

Inspeção em Subestações Utilizando a Termografia

Inspection of Electrical Substations Using Thermography

Breno de Sousa Monteiro¹

Marcelo Faleiro Fernandes²

Arlete Vieira da Silva³

Leonardo Henrique de Melo Leite⁴

RESUMO:

Atualmente as indústrias de processos têm enfrentado desafios comuns: redução de custos, aumento do tempo de operação das máquinas visando o aumento de produção e outros problemas diversos inerentes a qualquer unidade produtiva. Com isso, a busca de técnicas que possibilitam solucionar esses desafios tornou-se intensa. Uma destas alternativas é a programação de intervenções através do acompanhamento da qualidade de funcionamento das máquinas, conhecidas por Manutenção Preditiva ou Manutenção por Condição. Nos sistemas elétricos de potência, a subestação de energia é uma instalação elétrica que comporta equipamentos para transmissão e distribuição de energia elétrica, além de equipamentos de proteção e controle. Qualquer falha em um dos seus componentes críticos pode acarretar na parada inesperada e indeterminada de algum sistema, comprometendo o fornecimento de energia. A termografia infravermelha é uma das principais técnicas utilizadas na manutenção preditiva de equipamentos e, se corretamente utilizada, torna-se uma ótima ferramenta para realizar inspeções em subestações, detectando defeitos em seus estágios iniciais e evitando paradas não programadas. A aplicação dessa técnica, aumenta a segurança nas inspeções e o tempo entre paradas para manutenção, aumentando a confiabilidade do sistema elétrico e reduzindo custos. Esse artigo tem como objetivo apresentar as vantagens técnicas e economia da utilização da termografia infravermelha em um estudo de caso aplicado à Usina de Pelotização Vargem Grande – VALE reduzindo assim paradas inesperadas e economia alcançada.

Palavras Chave: Termografia, Preditiva, Subestação, Paradas, Manutenção.

ABSTRACT:

Currently the process industries have faced common challenges: cost reduction, increased operating time of machines in order to increase production and many other problems inherent in any production unit. Thus, the search for techniques that allow solving these challenges became intense. One of these alternatives is programming interventions by monitoring the quality of operation of the machines, known as Predictive Maintenance and Condition Maintenance by. In power systems, the substation is an electrical installation which includes equipment for transmission and distribution of electricity, as well as control and protection equipment. Any failure in one of its critical components can result in unexpected stop and some indeterminate system, compromising the power supply.

¹ Graduando em Engenharia Elétrica. UNIBH, 2013, MG. Emai: breno.souza.monteiro@vale.com

² Graduando em Engenharia Elétrica. UNIBH, 2013, MG. Emai: mfaleiro@gmail.com

³ Mestre em Geografia e Análise Ambiental. UFMG, 2002. Professora e coordenadora de Curso de tecnologia em manutenção do Centro Universitário de Belo Horizonte UNI-BH. Belo Horizonte, MG. Email: arlete.silva@prof.unibh.br

⁴ Mestre em Engenharia de Computação e Telecomunicações pela Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG, 2005. Engenheiro Sênior da FITec – Fundação para Inovações Tecnológicas - Professor do Centro Universitário de Belo Horizonte UNI-BH. Belo Horizonte, MG. Email: lleite@fitec.org.br

Infrared thermography is one of the main techniques used in predictive maintenance of equipment and, if used correctly, it is a great tool to perform inspections in substations, detecting defects at an early stage and avoid unplanned shutdowns. The application of this technique increases safety inspections and the time between outages, increasing the reliability of the electric system and reducing costs. This article aims to present the technical and economic advantages of the use of infrared thermography in a case study applied to the Pellet Plant Vargem Grande - VALE reducing unexpected downtime and savings achieved.

KEYWORDS: Thermography, Predictive, Substation, Stops, Maintenance.

1. INTRODUÇÃO

Quando se coloca em produção uma máquina nova, espera-se que a mesma tenha vida longa e isenta de problemas. Mas deficiências de projeto, erros de especificações, problemas de fabricação, transporte, instalação e manutenção inadequados podem conduzir a equipamentos pouco confiáveis. Nas técnicas de manutenção atuais não há mais interesse em simplesmente reparar um equipamento defeituoso, mas sim em conhecer e eliminar as causas dos defeitos. Essa manutenção chama-se Preditiva.

A manutenção Preditiva diferencia-se da corretiva pelo fato de que a intervenção no equipamento somente ocorrerá a partir do momento em que este apresentar os sinais de falha, enquanto que na manutenção corretiva faz-se quando o equipamento quebra, implicando aumento de custos de manutenção (horas de parada, mão-de-obra, falta de reposição, etc.).

A manutenção Preditiva se utiliza da análise de vibrações, termografia, ferrografia, análise de óleo, etc., para realizar uma avaliação segura das condições de funcionamento dos equipamentos, acompanhando a evolução de falhas detectadas nas máquinas. Com isso, é possível fornecer previsões de falha dos equipamentos, garantindo a operação sem riscos de falhas inesperadas até a execução de uma parada planejada.

A 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. Com essa aplicação pode-se monitorar eficazmente: linhas de transmissão aérea, subestações, transformadores, bancos de capacitores, fontes tiristorizadas, dispositivos de operação dos circuitos, chaves seccionadoras, barramentos, fusíveis, disjuntores, interruptores, contadores, régua de bornes, entre outros.

A proposta dessa pesquisa consistiu em comprovar as vantagens técnicas e econômicas que a termografia pode proporcionar na manutenção, aumentando a confiabilidade, segurança e otimização das subestações.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. MANUTENÇÃO

A manutenção, derivada do latim, "Manutenere", que significa "ter na mão", destina-se a restituir ou manter o estado operacional de um equipamento em suas condições normais, proporcionando assim sua efetiva produtividade e qualidade de produção. Esse conceito é alcançado pela detecção de desgastes e falhas nos equipamentos, de maneira econômica e em equipamentos selecionados de importância para o parque fabril (críticos). De acordo com MIRSHAWKA (1991, p. 103), a definição de manutenção é "... o conjunto de ações que permitem manter ou restabelecer um bem a um estado específico ou, ainda, assegurar um determinado serviço". O objetivo principal de um departamento de manutenção é manter os equipamentos que estão sobre sua responsabilidade, em condições de funcionamento para atendimento as funções deles requisitadas.

Embora a manutenção, seja conhecida em muitos casos, como um “mal necessário”, devido ao elevado custo, ele é essencial para a continuidade dos negócios a partir de um bom gerenciamento dos equipamentos e recursos, o setor de manutenção torna-se indispensável. A manutenção é considerada um setor de serviço devendo ser realizado de forma correta, pois influencia diretamente na produção. A manutenção deve ser realizada utilizando-se de ferramentas e tecnologias mais apropriadas a cada processo.

Pode-se separar a manutenção da atualidade em três principais tipos:

Manutenção Corretiva: 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.

Manutenção Preventiva: VIANA (2002, p.10) a define como: “todo o serviço de manutenção realizado em máquinas que não estejam em falha, estando com isto em condições ou estado de zero defeito”. A Manutenção Preventiva atua em intervalos fixos, baseados no histórico de vida de componentes do equipamento que obteve a partir da experiência ou a do construtor com o intuito de eliminar a chance de ocorrer qualquer falha.

Manutenção Preditiva: A manutenção preditiva é a execução da manutenção no momento adequado, antes que o equipamento apresente falha, e tem a finalidade de evitar a falha funcional ou evitar as conseqüências desta (MOUBRAY, 1997). Baseada na análise da evolução supervisionada de parâmetros significantes da deterioração do componente, permitindo alongar e planejar intervenções. A manutenção preditiva pode significar uma economia igual a 30 vezes o valor investido. Consiste no planejamento antecipado das intervenções corretivas, a partir da aplicação sistemática de uma ou mais técnicas de monitoração, como: análise de vibrações de equipamentos rotativos e alternativos; análise de corrente e fluxo magnético de motores elétricos; análise de óleo lubrificante (tribologia e ferrografia); termografia de sistemas elétricos e mecânicos; ultra-som para detecção de vazamentos e descontinuidades; etc.

2.2. TERMOGRAFIA

“A termografia é uma técnica de ensaio não destrutivo que permite o sensoriamento remoto de pontos ou superfícies aquecidas por meio da radiação infravermelha” (VIANA 2002, p. 14).

De acordo com MGS (2013) a inspeção termográfica é uma técnica capaz de medir à distância, a temperatura de cada ponto de um componente. Simultaneamente, permite mostrar uma representação visual desta temperatura. A inspeção Termográfica é feita através da análise da energia térmica "movimento por meio de calor", emitida por algum equipamento ou sistema elétrico. Quanto mais elevada for à temperatura de um objeto, maior será a radiação infravermelha por ele emitido. Problemas de temperatura elevada são muitas vezes indicadores potenciais de falha de um determinado componente sejam por fadiga ou alteração do sistema.

Em geral, uma falha eletromecânica é antecedida pela geração e troca de calor. Este calor se traduz habitualmente em uma elevação de temperatura que pode ser repentina mas que, em geral, dependendo do objeto, começa a manifestar-se em pequenas variações.

As Figuras 1 e 2 ilustram a aplicação da termografia para detecção de pontos onde podem acarretar futuras falhas.

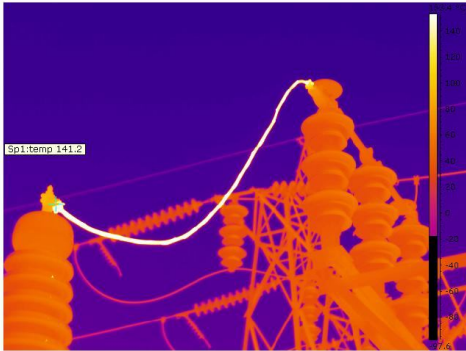


Figura - 1 – Aplicação da termografia na inspeção elétrica

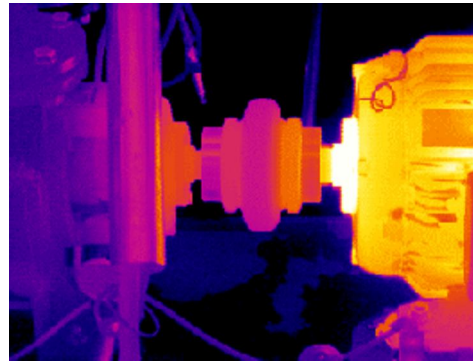


Figura - 2 - Aplicação da termografia na inspeção mecânica

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. Os benefícios incluem a redução de custos com economia de energia, proteção dos equipamentos, velocidade da inspeção e tempo de reparação.

2.3. TERMOVISOR

De acordo com FLIR (2013), pode-se definir o termovisor como um dispositivo que captura a energia infravermelha (o calor) emitida pelo objeto enquadrado pelas lentes e converte esta energia, que é concentrada pelas lentes em um detector infravermelho, formado por milhares de sensores infravermelhos (pixels), em um sinal eletrônico.

Este sinal é processado de forma a mostrar a imagem térmica em um display ou monitor de vídeo ao mesmo tempo em que se calcula a temperatura de cada pixel. A precisão de uma câmera infravermelha depende de vários componentes como as lentes, filtros, o detector, circuitos de leitura e tratamento de sinal e programas de linearização e compensação. É um equipamento industrial de ampla aplicação, a qual identifica as ondas infravermelhas convertendo em imagens visíveis ao olho humano.

A Figura 3 ilustra uma câmera termográfica de alta definição.



Figura 3- Termovisor

2.4. SUBESTAÇÃO

Segundo BANCK E GASQUES (2009), uma subestação é uma instalação elétrica de alta potência, contendo equipamentos para transmissão e distribuição de energia elétrica, além de equipamentos de proteção e controle.

Os mesmos autores afirmam ainda que, ela funciona como ponto de controle e transferência em um sistema de transmissão de energia elétrica, direcionando e controlando o fluxo energético, transformando os níveis de tensão e funcionando como pontos de entrega para consumidores industriais.

As manutenções nas subestações consistem na intervenção periódica e planejada com amplo escopo de inspeções (análise de óleo, termografia, etc), testes e limpeza de componentes e equipamento de isolamento, manobra e proteção. O objetivo principal da manutenção é o prolongamento da vida útil de todos os ativos elétricos.

O grande potencial da termografia na manutenção das subestações é a identificação de pontos quentes, em componentes e instalações, que poderão gerar falhas de horas de paradas e a segurança por não haver contato com os circuitos energizados.

2.5. PDCA

O ciclo PDCA é um método gerencial de tomada de decisões para garantir o alcance das metas necessárias à sobrevivência de uma organização. Segundo ISHIKAWA (1989, 1993) e CAMPOS (1992, 1994) o ciclo PDCA (Plan, Do, Check, Action) é composto das seguintes etapas:

- Planejamento (P): Essa etapa consiste em estabelecer metas e estabelecer o método para alcançar as metas propostas.
- Execução (D): Executar as tarefas exatamente como foi previsto na etapa de planejamento e coletar dados que serão utilizados na próxima etapa de verificação do processo. Na etapa de execução são essenciais educação e treinamento no trabalho.
- Verificação (C): A partir dos dados coletados na execução comparar o resultado alcançado com a meta planejada.
- Atuação Corretiva (A): Etapa que consiste em atuar no processo em função dos resultados obtidos, adotando como padrão o plano proposto, caso a meta tenha sido atingida ou agindo sobre as causas do não atingimento da meta, caso o plano não tenha sido efetivo.

Ainda segundo o autor, para entender o papel das ferramentas da qualidade dentro do ciclo do PDCA, deve-se novamente destacar que a meta (resultado) é alcançada por meio do método (PDCA). Quanto mais informações (fatos, dados, conhecimentos) forem agregadas ao método, maiores serão as chances de alcance da meta e maior será a necessidade da utilização de ferramentas apropriadas para coletar, processar e dispor estas informações durante o giro do PDCA. Vale destacar que o aumento da sofisticação das ferramentas empregadas deverá ocorrer em função do aumento da capacidade de alcance das metas.

O ciclo do PDCA na inspeção termográfica começa pelo planejamento das rotas de inspeção, em seguida são executadas as rotas planejadas e realizado intervenções nos pontos onde a temperatura estava anormal.

Depois de executar intervenção nos pontos, checa-se o que foi feito, constantemente e repetidamente e toma-se uma ação para eliminar ou ao menos mitigar defeitos no equipamento ou na produção.

3. METODOLOGIA

A pesquisa aplicada para este trabalho consiste na análise termográfica de componentes das subestações elétricas da Usina de Pelotização Vargem Grande – VALE, empresa localizada na cidade de Nova Lima.

Quanto à natureza da pesquisa, trata-se de uma pesquisa aplicada ou tecnológica, onde serão aplicados os conhecimentos básicos e seus resultados terão aplicação prática na solução de problemas futuros.

O procedimento utilizado foi definido como sendo um estudo de caso, o qual investiga em campo as práticas das inspeções termográficas em componentes elétricos. Gil (1991, p.54) define estudo de caso como “estudo profundo e exaustivo de um ou poucos objetos, de maneira que se permita o seu amplo e detalhado conhecimento”.

Para realização da pesquisa de campo, se empregou a técnica termográfica para inspeção térmica, utilizando-se aparelho termovisor marca FLIR, modelo P660. O planejamento das atividades e as ações desenvolvidas atenderam a todos os requisitos de segurança aplicáveis à área a ser inspecionada (NR 10), realizado juntamente com o responsável pela área uma análise de risco da tarefa (ART), quando necessário.

4. Resultados e Discussão

4.1 INSPEÇÃO TERMOGRÁFICA

4.1.1 CENÁRIO DE APLICAÇÃO

Foi realizada inspeção termográfica em todas as subestações da usina, onde as mesmas são compostas por banco de capacitores, disjuntores, transformadores, chaves seccionadoras, relés, para raios, contatores, etc. Destaca-se esta inspeção realizada em setembro de 2010.

4.1.2 REALIZAÇÃO DAS INSPEÇÕES

Foi realizada a inspeção com 2 (dois) técnicos eletricitas treinados, habilitados, autorizados e capacitados conforme NR10 nos seus itens 10.6 e 10.7. O termografista é treinado e certificado em termografia conforme norma ISO 18436-8. Foi utilizado também o procedimento interno número PRO6132, onde encontra-se relatados todos os pré-requisitos para execução da mesma.

Para a realizações das inspeções foi utilizado a câmera termográfica FLIR P660, de alta resolução (640x480 pixels), range de medição de -40°C a $+500^{\circ}\text{C}$, lentes infravermelhas intercambiáveis, foco manual e automático entre outras características.

4.2 APLICAÇÃO DO PDCA

4.2.1 PLANEJAMENTO DAS AÇÕES (P)

O planejamento das ações foi iniciado pela identificação dos pontos para intervenção. Após realização da Termografia nas subestações da usina foram encontrados seis pontos com temperatura anormal (PTA). Pode-se visualizar os PTA's nas Figuras 4, 5, 6, 7, 8 e 9. Essas figuras são da medição inicial a qual foi detectada a existência de algum problema, devido a sua temperatura de trabalho estar acima do especificado.

A Figura 4 ilustra o transformador 720TF01 localizado na subestação 720SE01, apresentando aquecimento na conexão da bucha de entrada fase "S" com temperatura de $43,6^{\circ}\text{C}$. Conexão de entrada fase "R" com temperatura de $18,8^{\circ}\text{C}$, resultando assim em um Δt de $24,8^{\circ}\text{C}$ entre fases.

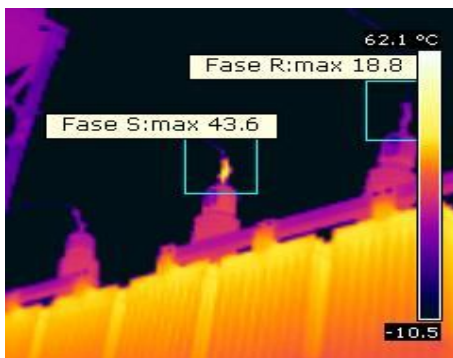


Figura - 4 – Trafo 720TF01

A Figura 5 ilustra o disjuntor DISJ252 localizado na subestação 720SE01, apresentando aquecimento conexão de entrada fase "R" com temperatura de $21,7^{\circ}\text{C}$, conexão de entrada fase "T" com temperatura de $16,2^{\circ}\text{C}$, resultando assim em um Δt de $5,5^{\circ}\text{C}$ entre fases.

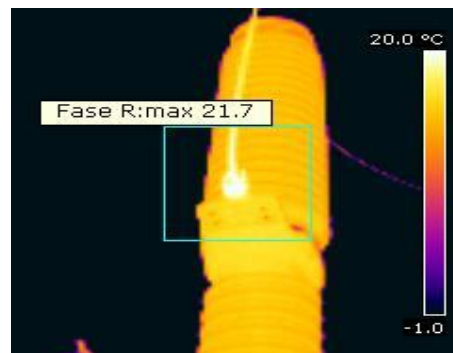


Figura - 5 – Disjuntor DISJ 252

A Figura 6 ilustra a seccionadora SEC189E localizada na subestação 720SE01, apresentando aquecimento conexão de entrada fase "S" com temperatura de 31,3°C. Conexão de entrada fase "T" com temperatura de 16,6°C, resultando assim em um Δt de 14,7°C entre fases.

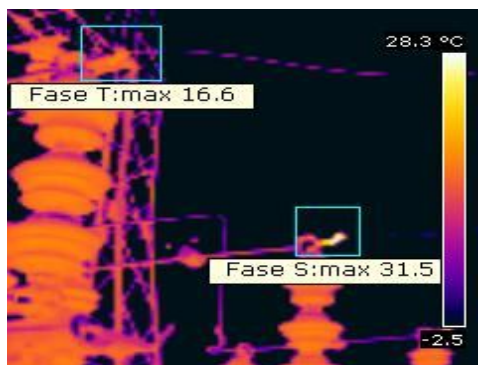


Figura - 6 – Seccionadora SEC189E

A Figura 8 ilustra a chave seccionadora A1, localizada no banco de capacitores 731BC01 da subestação 731SE02, apresentando aquecimento conexão superior do barramento fase "S" com temperatura de 102°C, conexão superior do barramento fase "R" com temperatura de 24,9 °C, resultando assim em um Δt de 77,1°C entre fases.



Figura - 8 – Barramento

A Figura 7 ilustra o conjunto Fusível F1, localizado no banco de capacitores 731BC01 da subestação 731SE02, apresentando aquecimento garra superior do porta fusível fase "S" com temperatura de 81°C, garra superior fase "R" com temperatura de 58,7°C, resultando assim em um Δt de 22,3 °C entre fases.

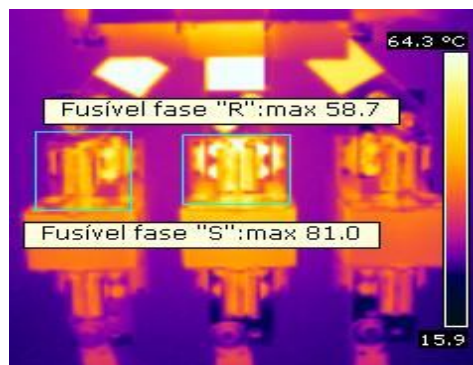


Figura - 7 – Conjunto Fusível F1

Figura 9 ilustra o contator K2 ventilação, localizado no painel de alimentação do inversor de frequência 734PV07 da subestação 734SE05, apresentando aquecimento terminação do cabo de entrada fase "R" com temperatura de 85,2°C. Terminação cabo de entrada fase "T" com temperatura e 46°C, resultando assim em um Δt de 39,2°C entre fases.

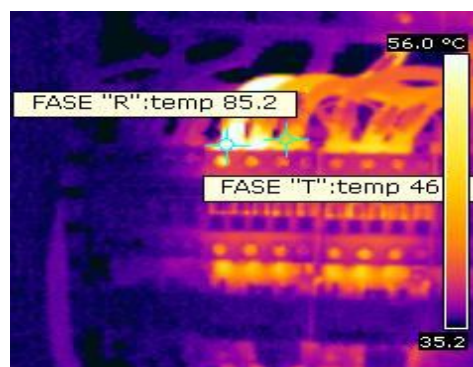


Figura - 9 – Contator K24

Com o intuito de solucionar os problemas nos pontos monitorados foi sugerido o plano de ação, conforme Tabela 1.

Tabela 1 – Plano de ação

| Equipamento | Plano de ação |
|-------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 720TF01 | Realizar limpeza nas superfícies de contato da conexão de entrada fase "S" e verificar aperto dos parafusos das conexões de entrada fases "R", "S" e "T". |
| SEC189E | Realizar limpeza nas superfícies de contato da conexão de entrada fase "S" e verificar aperto dos parafusos das conexões de entrada fases "R", "S" e "T". |
| DISJ252 | Realizar limpeza nas superfícies de contato da conexão de entrada fase "R" e verificar aperto dos parafusos das conexões de entrada fases "R", "S" e "T". |
| 731BC01 | Conjunto Fusível NH: Fazer limpeza nas superfícies de contato da garra do porta fusível fase "S" e verificar aperto dos parafusos das conexões fases "R", "S" e "T". |

| | |
|---------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 731BC01 | Chave Seccionadora: Fazer limpeza nas superfícies de contato da conexão superior do barramento fase "S" e verificar aperto dos parafusos das conexões de entrada |
| 734PV07 | Refazer terminação cabo de entrada fase "R" e verificar aperto das conexões de entrada e saída do Contator K2. |

Fonte: VALE, 2010.

4.2.2 EXECUÇÃO DAS AÇÕES (D)

Na parada de usina já anteriormente prevista para manutenção foram programadas e executadas as ações como planejadas, conforma tabela 1. Durante o processo de inspeção termográfica foram detectados pontos chave nos equipamentos que evidenciam potenciais falhas, comprovando a eficácia da ferramenta, como podem ser visto nas Figuras 10 e 11.

O Disjuntor DISJ 252 apresentava parafusos frouxos, com grande potencial de falha. Pode se observar no termograma mostrado anteriormente, associados a esse elemento, que a diferença de temperatura (Δt) entre fases foi de 5,5°C. Esse valor é pequeno devido à 720SE01 ser uma subestação de 138KV, ou seja, alta tensão e baixa corrente, mas o suficiente para indicar anomalia.

Já o elemento 731BC01 apresentou conexão do barramento de entrada da chave seccionadora e o termocontrátil carbonizados.

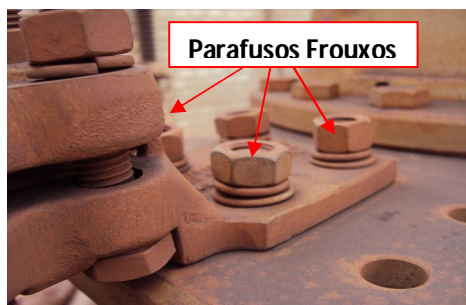


Figura - 10 – Foto DISJ 252



Figura - 11 – Foto 731BC01

4.2.3 VERIFICAÇÃO (C)

Após as intervenções propostas foi realizada nova inspeção termográfica nos pontos com temperatura anormal. Como pode ser vistos nas Figuras 12, 13, 14, 15, 16 e 17 as intervenções surgiram efeito, resultando em atenuação dos níveis de temperaturas dos pontos citados anteriormente.

Como se trata de circuitos trifásicos e equilibrados as temperaturas das conexões de um mesmo circuito devem ser bem próximas.

Figura 12 ilustra o trafo 720TF01 após intervenção, apresentando condições normais de funcionamento, tendo em vista que o Δt máximo permitido em conexões de alta tensão é 5°C.

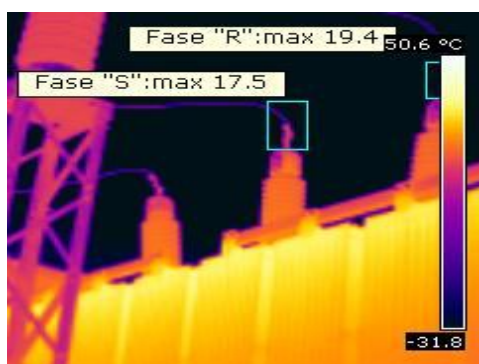


Figura - 12– Trafo 720TF01

Figura 13 ilustra a chave seccionadora SEC189E após intervenção, apresentando condições normais de funcionamento, tendo em vista que o Δt máximo permitido em conexões de alta tensão é 5°C.

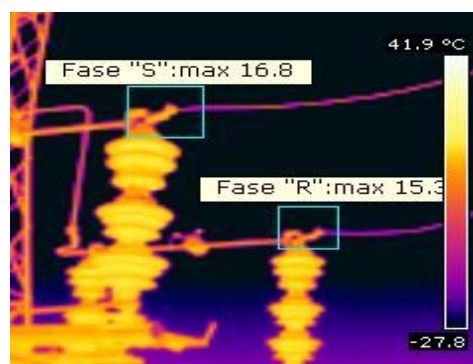


Figura – 13– Seccionadora SEC189E

Figura 14 ilustra o disjuntor DISJ252 após intervenção, apresentando condições normais de funcionamento, tendo em vista que o Δt máximo permitido em conexões de alta tensão é 5°C.

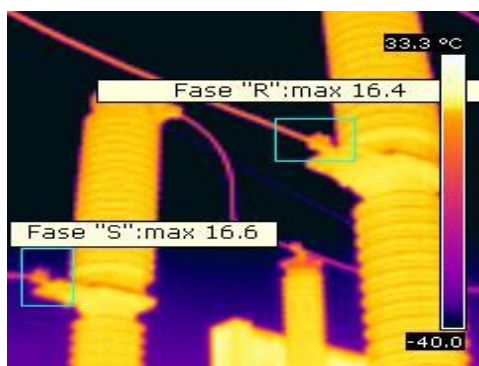


Figura - 14- Disjuntor DISJ 252

Figura 15 ilustra o conjunto Fusível F1, localizado no banco de capacitores 731BC01 após intervenção, apresentando condições normais de funcionamento, tendo em vista que o Δt máximo permitido em conexões de media tensão é 8°C.

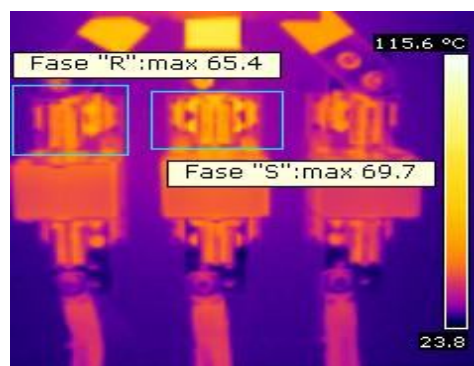


Figura - 15- Conjunto Fusível F1

A Figura 16 ilustra a chave seccionadora A1, localizada no banco de capacitores 731BC01 após intervenção, apresentando condições normais de funcionamento, tendo em vista que o Δt máximo permitido em conexões de media tensão é 8°C.

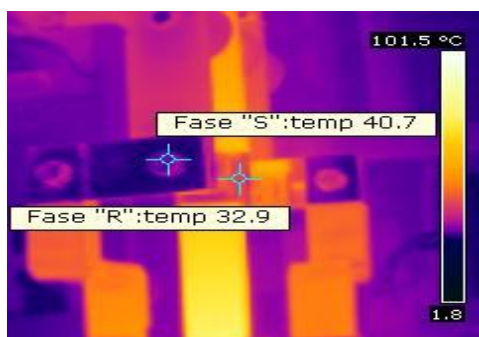


Figura - 16- Barramento

A Figura 17 ilustra o contator K2 ventilação localizado no painel de alimentação do inversor de frequência 734PV07 após intervenção, apresentando condições normais de funcionamento, tendo em vista que o Δt máximo permitido em conexões de media tensão é 8°C.

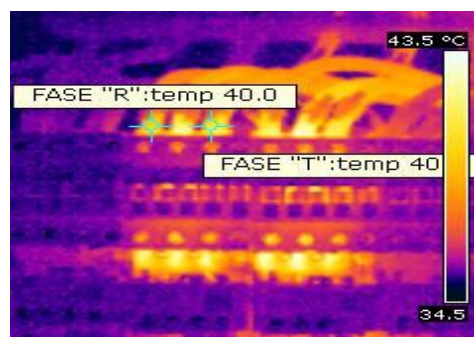


Figura - 17- Contator K2

4.2.4 AÇÃO CORRETIVA (A)

Como os pontos quentes foram eliminados, os equipamentos foram liberados para funcionamento em produção, sendo determinado pelo setor de engenharia a realização da manutenção termográfica em todas as subestações de energia elétrica da usina de 90 em 90 dias.

4.3 ANÁLISE DA EFICÁCIA DA INSPEÇÃO

Após atuação nos pontos encontrados, foi analisada a eficácia da inspeção. Essa análise consistiu no levantamento, junto a equipe de manutenção elétrica, do tempo gasto para resolver os problemas encontrados em cada equipamento inspecionado e no cálculo da perda de produção, caso não tivesse sido realizado a manutenção termográfica. No caso de ocorrer uma falha sem programação, o tempo de reparo é indeterminado, visto que existiriam muitas variáveis como: tempo necessário para localizar o local da falha; tempo necessário para localizar um componente novo para substituir; mão de obra disponível no momento da falha; tempo necessário para reparar o componente; etc.

A meta de produção no mês da intervenção era de 767 toneladas de pelotas de minério de ferro por hora. Considerando que a tonelada de pelotas é vendida em média à US\$ 248,74 (MI), e que os gastos para a produção da tonelada são de US\$ 27,99, o que gera um lucro líquido de US\$ 220,75 por tonelada, a intervenção através da técnica termográfica proporcionou uma economia considerável com os custos de perdas evitadas, conforme apresentado na Tabela 2:

Tabela 2 – Perdas Evitadas

| Equipamento | Lucro / Tonelada (US\$) | Média da Produção (ton/hora) | Tempo de Parada da Usina (horas) | Perdas Evitadas (US\$) | Perdas Evitadas (R\$) |
|--------------|-------------------------------|------------------------------------|----------------------------------------|------------------------------|--------------------------|
| 720TF01 | 220,75 | 767 | 2 | 338.630,5 | 585.830,76 |
| DISJ252 | 220,75 | 767 | 2 | 338.630,5 | 585.830,76 |
| SEC189E | 220,75 | 767 | 1 | 169.315,25 | 292.915,38 |
| 731BC01 | 220,75 | 767 | X | X | X |
| 734PV07 | 220,75 | 767 | 1 | 169.315,25 | 292.915,38 |
| Total | | | | | 1.757.492,29 |

Fonte: VALE, 2010.

As intervenções no banco de capacitor 731BC01 não afetam a produção. O dólar comercial na época da intervenção era de R\$1,73. A economia gerada na época foi de R\$ 1.757.492,29, levando em conta o tempo da intervenção programada e não a intervenção não programada que poderia levar muito mais tempo.

6. CONCLUSÃO

Pode-se constatar, a partir dos testes apresentados, que a aplicação da termografia apresentou resultados satisfatórios e alta confiabilidade em sua utilização, podendo-se atingir o diagnóstico do componente elétrico defeituoso.

A termografia é atualmente uma importante ferramenta de manutenção preditiva dentro do sistema elétrico. Características como a capacidade de detectar defeitos em estágios iniciais, realizar inspeções com os equipamentos em operação e à distâncias seguras, e possuir uma grande agilidade na aquisição das medidas, se adéquam inteiramente às necessidades de um mercado de energia competitivo, com grande exigência na redução de custos e no aumento da confiabilidade.

Outra redução nos gastos é em relação ao estoque, pois esse controle sobre os problemas em potencial permite um baixo investimento na estocagem de equipamentos e matérias. Sua vasta aplicação nas diversas áreas de componentes elétricos e equipamentos mecânicos garantem a sua versatilidade, o que aumenta sua utilização dentro de uma empresa.

O estudo de caso apresentado comprova a eficácia da inspeção e demonstra porque as empresas como a Vale utilizam a mesma em inspeções periódicas.

7. REFERÊNCIAS

BANCK, Geovane; GASQUES, Cleber. **Distribuição de Energia Elétrica**. Joinville/SC: Instituto Federal de Santa Catarina. 2009. 15p.

CAMPOS, Vicente Falconi, **Gerenciamento da Rotina do Trabalho do Dia a Dia**, 6ª Ed., Belo Horizonte, Editora de Desenvolvimento Gerencial, 1994. 278p.

CAMPOS, Vicente Falconi, **TQC – Controle da Qualidade Total (no estilo japonês)**, 8ª Ed., Belo Horizonte, Editora de Desenvolvimento Gerencial, 1999. 256p.

FLIR – **Termovisores**, São Paulo/SP : FLIR, ano 2013 Disponível em:
< <http://www.flir.com/thermography/americas/br/view/?id=56784>>. Acesso em: 10 ago. 2013.

GIL, Antônio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4º ed. São Paulo: Atlas 2002. 176p.

ISHIKAWA, Kaoru, **Controle de Qualidade Total: à maneira japonesa**. Rio de Janeiro. Campos, 1993. 221p.

ISHIKAWA, Kaoru, **Introduction to Quality Control**. Tokyo. 3A Corporation. 1989. 435p.

JUNG, Carlos Fernando. **Metodologia Para Pesquisa & Desenvolvimento**, Rio de Janeiro: Axcel Books do Brasil Editora, 2004. 312p.

KARDEC, Alan; NASCIF, Júlio. **Manutenção: função estratégica**. 2ª ed. Rio de Janeiro, RJ: Qualitymark, 2001.341p.

MGS – **Termografia**, Pedro Leopoldo/MG: MGS Tecnologia, ano 2013. Disponível em:
<<http://www.mgstecnologia.com.br/termografia.php>>. Acesso em: 28 ago. 2013.

MIRSHAWKA, Victor. **Manutenção preditiva: caminho para zero defeitos**. São Paulo: Makron Books, 1991. 318 p.

MOUBRAY, John. **Reliability centred maintenance**. 2 ed. Oxford: ButterworthHeinemann, 1997. 418p.

VIANA, Herbert Ricardo Garcia. **PCM, planejamento e controle de manutenção**. Rio de Janeiro, RJ: Qualitymark, 2002. 192 p.