

Termografia Infravermelha Aplicada a Conexões Elétricas Defeituosas

Letícia Lustosa Schuína / Marcelo Brunoro / Pablo Rodrigues Muniz

Vitória, Espírito Santo, BR

lelelustosa_@hotmail.com / mbrunoro@ifes.edu.br / pablorm@ifes.edu.br

Resumo — Usualmente, defeitos em instalações elétricas são detectados de modo qualitativo por meio de inspeções termográficas, levando em consideração aumento de temperatura e as características térmicas do equipamento a ser inspecionado para detecção de problemas. Este trabalho objetiva encontrar critérios quantitativos para análise de defeitos em instalações elétricas, bem como estimar perdas por potência dissipada, visando melhorar a eficiência energética da instalação. Para isto foi confeccionado uma instalação elétrica experimental com conexões elétricas sãs e defeituosas, comparando seus valores de potência dissipada e de temperatura. Os resultados mostram relações lineares entre elevação de temperatura e área de contato com um coeficiente de determinação alto. A relação entre potência dissipada e aumento de temperatura encontrada também foi linear e conclui-se que essa relação dependa também da bitola do cabo utilizado. O trabalho está em andamento e ao final espera-se encontrar relações que ajudem a estimar as perdas energéticas das instalações.

Palavras-chave -- termografia infravermelha; instalações elétricas; eficiência energética; manutenção elétrica.

I. INTRODUÇÃO

Inspeções termográficas já são amplamente utilizadas para manutenção preditiva de instalações elétricas, principalmente por se caracterizar como uma técnica não destrutiva, não invasiva e segura do ponto de vista da segurança do trabalho [1]. A sua aplicação é eficiente em instalações elétricas, já que muitos defeitos apresentam elevação de temperatura como um dos principais sintomas da falha [2], [3].

Atualmente essas inspeções levam a diagnósticos que recomendam continuidade operacional ou parada para manutenção da instalação elétrica inspecionada a partir da elevação de temperatura e do histórico do comportamento térmico do equipamento elétrico inspecionado [2], [4]–[6].

Assim, essas análises e diagnósticos se concentram na análise da temperatura superficial do equipamento inspecionado, sem contudo analisar e emitir estimativas quantitativas da gravidade e de consequências do defeito, tais como: resistência e

área de contato de conexões elétricas inspecionadas, queda de tensão e, principalmente, potência dissipada.

Este trabalho objetiva justamente buscar correlação experimental entre os termogramas provenientes de inspeções termográficas e características quantitativas de falhas de conexões elétricas defeituosas. Isso pode levar a um diagnóstico mais rico, que considere não só aspectos técnicos subjetivos, mas também a eficiência energética da instalação elétrica, uma vez que as perdas de energia também passariam a ser estimadas e consideradas.

II. METODOLOGIA

Primeiramente foram escolhidos os tipos de conexões elétricas a serem analisadas, assim como a bitola dos cabos que seriam necessários. Nesta primeira etapa, optou-se por utilizar o terminal pré-isolado do tipo olhal ou tipo forquilha e as bitolas dos cabos escolhidas foram de (1,5; 2,5; 4; 6; 10 e 16) mm², flexíveis, isolados a PVC, classe de tensão 750 V, comumente utilizados em instalações prediais. Numa segunda etapa pretende-se avaliar cabos empregados em instalações elétricas industriais.

Após esta etapa, iniciou-se a construção das conexões elétricas defeituosas. Os defeitos foram confeccionados com base na área de contato entre o terminal pré-isolado e o cabo, utilizando-se para isso papel isolante classe térmica B (130 °C). Tal procedimento já se mostrou eficaz em outros experimentos [7].

A análise experimental consiste de avaliar a elevação de temperatura das conexões elétricas, a queda de tensão e a potência dissipada em função de sua área de contato. Assim, têm-se:

variável independente:

1. área de contato das conexões elétricas inspecionadas;

variáveis dependentes:

1. potência dissipada na conexão elétrica;
2. queda de tensão na conexão elétrica;
3. elevação de temperatura da conexão elétrica.

Foram estabelecidos três valores, para a variável área de contato: 25%, 50% e 75%. Todos esses valores são relativos à área de contato plena, 100%, da conexão elétrica sem defeito, considerada de referência.

Para cada área de contato estudada, foram construídas e avaliadas cinco conexões elétricas. A qualidade da construção (artesanal) das conexões elétricas defeituosas foi avaliada através de sua resistência de contato, através de um microhmímetro de precisão. Foram construídas e analisadas cinco amostras de cada conexão elétrica, que apesar de ser uma quantidade “pequena”, permite análise estatística “razoável” dos dados [8].

A queda de tensão nas conexões elétricas foi medida com milivoltímetro de precisão.

A potência dissipada em cada conexão elétrica foi calculada a partir de sua queda de tensão, considerando a corrente elétrica que por ela circulava. Visando mitigar efeitos de variáveis espúrias de diferenças de corrente elétrica nas conexões analisadas, todos os cabos foram conectados em série, garantindo a mesma corrente elétrica. Isso possibilitou também ter todas as conexões elétricas “termografadas” numa única imagem, minimizando erros e incertezas de medição.

A elevação de temperatura foi, naturalmente, medida com um termovisor. Foi empregado um termovisor Flir E60. A elevação de temperatura foi definida como a diferença entre a temperatura da conexão analisada (25, 50 ou 75% de área de contato) e a conexão referência (100% de área de contato). Isso minimiza erros e incertezas de medição, visto que não foi empregada a medição da temperatura atmosférica como referência e que as temperaturas envolvidas no cálculo sempre se encontram num mesmo termograma. Enfim, no experimento foram montados cabos com 100% de área de contato (sem defeito) em série com os cabos com as conexões defeituosas, pelo quais circulou-se corrente elétrica. Assim, foi medida a queda de tensão em cada um dos terminais (os defeituosos e os não defeituosos) e a corrente elétrica nos cabos. Também foi registrada a imagem termográfica.

A Fig. 1 apresenta uma imagem real da instalação elétrica experimental com conexões elétricas de 25% de área de contato, bem como a respectiva imagem termográfica. Nota-se a predominância de maior temperatura nas conexões de 25% de área de contato, à esquerda, em relação às conexões de referência, 100% de área de contato, à direita.

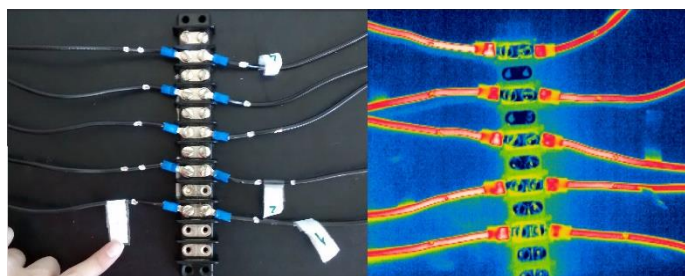


Figura 1 – Imagem real e imagem termográfica da instalação elétrica experimental

III. RESULTADOS

O atual estágio da pesquisa já analisou os cabos de (1,5 e 4) mm². A análise dos demais cabos, (2,5; 6; 10 e 16) mm², encontra-se em andamento.

A Fig. 2 apresenta a relação entre a elevação de temperatura e a área de contato do terminal para cabos com área de seção transversal de 1,5 mm². Utilizou-se a diferença entre a temperatura da conexão conforme (100% de área de contato) e de cada conexão defeituosa (25%, 50% e 75% de área de contato). A Fig. 3 apresenta o mesmo gráfico, porém para o cabo de 4 mm². As barras verticais em torno dos pontos referem-se ao desvio padrão das grandezas calculadas.

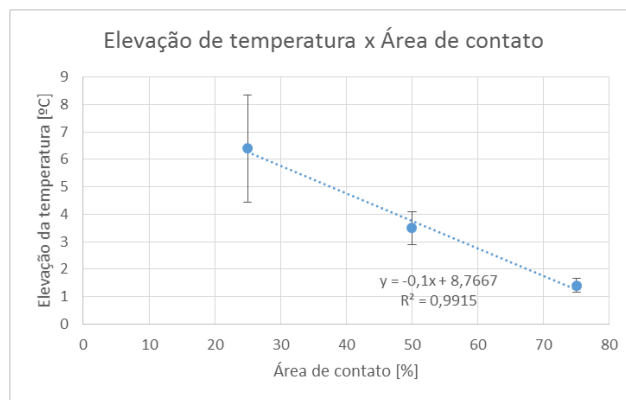


Figura 2 – Elevação de temperatura x Área de contato para cabo de 1,5 mm²

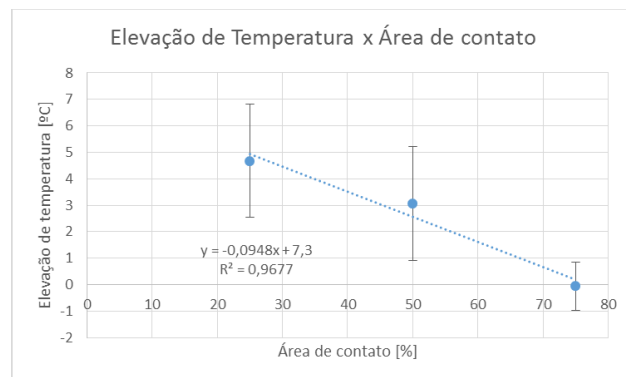


Figura 3 – Elevação de temperatura x Área de contato para cabo de 4 mm²

Pode-se observar que em ambos os casos quanto menor a área de contato, maior é a elevação de temperatura. Este resultado é o esperado, visto que quanto menor a área de contato, maior a resistência à passagem de corrente elétrica, aquecendo mais a conexão. Verifica-se que a relação aumento de temperatura e área de contato é aproximadamente linear de primeira ordem. Essa relação é coerente, visto que a temperatura é proporcional à potência dissipada, que por sua vez é proporcional à resistência elétrica.

Além da linearidade de primeira ordem, verifica-se que para os cabos de diferentes áreas de seção transversal a equação que relaciona a elevação de temperatura à área de contato foram semelhantes.

Para o cabo de 1,5 mm² de área de seção transversal, a equação encontrada com valor de $R^2 = 99,15\%$ foi:

$$\Delta T = -0,1 \cdot A + 8,7667 \quad (1)$$

Já para o cabo de área de seção transversal igual a 4 mm² a equação encontrada com valor de $R^2 = 96,77\%$ foi:

$$\Delta T = -0,0948 \cdot A + 7,3 \quad (2)$$

Onde ΔT é a elevação de temperatura da conexão elétrica, em relação à conexão elétrica de referência, em graus Celsius, e A é a área de contato percentual da conexão analisada.

Outra relação analisada foi a da potência relativa dissipada e a área de contato da conexão (Fig. 4 e 5). Verifica-se que quanto menor a área de contato, maior é a potência dissipada na conexão. O que também é o esperado, visto que quanto menor a área de contato, maior a potência dissipada naquele ponto.

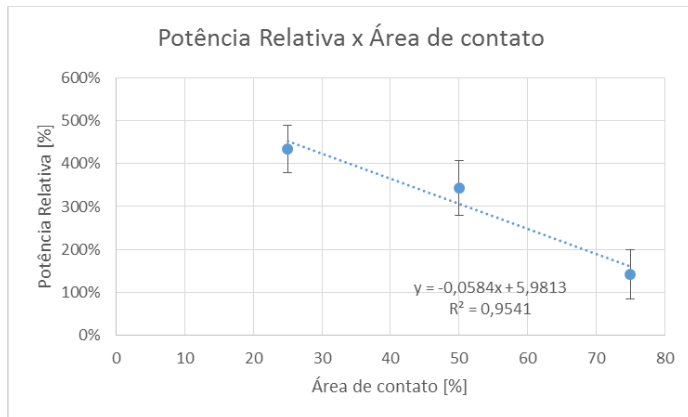


Figura 4 – Potência relativa dissipada x Área de contato para cabo de 1,5 mm²

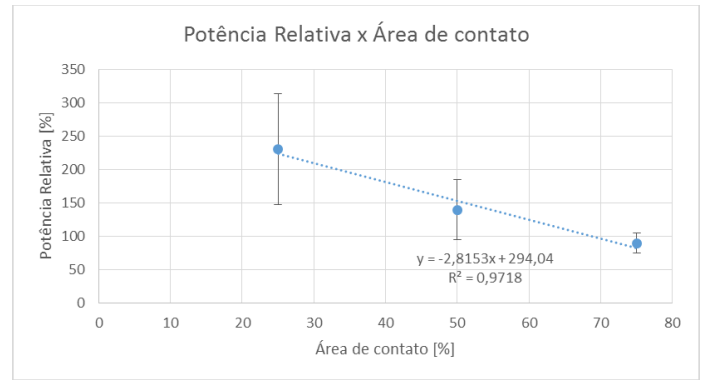


Figura 5 – Potência relativa dissipada x Área de contato para cabo de 4 mm²

Observa-se pela Fig. 2 que, para a conexão de 50% de área de contato, tem-se um aumento de temperatura de apenas 3,5°C aproximadamente, que é uma pequena elevação de temperatura, ainda não conclusiva de defeito [2], [5], [9], [10]. Porém, quando é analisada a potência dissipada por essa conexão, na Fig. 4, verifica-se que ela já está dissipando uma potência mais que duas vezes acima da potência dissipada pela conexão sem defeito.

A Lei de Joule afirma que a potência dissipada é proporcional ao quadrado da corrente elétrica:

$$P \propto I^2 \quad (3)$$

Estudos [2], [11] afirmam que a temperatura é aproximadamente proporcional ao quadrado da corrente elétrica:

$$T \propto I^2 \quad (4)$$

Logo, estas duas relações sugerem que a potência dissipada e o aumento da temperatura estão relacionadas entre si linearmente. Os próximos gráficos analisados (Fig. 6 e 7) foram justamente os de potência relativa dissipada em função da elevação de temperatura. Verificou-se uma relação linear entre as grandezas, como previsto. Quanto maior o aumento da temperatura, maior é a potência relativa dissipada nos terminais.

A equação que relaciona essas duas grandezas para o cabo de 1,5 mm² possui um valor de $R^2 = 90,81\%$ e é dada por:

$$P = 0,5669 \cdot \Delta T + 0,9284 \quad (5)$$

Para o cabo de 4 mm² a equação que relaciona a potência relativa dissipada possui um valor de $R^2 = 88,29\%$ e é dada por:

$$P = 27,844 \cdot \Delta T + 81,996 \quad (6)$$

Sendo P a potência relativa dissipada na conexão elétrica e ΔT a elevação de temperatura para ambos os casos.

As relações encontradas (5) e (6) não se mostraram semelhantes. Isso sugere que as grandezas potência dissipada e elevação de temperatura dependam de outras variáveis ainda não consideradas nesta análise como, por exemplo, a bitola do cabo.

