

Manutenção preditiva com auxílio da termografia

Wallas Barcelos Barreto*

Resumo

As perdas de energia são cada vez menos aceitáveis em sistemas de geração e transmissão de energia elétrica. Juntamente, a redução das falhas catastróficas e dos prejuízos associados tem impulsionado o desenvolvimento de técnicas de inspeção e manutenção preditiva. Entre elas se encontra a termografia, técnica bastante empregada na inspeção de componentes e sistemas elétricos. Nesse sentido, o presente projeto buscou o desenvolvimento de processos de inspeção e qualificação de conectores elétricos utilizando-se da técnica termográfica. Os resultados apontaram para a importância do controle operacional através do monitoramento das variações térmicas decorrentes das condições de operação do serviço.

Palavras-chave: Ensaios não destrutivos. Termografia. Manutenção preditiva.

Introdução

As interrupções no fornecimento de energia elétrica por desligamentos imprevistos, além de causar desgaste na imagem das concessionárias e prejuízos para terceiros, trazem embutidos custos financeiros inaceitáveis, decorrentes da energia deixada de transmitir e dos danos causados em equipamentos elétricos. A decisão quanto a desligar ou não um sistema elétrico é crucial para quem trabalha em manutenção, uma vez que sempre permanece a dúvida quanto a preservar o equipamento ou deixar o consumidor sem energia. Considerando-se que a grande maioria das falhas nos sistemas elétricos é acompanhada ou precedida de sintomas que evidenciam a evolução de fenômenos térmicos, torna-se de grande importância para o setor o desenvolvimento de processos confiáveis de medida de temperatura.

Essa necessidade justifica-se pelo volume de sintomas associados à elevação de temperatura em sistemas elétricos. Por exemplo: a evolução de processos de corrosão ou mau contato produzem calor aumentando a resistência de contato "R" do material. O calor decorre da dissipação de potência no conector "Pn", sendo esta potência uma função do corrente passante "I" como apresentado em (A).

$$P R^* I^2 n = (A)$$

Como essa resistência de contato é diretamente proporcional à resistividade do material (a qual varia com a temperatura), elevações na temperatura aumentam a dissipação de calor e conseqüentemente as perdas de energia no sistema.

Nesse sentido, o presente trabalho busca o registro das variações térmicas de sistemas de conexão elétrica através da técnica termográfica. O trabalho também visa o desenvolvimento de um sistema de análise e qualificação de componentes elétricos através do desenvolvimento de equipamentos especiais de simulação de condições extremas de trabalho. Todo esse esforço tem o intuito de estudar e compreender os diferentes parâmetros externos que influem na qualidade dos resultados obtidos através da análise termográfica. Para tal, foram analisadas as normas vigentes para a utilização de conectores elétricos assim como avaliados os procedimentos e critérios padrões de inspeção termográfica.

Termografia

A termografia é uma técnica de inspeção não destrutiva e não invasiva que tem como base a detecção da radiação infravermelha emitida naturalmente pelos corpos com intensidade proporcional à sua temperatura. Através dessa técnica é possível identificar regiões, ou pontos, em que a temperatura está alterada com relação a um padrão preestabelecido. É baseada na medida da radiação eletromagnética emitida por um corpo a uma temperatura acima do zero absoluto.

Radiação

A radiação térmica é a energia emitida continuamente por todo corpo que se encontra a uma temperatura não nula. Essa energia é transmitida no espaço na forma de ondas eletromagnéticas ou fótons. A radiação não necessita de um meio para se propagar e sofre atenuação quando propagada em um meio que não seja o vácuo. O fluxo máximo de

* Técnico em Eletrotécnica pelo IF Fluminense, Campus Campos-Centro

radiação emitido por um corpo ideal à temperatura T é dado pela lei de Stefan-Boltzmann (B):

$$E_n = \sigma \cdot T_{sup}^4 \text{ (B)}$$

Onde T_{sup} é a temperatura absoluta (K) da superfície, σ é a constante de Stefan-Boltzmann ($\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4$) e E_n é a emitância do corpo negro, ou radiador ideal. O fluxo de radiação emitido por um corpo real, à mesma temperatura, é sempre menor do que a emitância do corpo negro, e é dado pela relação (C):

$$E_R = \epsilon \cdot \sigma \cdot T_{sup}^4 \text{ (C)}$$

Onde a emissividade, ϵ , tem valores na faixa de $0 \leq \epsilon \leq 1$ e E_R representa a capacidade de emissão de energia de uma superfície em relação ao corpo negro. A emissividade depende do tipo de material, de seu estado de degradação, da geometria superficial e de seu acabamento, principalmente. A radiação infravermelha é uma radiação eletromagnética localizada na parte invisível do espectro eletromagnético com comprimentos de onda longos dados por (D):

$$\lambda = \frac{T}{2,898 \cdot 10^{-3}} \text{ (D)}$$

A equação (D) descreve a relação entre o comprimento de onda λ (dado em metros) e a Temperatura absoluta da radiação. Uma vez definido isso, torna-se facilitada a escolha da faixa espectral de abrangência do termógrafo em função da temperatura a ser medida.

Os resultados obtidos com os termógrafos são apresentados instantaneamente, durante a inspeção, na forma de imagens térmicas ou termogramas, com o auxílio de um software adequado à técnica da termografia. Os termogramas representam as temperaturas dos corpos na forma de cores, e como a imagem obtida com o termógrafo é provida de uma escala que correlaciona cor e temperatura, é possível a obtenção de resultados esclarecedores quanto a problemas ligados direta ou indiretamente à temperatura. Com essas imagens, também é possível obter-se a temperatura em um ponto ou área do objeto analisado.

A termografia está fundamentada para a manutenção preventiva e preditiva em diversos segmentos, tais como: indústrias metalúrgicas, químicas, siderúrgicas, entre outras. Com o desenvolvimento tecnológico, cada vez mais as técnicas preditivas serão utilizadas na manutenção dos equipamentos e processos produtivos industriais como um dos fatores de aumento da produtividade.

O objetivo desses estudos é o desenvolvimento de sistemas mais confiáveis de calibração e padronização dos processos de manutenção preditiva através da técnica termográfica utilizados na inspeção de componentes elétricos. Para tal, foram selecionadas e analisadas amostras de conectores de derivação em cunha. Foram realizadas medidas da resistência de contato e monitoradas as temperaturas durante a aplicação de ciclos de corrente alternada em diferentes intensidades.

Materiais e Métodos

No estudo foi acoplado uma análise da variação térmica de conectores de derivação elétrica do tipo cunha. Esses conectores são fabricados em ligas de alumínio similar à liga SAE 444.0 de emissividade 0,64, e apresentam geometria compatível com os cabos de alumínio para linhas aéreas de 65 mm de seção.

Para a medição das temperaturas foram utilizados um registrador de temperaturas Modelo 4100G da ECIL com dois termopares tipo J acoplados – posicionados segundo a figura 1.

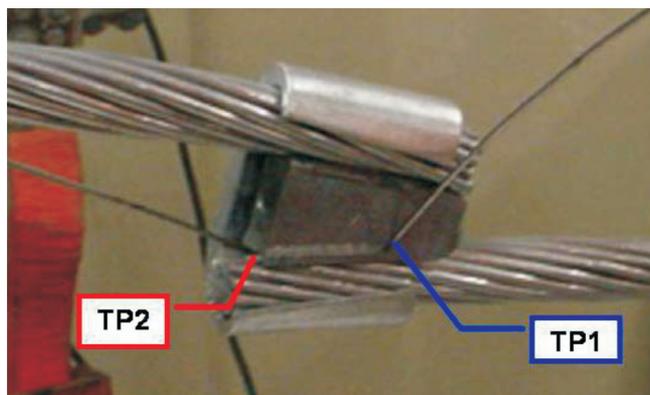


Figura 1 - Visualização do posicionamento dos termopares para a medição das temperaturas

Foi utilizada uma termocâmara modelo PV320 da Elettrophysics, a qual trabalha na faixa espectral de 7 a 14 μm . A resistência de contato foi medida utilizando-se um ohmímetro digital modelo ODI – 600 da NANSEN.

Foi montado um sistema de injeção de corrente composto de um transformador de corrente alternada, um varistor e um medidor de corrente modelo ET – 3850 da Minipa. O sistema foi montado com base na norma NBR 9326 – 1986. As correntes foram variadas até o valor limite de 675 A, correspondente a 125% da carga máxima a ser suportada pelo cabo segundo designação do fabricante.

A figura 2 apresenta uma visualização do sistema de medição montado.

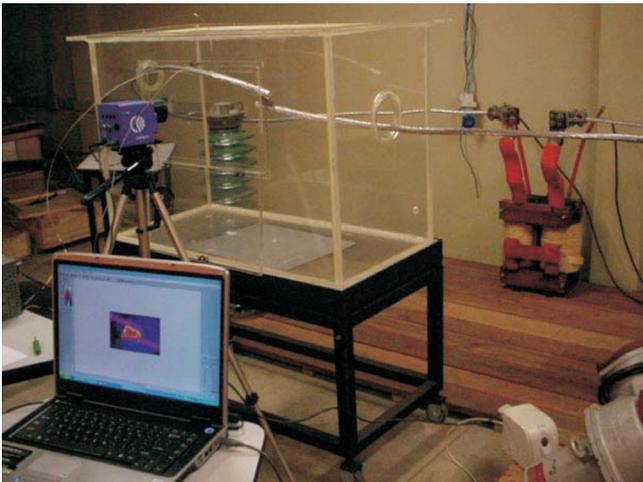


Figura 2 - Visualização do sistema de ensaios de injeção de correntes em conectores elétricos de derivação tipo cunha

Resultados e Discussão

Primeiramente, utilizando-se a equação (D) foi calculada a faixa de temperatura alcançada pelo termógrafo. A partir dos limites de comprimento de onda (7 e 14 μm) obteve-se a faixa de temperatura variante de -66 a 140°C.

A seguir foi injetada uma corrente alternada de 540 Amperes (100%) a qual foi mantida por duas horas visando determinar o tempo médio de estabilização da temperatura no conector. A figura 3 apresenta a curva de aquecimento da peça, monitorada pelo sistema de termopares.

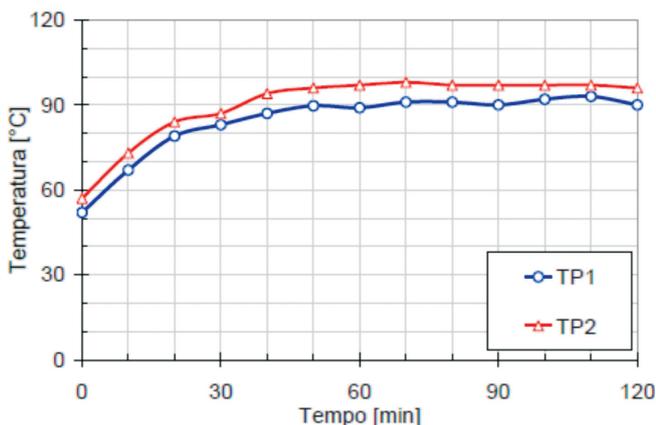


Figura 3 - Curva de aquecimento do conector submetido a uma corrente alternada de 540 A

Nota-se que foram necessários 60 minutos para estabilizar as temperaturas. Os demais ensaios foram conduzidos por esse período. A figura 4 apresenta a relação entre a temperatura e a corrente injetada no sistema de conexão. Nota-se que a temperatura cresce à medida que são elevadas as

correntes injetadas, alcançando-se valores de até 110°C acima da temperatura ambiente. Os valores mais elevados foram registrados pelo termopar 2. Isso era esperado devido ao aquecimento causado pelo atrito entre as duas superfícies (cabo + conector).

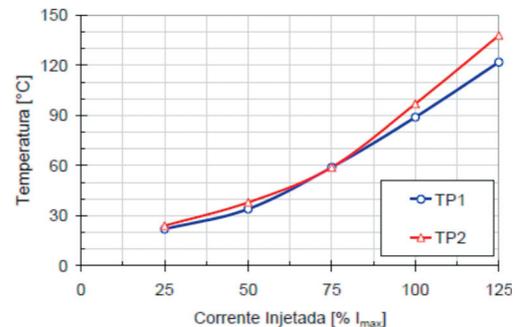


Figura 4 - Temperaturas x correntes injetadas no sistema medidas através dos termopares TP1 e TP2

Durante os ciclos de injeção de corrente, o sistema foi termografado, visando à melhor determinação das temperaturas decorrentes. As figuras 5 e 6 mostram os termogramas obtidos para os conectores sujeitos a correntes de 135 A (25%), 270 A (50%), 405 A (75%) e 540 A (100% da corrente máxima especificada), respectivamente.

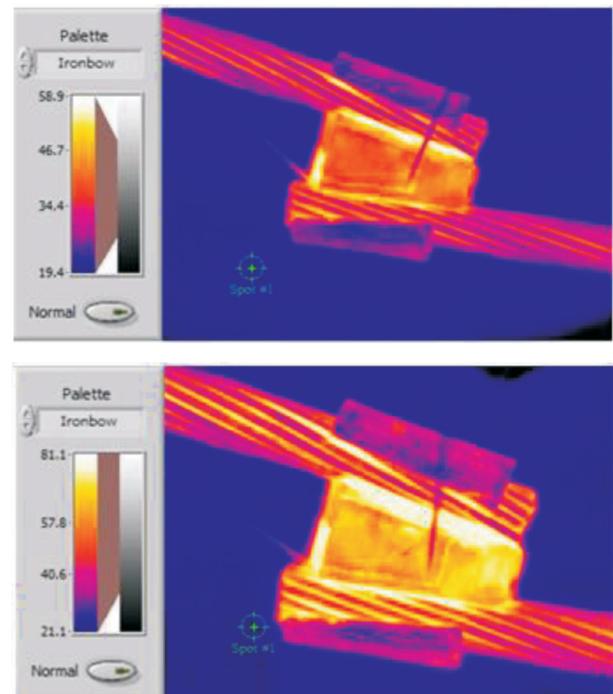


Figura 5 - Termogramas do conector submetido à injeção de correntes alternadas de 25 e 50%

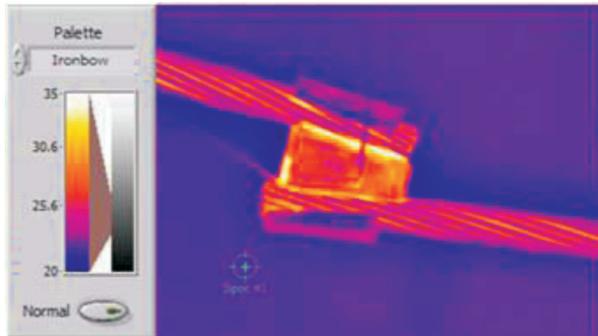
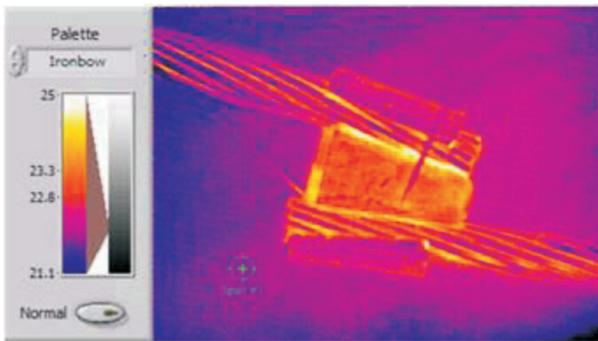


Figura 6 - Termogramas do conector submetido à injeção de correntes alternadas de 75 e 100%.

Nota-se a distribuição não uniforme de temperaturas no sistema. A área central do conector (próxima ao TP1) apresenta as maiores temperaturas, segundo a análise termográfica.

A figura 7 apresenta o termograma obtido para uma corrente injetada de 675 A, referente a 125% da carga máxima nominal suportada pelo conector.

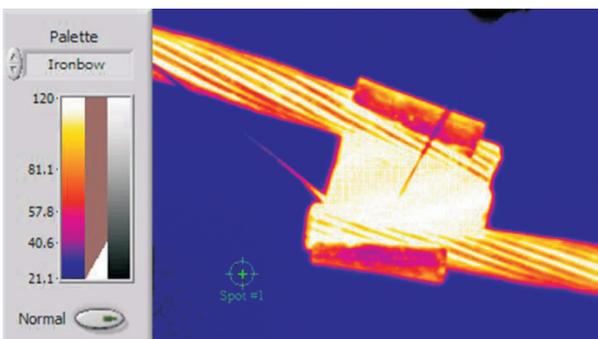


Figura 7 - Termograma do conector submetido à injeção de correntes alternadas de 125%

Nota-se nesse caso que a distribuição de temperaturas apresentou-se mais uniforme na zona central do conector, onde foram alcançados valores superiores à temperatura de 120°C, que pode ser considerada crítica para tais sistemas elétricos. Os valores obtidos por termografia apresentaram-se coerentes com os valores obtidos através do sistema de termopares, evidenciando a baixa ocorrência de perdas por convecção no sistema e a não homogeneidade nas distribuições de temperatura ao longo do componente. As

temperaturas alcançaram valores maiores no centro do conector, configurando-o como uma zona propícia à ocorrência de pontos quentes. A resistência de contato foi medida no início e no final do ciclo de injeção de correntes, injetando-se uma corrente alternada de 400 A no sistema. Foram obtidos valores de 350 μΩ (conector novo) e 378 μΩ (para o conector após o ciclo de injeção de correntes até 125% da corrente máxima).

Pela equação (A) podem-se calcular as potências dissipadas antes e depois do ciclo de corrente.

$$P = R \cdot I^2$$

$$P_0 = 353 \cdot 400^2 = 5,65 \text{ W} \quad (A)$$

$$P_{125} = 378 \cdot 400^2 = 6,05 \text{ W}$$

Esses cálculos mostram que sobrecargas de corrente resultam no aumento das perdas por dissipação de energia térmica, causando prejuízos para a concessionária.

Conclusões

Foram estudadas as características da câmera termográfica modelo PV 320, a qual mostrou-se indicada para a análise termográfica em laboratório de sistemas elétricos.

Foram estudadas as variações de temperatura em função da corrente alternada aplicada em conectores elétricos de derivação em cunha, em que foi verificada a dependência direta da temperatura com a intensidade da corrente aplicada. Esses resultados apontam para o aumento da energia elétrica dissipada através de calor à medida que os fenômenos de sobrecarga ocorrem.

Foram registradas variações de temperatura da ordem de 140°C, temperaturas consideradas críticas para as aplicações normais de sistemas elétricos.

Os resultados apontaram para a ocorrência de pontos quentes no centro do conector.

Dando continuidade ao trabalho, parâmetros climáticos serão variados e constatados com os valores de corrente e temperatura alcançados no sistema. Com esses valores, espera-se determinar a influência de tais parâmetros nas propriedades dos conectores assim como nas medidas termográficas.

Referências

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7271: Cabos de alumínio com alma de aço para linhas aéreas, 1988.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9326: Conectores para cabos de potência - Ensaio de ciclos térmicos e curto-circuito - Método de ensaio, 1986.

A BASIC guide to thermography. Land Instruments International, 2004.

DERENIAK, E. L.; BOREMAN, G. D. Infrared Detectors and Systems. New York: A Wiley Interscience Publication, 1996. 553p.

MALDAQUE, X. P. V. Nondestructive Evaluation of Materials by Infrared Thermography. Alemanha: Spring – Verlag, 1993. 207p.

PETROBRÁS. N – 2472: Ensaio não destrutivo: Termografia; Norma técnica. Petrobras S/A, 1998.

PETROBRÁS. N – 2475: Inspeção termográfica em sistemas elétricos. Norma técnica. Petrobras S/A, 2005.

