v) Aplicação da FMEA e classificação dos componentes;
- (vi) Seleção das atividades de Manutenção Preditiva pertinentes;
- (vii) Documentação das atividades de Manutenção Preditiva;
- (viii) Estabelecimento de metas e indicadores; e
- (ix) Revisão do programa de MCC.

A implementação do MCC possui uma continuidade após a conclusão da metodologia aplicada no equipamento ou processo, sendo necessário um acompanhamento de todas as práticas elaboradas que deverão ser realizadas ao longo da periodicidade determinada.

Kardec e Nascif (2009) apontam quais são os quatro principais resultados gerados ao ser implementação do MCC:

- i. Melhoria da compreensão do funcionamento do equipamento ou sistema, proporcionando uma ampliação de conhecimentos aos participantes de especialidades diversas;
- ii. Desenvolvimento do trabalho em grupo, com reflexos altamente positivos na análise, solução de problemas e estabelecimentos de programas de trabalho;
- iii. Definição de como o item pode falhar e das causas básicas de cada falha, desenvolvendo mecanismos de evitar falhas que possam ocorrer espontaneamente ou causadas por atos das pessoas;

iv. Elaboração dos planos para garantir a operação do item em um nível de performance desejado. Esses planos englobam: Plano de manutenção; Procedimentos operacionais; e lista de modificações ou melhorias, que são necessárias para que o item alcance o patamar de performance desejado.

4.3 Análises de Modos e Efeitos de Falhas (FMEA)

A ferramenta que ajuda a identificar e a priorizar potenciais falhas nos equipamentos e processos, é mais conhecida pela sigla em inglês FMEA (*Failure Mode and Effect Analysis*). Essa metodologia hierarquiza os potenciais falhas além de fornecer recomendações de ações com o foco em prevenir que ocorrências ocorram. (KARDEC; NASCIF, 2009).

Palady, afirma dois tipos distintos de FMEA:

- FMEA no projeto: realizado para banir as causas de falha no decorrer do projeto do equipamento, considerando os aspectos de manutenibilidade até aspectos de segurança.
- FMEA no processo: tem como foco no modo em que o equipamento é condicionado e atuado.

A classificação das falhas é importante para uma melhor análise dos resultados do FMEA. Para isso é necessário realizar uma priorização pelo índice conhecido como grau de priorização de risco, do inglês *risk priority number* (RPN), constituído das seguintes classificações: Severidade; Ocorrência; e Detecção.

Essa forma de priorização é o produto dos indicadores: severidade (média aritmética que os valores compõem a gravidade da falha), ocorrência (frequência que o modo de falha ocorre) e detecção (facilidade que o modo de falha é detectável). Para o cálculo é utilizado valores na escala de 1 a 10, na qual o valor 10 são para situações com elevadas intensidades e o valor 1 para ocorrências brandas (FOGLIATTO; RIBEIRO, 2013).

Seguem a formula para o cálculo:

$$RPN = \textit{Severidade} \times \textit{Ocorrência} \times \textit{Detecção}$$

Para determinar os pesos de cada uma das classificações, a RPN tem recomendações a serem seguidas conforme as experiências de cada empresa. Vide tabela a seguir:

Tabela 1 - Componentes do RPN

Componente do RPN	Classificação	Peso
Severidade (S)	Muito Baixa	1
	Baixa	2,3
	Moderada	4,5,6
	Alta	7,8
	Muito alta	9,10
Ocorrência (O)	Muito Baixa	1
	Baixa	2,3
	Moderada	4,5,6
	Alta	7,8
	Muito alta	9,10
Detecção(O)	Muito Provável	1
	Provável	2,3
	Moderada	4,5,6
	Difícil	7,8
	Muito Difícil	9,10
RPN	Baixo	1 a 50
	Médio	50 a 100
	Alto	100 a 200
	Muito Alto	200 a 1000

FONTE: Adaptado Kardec e Nascif (2009)

5. Considerações Finais

A termografia em atividades de manutenção elétrica possibilita um ganho considerável na confiabilidade e disponibilidade do sistema elétrico. É também caracterizada como uma manutenção preditiva com a vantagem de não haver a necessidade de intervenção no sistema em análise, sendo possível programar a manutenção preventiva com o mínimo de impacto. O termovisor se tornou um equipamento de extrema necessidade para o setor elétrico, muitos possíveis defeitos invisíveis a olho nu podem ser descobertos com a técnica da termografia.

A aplicação da termografia pode apresentar resultados satisfatórios e alta confiabilidade em sua utilização, podendo-se atingir o diagnóstico do componente elétrico defeituoso. Características como a capacidade de detectar defeitos em estágios iniciais, realizar inspeções com os equipamentos em operação e a distâncias seguras e possuir uma grande agilidade na aquisição das medidas, ajudam a satisfazer as necessidades de um mercado competitivo, com grande exigência na redução de custos e no aumento da confiabilidade e disponibilidade dos ativos comprova a eficácia da manutenção preditiva somando as técnicas de manutenção centrada na confiabilidade.

Estima-se que com a execução da manutenção centrada na confiabilidade seja possível reduzir e analisar os defeitos devido a temperatura, possibilitando a identificação de quais são os defeitos mais frequentes e com maior impacto para a empresa. Com isso, procura-se reduzir o retrabalho e aumentar a eficiência dos processos, levando à redução dos custos.

Este trabalho possibilitou investigar e propor soluções relacionadas ao tema termografia utilizando método de manutenção centrada na confiabilidade. Com o estudo da literatura foi possível aprofundar e identificar a necessidade da utilização MCC e de ferramentas de análise dos modos de falhas e efeitos. Podemos dizer que a temperatura de aquecimento e um fator importantíssimo na decisão de prioridades de manutenção, a eficácia da MCC depende do apoio ativo de líder de equipe, técnicos de campo registrando ocorrências, potenciais falhas.

Podemos concluir com a implementação de estratégias manutenção adequadas tais como análises termográficas aliada a manutenção centrada na confiabilidade, demonstra que é possível elevar a confiabilidade dos dispositivos elétricos, redução de custos de manutenção, acidente paradas não programadas.

Espera-se que este estudo possa fundamentar outros estudos da engenharia elétrica, acerca da termografia, e MCC afim de auxiliar profissionais para desenvolver tais projetos, que buscam confiabilidade de equipamentos e redução de acidentes.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Associação Brasileira De Normas Técnicas – ABNT. **Confiabilidade e manutenibilidade – NBR 5462**, Rio de Janeiro, 1994.

Associação Brasileira De Normas Técnicas – ABNT. **Ensaio não destrutivo – Termografia - Terminologia – NBR 5424**, Rio de Janeiro, 2016

PEREIRA, Mário Jorge. **Engenharia de Manutenção – Teoria e Prática**. Rio de Janeiro: Editora Ciência Moderna Ltda., 2011.

ALMEIDA, M. T., **Manutenção preditiva: benefícios e lucratividade**. MTA, 2011. Disponível em: Acesso em: 10 set. 2018.

FILHO, Gil B. **Dicionário de Termos de Manutenção, Confiabilidade e Disponibilidade**. 4. ed. Rio de Janeiro. Ed. Ciência Moderna Ltda, 2006

KARDEC, Alan; NASCIF, Júlio; BARONI, Tarcísio. **Gestão Estratégica e Técnicas Preditivas**. Rio de Janeiro. Qualitymark, 2007

KARDEC, Alan; NASCIF, Júlio. **Manutenção: Função Estratégica**. 3ª ed. Rio de Janeiro. Qualitymark, 2009

FOGLIATTO, Flávio Sanson; RIBEIRO, José Luis Duarte. **Confiabilidade e Manutenção Industrial**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2009

MUNIZ, Pablo Rodrigues; MENDES, Mariana Altoé . **Termografia infravermelha aplicada à manutenção elétrica: dos fundamentos ao diagnóstico**. Vitória, ES. Edifes, 2019

MOUBRAY, J. **Reliability-centred Maintenance**. 1997

XENOS, Harilaus G. **Gerenciando a Manutenção Produtiva: O Caminho para Eliminar Falhas nos Equipamentos e Aumentar a Produtividade**. 1.ed. Rio de Janeiro: EDG, 1998. 302 p.

SLACK, N.; CHAMBERS, S.; JOHNSTON, R. **Administração da Produção**. São Paulo: Atlas, 2002. 703 p.

PALADY, Paul. **FMEA: Análise dos modos de falha e efeitos: prevendo e prevenindo problemas antes que ocorram**. São Paulo. IMAM, 1997

PELIZZARI, E. et al. **Aplicações da termografia** como ferramenta de manutenção preditiva em conectores elétricos. CBECimat - Congresso Brasileiro de 25 Engenharia e Ciência dos Materiais. Foz do Iguaçu, PR: [s.n.]. 2006. p. 6315- 632