

## PAINEL DIDÁTICO PARA ENSINO-APRENDIZAGEM DE INSPEÇÃO TERMOGRÁFICA APLICADA À MANUTENÇÃO ELÉTRICA

**Abstract** – Infrared thermography is one of the main predictive maintenance techniques. It consists of contactless temperature measurements and analysis of the obtained thermograms. Thermography is widely used in the electrical sector, since most of the electrical equipment presents thermal differences before a failure. Currently there is a difficulty in teaching-learning thermographic inspection, because training in actual electrical installation is not recommended due to the need to insert defects. Thus, this work developed a prototype to be used as a didactic resource for teaching-learning thermography. For this, a switchgear was designed and built and main electrical defects were simulated: poor contact, undersizing of conductors and interruption of parallelly conductors. The didactic electrical panel was used in pilot classes with students of technical and undergraduating education in the electricity area. From the panel design and the pilot classes, a guide for practical classes and a teaching manual were developed. It was concluded that the proposed switchgear is a good didactic resource for teaching and learning of infrared thermography when compared to classes in actual installations, considering the controlling of didactic resources and the operational and personal safety.

**Keywords**—infrared imaging, engineering education, electrical fault detection, predictive maintenance, switchgear.

**Resumo** – A termografia infravermelha é uma das principais técnicas de manutenção preditiva. Ela consiste em medições de temperatura à distância e análise dos termogramas obtidos. A termografia é muito utilizada no setor elétrico, pois grande parte dos equipamentos elétricos apresenta diferenças térmicas antes de uma avaria. Atualmente há dificuldade no ensino-aprendizagem de inspeção termográfica, pois a aula em instalação elétrica real não é recomendada devido à necessidade de inserção de defeitos. Assim, este trabalho desenvolveu um protótipo para ser utilizado como recurso didático para ensino-aprendizagem da termografia. Para isso, um conjunto de manobra foi projetado e construído e nele foram simulados os principais defeitos elétricos: mau contato, subdimensionamento de condutores e interrupção de condutores em paralelo. O painel didático montado foi utilizado em aulas piloto com alunos de curso técnico e de curso superior da área de eletricidade. A partir do projeto do painel e das aulas piloto, foram elaborados um roteiro para as aulas práticas e um manual docente. Concluiu-se que o conjunto de manobras proposto é um bom recurso didático para ensino-aprendizagem da termografia quando comparado a aulas em instalações reais, considerando o controle dos recursos didáticos e a segurança operacional e das pessoas.

**Palavras-chave** – termografia infravermelha, ensino de engenharia, detecção de defeitos elétricos, manutenção preditiva, conjunto de manobra.

### 1 Introdução

Manutenção é a combinação de todas as ações destinadas a assegurar que o equipamento continue a executar as funções para qual foi projetado, sob condições de uso predeterminadas (ABNT, 1994; Xenos, 2004). Um aspecto fundamental da manutenção é identificar precisamente as causas da falha e evitar sua reincidência (Xenos, 2004).

A manutenção preditiva, através da aplicação sistemática de técnicas de análise, permite garantir qualidade de serviço, reduzir ao mínimo a manutenção preventiva e diminuir a manutenção corretiva (ABNT, 1994). Ela permite estimar quando o componente ou peça estarão próximos do seu limite de vida, evitando assim paradas desnecessárias da linha de produção. Além disso, a equipe de manutenção pode se programar para a intervenção e aquisição de peças, reduzindo gastos com estoque (Xenos, 2004; Marcorin; Lima, 2003). Exemplos de ferramentas são o estudo das vibrações, a termografia e a análise do óleo (Mirshawka, 1991).

A termografia infravermelha consiste em medições de temperatura realizadas a distância com termovisores e posterior análise dos termogramas obtidos (Muniz, 2014). Ela tem sido utilizada em áreas onde o conhecimento sobre padrões de temperaturas e calor proverão dados relevantes sobre um sistema, processo ou estrutura. A termografia pode ser utilizada para reconhecimento de defeitos em componentes

mecânicos de toda ordem, de revestimentos refratários, de tubulações, além de escapes de gases, dentre outros. Ela é muito usada no setor elétrico, pois a maior parte dos equipamentos elétricos apresenta discrepâncias térmicas antes de uma avaria (Santos; Rocha, 2006). Assim, é possível detectar defeitos ainda na fase inicial, diminuindo os gastos com manutenção e o tempo em que o equipamento fica desligado. As vantagens desse método são que as instalações continuam em funcionamento e o processo de produção não é perturbado (Flir, 2008).

A análise dos termogramas indicará se há falhas no equipamento. Por via de regra, pontos em que a temperatura está muito alta representam um provável defeito, porém, existem casos em que as temperaturas ficam abaixo da esperada (Flir, 2008; Mendes; Tonini; Muniz; Donadel, 2016). Os defeitos mais comuns em equipamentos e instalações elétricas são curto circuito, circuito aberto, desequilíbrio de fases, mau contato e sobrecarga (Jadin; Taib, 2012). A correção das falhas depende da filosofia da empresa, com apoio de critérios técnicos. Porém, em comparações de temperaturas entre componentes semelhantes, existem recomendações de manutenção, que são mostradas no Quadro 1.

Quadro 1 - Ações recomendadas de manutenção para equipamentos elétricos conforme resultados da inspeção termográfica.

Diferença de temperatura entre componentes similares	Sobreaquecimento em relação à condição padrão do próprio equipamento	Ação recomendada
De (1 a 3) °C	De (1 a 10) °C	Continuar monitorando
De (4 a 15) °C	De (11 a 20) °C	Reparar assim que for possível
---	De (21 a 40) °C	Monitorar continuamente até que o reparo seja feito.
Acima de 15 °C	Acima de 40 °C	Reparar imediatamente

Fonte: Adaptado de Muniz, 2014.

Atualmente há grande dificuldade no ensino de inspeção termográfica devido à não existência de equipamentos didáticos para esse fim. A aula em uma instalação elétrica real não é recomendada, devido à necessidade de inserção de defeitos, o que não é seguro dos pontos de vista de segurança operacional e de segurança do trabalho. Foram consultados sítios eletrônicos de fornecedores de conjuntos didáticos, a Base de Patentes Brasileiras do Instituto Nacional de Propriedade Industrial (INPI) e o Google Patents, cujas buscas não apresentaram resultados para equipamentos didáticos com essa finalidade.

As aulas práticas têm sido usadas há muito tempo para envolver estudantes em experiências concretas com objetos e conceitos que melhoram a compreensão da ciência (Rivera-Reyes; Lawanto; Pate, 2017). Porém, elas dependem do desenvolvimento de materiais de apoio adequados. Os recursos instrucionais devem ser usados em sintonia com os métodos de ensino, para que esse conjunto didático facilite a recepção, o processamento das informações e a aprendizagem (Belhot, 1997).

O objetivo geral deste trabalho é o desenvolvimento de um protótipo de conjunto de manobras que pode ser utilizado como recurso didático para ensino-aprendizagem de termografia infravermelha aplicada à manutenção preditiva de conjuntos de manobra elétricos, em sala de aula. Nele foram implementados conceitos básicos de termografia simulando os defeitos elétricos mais recorrentes. Para tanto, foram levantados na literatura os principais defeitos elétricos detectáveis por termografia em instalações elétricas. O conjunto de manobras foi projetado e montado inicialmente sem defeitos. A análise termográfica foi feita no equipamento sem falhas e, em seguida, os defeitos foram inseridos. A termografia infravermelha foi feita no equipamento com falhas e observou-se que elas eram detectáveis através dos protocolos usuais de inspeção termográfica. Então, para testar o conjunto didático foram realizadas duas aulas-piloto. Por fim, foram elaborados um roteiro discente para a

aula prática e um manual docente para auxiliar o professor.

## 2 Desenvolvimento

### 2.1 Principais defeitos detectados por termografia

Qualquer mudança na resistência elétrica do dispositivo que conduz corrente elétrica faz com que o consumo de energia elétrica aumente em relação à condição referência em situação de conformidade, devido à maior dissipação de potência (Azmat; Turner, 2005). O excesso de potência provoca sobreaquecimento no dispositivo e, conseqüentemente, reduz seu ciclo de vida e sua eficiência (Jadin; Taib, 2012). As temperaturas do equipamento podem ser observadas através da termografia e as falhas detectadas por meio da análise dos termogramas coletados. Os principais defeitos em componentes elétricos que causam alteração nos padrões de temperatura são: circuitos em curto ou em aberto, interrupção de cabos em paralelo, desequilíbrio de cargas, instalação inadequada, mau contato e sobrecargas (Huda; Taib, 2013). Tais defeitos podem ser detalhados da seguinte maneira:

- circuito em aberto: a falta de fluxo de corrente faz com que um condutor de circuito aberto apresente um padrão térmico mais frio quando comparado a um condutor adjacente sob carga (Jadin; Taib, 2012);
- interrupção de cabos em paralelo: condutores em paralelo da mesma fase podem produzir um perfil termográfico inesperado. Caso haja um mau contato em um dos cabos ou o condutor esteja desconectado, a corrente será significativamente maior nos cabos com boas conexões e menos intensa nos cabos com conexões defeituosas. Em consequência a esse fato, poderá ocorrer uma maior dissipação de energia nas boas conexões do que nas conexões ruins (Mendes; Tonini; Muniz; Donadel, 2016);
- a disposição inadequada de cabos sobre o leito, quando existem vários condutores em uma fase ou em um circuito, pode causar desigualdade na impedância mútua. Cabos instalados em paralelo quando lançados de forma aleatória apresentam uma distribuição desigual de corrente em função do arranjo inadequado dos condutores. Dependendo da relação entre a corrente de operação e de projeto, os condutores com maior fluxo de corrente podem trabalhar com temperaturas superiores à normal de operação do material isolante, reduzindo sua vida útil. Outros fatores podem provocar diferença entre valores de corrente e conseqüentemente diferentes padrões de temperatura: cabos paralelos com comprimentos diferentes e indução de outros circuitos próximos (Lopes et al, 2017);
- desequilíbrio de cargas: um sistema trifásico equilibrado deve apresentar uma distribuição uniforme de temperatura nas três fases. Assim, quando a

temperatura de um condutor é muito baixa ou muito alta em relação aos outros condutores, do mesmo sistema trifásico equilibrado, ele apresenta uma anomalia (Dib; Djermane, 2016);

- instalação inadequada: as capacidades de condução de corrente elétrica dos cabos elétricos e demais dispositivos estão diretamente relacionadas às condições térmicas de dissipação dos condutores e às condições operacionais (D'Avila, 2007). Durante períodos prolongados em funcionamento normal, a corrente transportada por qualquer condutor deve ser tal que a temperatura máxima para serviço contínuo do cabo não seja ultrapassada (ABNT, 2008). Caso o condutor seja subdimensionado ou as condições de instalação (fator de agrupamento, local de instalação, proteção, queda de tensão, temperatura atmosférica, entre outros) forem inadequadas, ele apresentará sobreaquecimento, colocando em risco o isolamento do cabo e aumentando as perdas por efeito Joule;

- mau contato: este defeito está associado à diminuição da área de condução de fluxo de corrente entre as conexões elétricas (Schuina; Muniz; Quemelli, 2016), que pode ter sido causada pela baixa pressão entre os contatos, por contatos oxidados ou desgastados, por uma solda malformada, entre outros fatores (Dib; Djermane, 2016).

A título de ilustração, a Fig. 1 apresenta o termograma obtido nos condutores de alimentação e saída do protótipo desenvolvido após a inserção dos defeitos. Nela observa-se que a diferença de temperatura entre os pontos Sp1 e Sp2 é de  $47,2^\circ\text{C}$ . Ambos condutores estão submetidos à mesma corrente e possuem mesmas características operacionais e construtivas, então esperar-se-iam temperaturas semelhantes caso não houvesse defeito. Assim, essa discrepância de temperatura indica a existência de uma falha. O calor gerado é maior onde o defeito está localizado e uma porção de energia térmica se propaga por condução ou convecção para os arredores (Dib; Djermane, 2016). Neste exemplo, um mau contato foi inserido no condutor identificado pelo ponto Sp1.

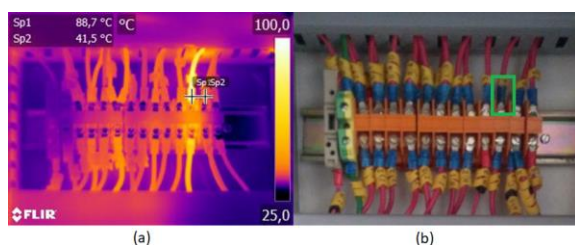


Fig. 1. (a) Termograma mostrando o mau contato inserido no condutor de alimentação da carga. (b) Imagem da instalação real, o quadrado identifica a localização do mau contato no dispositivo.

## 2.2. Projeto do painel e montagem sem defeito

Com o propósito de inserir uma quantidade satisfatória de defeitos e considerando a quantidade de componentes necessários, optou-se por montar o circuito de uma partida de motor elétrico trifásico do tipo estrela-triângulo (Y- $\Delta$ ). Considerando as caracte-

rísticas dos circuitos de alimentação e de carga dos Laboratórios onde o conjunto de manobra didático seria utilizado, suas características de projeto são: conjunto de manobra trifásico, 220 V, 20 A, 7,6 kW.

Inicialmente, o conjunto didático foi montado sem defeitos, pois desejava-se que todos os defeitos do painel fossem inseridos propositalmente e, para fins de comparação futura, queria-se o padrão térmico do equipamento em condições conformes de operação.

Assim, a fim de assegurar o correto funcionamento do painel, foi efetuada uma inspeção termográfica com um termovisor Flir E60, cujas imagens foram analisadas através do programa de computador Flir Tools.

A análise termográfica do conjunto de manobras foi feita sob dois níveis de corrente elétrica. Observou-se que o aumento de 300 % da corrente provocou um aumento de 250 % na elevação de temperatura do circuito. Esse aumento na elevação da temperatura já era esperado devido ao Efeito Joule. A termografia do conjunto de manobras indicou que o painel não precisava passar por manutenção.

Após a execução e registro termográfico desta etapa, os defeitos puderam ser inseridos no conjunto didático.

## 2.3 Metodologia da inserção dos defeitos

Os defeitos elétricos detectáveis por inspeção termográfica foram produzidos através das seguintes maneiras:

- circuito em aberto: para inserção desse defeito foram utilizadas chaves seccionadoras que abrem o circuito, impedindo a passagem de corrente elétrica. A ausência de corrente, de maneira geral, provoca um padrão térmico mais frio no condutor quando comparado com um cabo submetido à corrente (Jadin; Taib, 2012);

- cabos em paralelo: foram utilizados dois cabos para cada fase de alimentação do disjuntor diferencial instalado no conjunto de manobras. Uma chave seccionadora, quando aberta, impedirá a passagem de corrente em um dos cabos em paralelo da fase S. Nesse caso, a corrente será significativamente maior no cabo ainda conectado, assim, espera-se um aumento da dissipação de energia e consequente aumento de temperatura (Mendes; Tonini; Muniz; Donadel, 2016);

- subdimensionamento de condutores para que o aluno observe a diferença de temperatura em dois condutores de diferentes bitolas, sob mesma corrente e corretamente dimensionados, um cabo de seção de  $2,5\text{ mm}^2$  foi substituído por um condutor de  $1\text{ mm}^2$ . Os cabos adjacentes a este condutor são de  $2,5\text{ mm}^2$ . Almeja-se que, mesmo estando corretamente dimensionado, o cabo de  $1\text{ mm}^2$  aqueça mais, em comparação com um condutor de  $2,5\text{ mm}^2$  sob mesma corrente, por ter maior resistência elétrica à condução de corrente. Optou-se por não subdimensionar

os cabos, pois a degradação dos condutores seria muito grande e eles teriam que ser mantidos frequentemente.

- mau contato: sabendo que qualquer diminuição na área de contato provoca aumento da potência dissipada e consequente aumento de temperatura (Jadin; Taib, 2012), o mau contato foi produzido diminuindo a superfície de conector do tipo terminal olhal para aproximadamente 25% da área original. Para isso foi inserido papel isolante Nomex entre as duas partes (Assunção et al, 2015), como ilustra a Fig. 2.



Fig. 2 - Manipulação da área de contato entre o cabo condutor e o terminal pré-isolado.

Fonte: Assunção et al, 2015.

Para averiguar se o mau contato foi inserido com êxito, a resistência dos cabos foi medida usando um miliohmímetro e comparada com a resistência dos cabos sem defeito. Em todos os casos, o aumento das resistências dos condutores foi superior a 64 %.

### 3 Resultados

#### 3.1. Painel finalizado

A inspeção termográfica realizada no painel com defeitos mostrou que todos os defeitos, excetuando-se interrupção de cabos em paralelo eram detectáveis pela termografia através da aplicação de protocolos usuais de inspeção, e que ajustes não precisariam ser feitos. Apesar de ser de difícil percepção, por apresentar elevação de temperatura de 2,3 °C, o defeito interrupção de cabos em paralelo pode ser utilizado como recurso instrucional, pois mostra que as falhas podem ser mascaradas pela irradiação de calor proveniente de outros dispositivos fisicamente próximos, que é o caso em questão. Além disso, a análise termográfica indicou que os defeitos foram implementados de forma assertiva. Dessa forma, foi feita a organização final do painel e os equipamentos foram identificados fisicamente. A Fig. 3 e a Fig. 4 mos-

tram, respectivamente, o painel externa e internamente.



Fig. 3. Vista externa do painel finalizado: (a) Frente (b) Lateral.

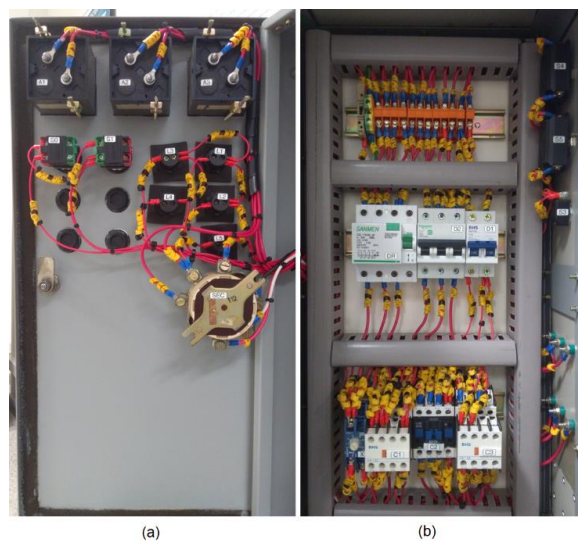


Fig. 4. Vista interna do painel finalizado: (a) Equipamentos da porta (b) Equipamentos no interior do invólucro.

#### 3.2 Aulas piloto

Foram realizadas aulas piloto nos dias 7 e 10 de novembro de 2017, para as turmas de Manutenção industrial do Curso Superior em Engenharia Elétrica e de Manutenção elétrica industrial do Curso Técnico em Eletrotécnica Concomitante ao Ensino Médio, do Campus Vitória do Ifes. Participaram das aulas, no total, 31 alunos, sendo esses de ambos os gêneros, feminino e masculino, e com idades entre 17 anos e 41 anos.

Como só há um protótipo de painel educacional, a aula foi feita utilizando o método didático de elaboração conjunta, onde o painel foi exposto e a turma, em conjunto com os autores, realizou a análise termográfica do painel e debateu sobre ela. Ao final da

aula os alunos preencheram um questionário avaliativo sobre o conjunto didático.

O questionário mostrou que todos os participantes consideram a quantidade de defeitos inseridos (8 defeitos) suficiente para um bom aprendizado. Além disso, todos os alunos declararam que o painel propiciou que visualizassem, em atividade prática, os sintomas detectáveis pela termografia e que, em um processo prático, o que foi visto durante a aula será útil. Além disso, os participantes colaboraram com sugestões para o exemplo de roteiro discente para a aula prática.

### 3.3 Roteiro para a aula prática e manual para o professor

Para direcionar o professor durante as aulas, foram criados um roteiro discente para aula prática e um manual docente do painel. O roteiro recomenda que a análise termográfica do painel seja feita primeiramente com a carga ligada em estrela e em seguida com a carga ligada em triângulo, pois, após a comutação, os defeitos se tornam mais visíveis devido ao aumento da corrente elétrica da ordem de três vezes, o que foi considerado um bom recurso didático.

No manual docente foram apresentados a localização dos defeitos, as falhas introduzidas, os sintomas esperados e os termogramas obtidos com base nas análises termográficas feitas seguindo o roteiro. Os termogramas adquiridos permitem que a análise termográfica seja feita comparando elementos semelhantes do circuito ou o padrão térmico do conjunto de manobras sem defeitos com o termograma do painel com as falhas inseridas. A figura 5 apresenta os termogramas de um contator feitos com a carga conectada em estrela no painel sem e com defeitos, respectivamente. Na figura 5a observa-se que as temperaturas nas conexões entre os cabos do circuito de força do contator, pontos Sp1 e Sp2, são próximas, não indicando falha. A comparação da temperatura dos mesmos cabos no termograma da figura 5b mostra uma diferença de 20,5 °C entre os pontos Sp3 e Sp4, indicando um possível defeito. Nesse condutor foi inserido um mau contato. A análise dos dois termogramas em conjunto mostra uma discrepância de 35,9 °C entre os pontos Sp2 e Sp4, esses pontos indicam a temperatura do mesmo condutor do circuito. A partir deste dado, deduz-se a existência de um defeito nesse condutor. No manual estão descritas detalhadamente as análises termográficas de todos os termogramas do painel com e sem defeitos inseridos e com a carga ligada em estrela e em triângulo.

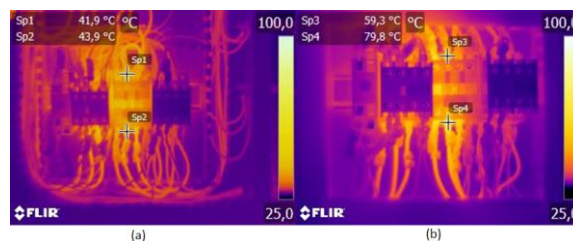


Fig. 5 (a) Termograma do contator C2 com a carga ligada em estrela e painel sem defeito. (b) Termograma do contator C2 com a carga ligada em estrela e painel mau contato.

## 4 Conclusões

Neste artigo foi apresentado o desenvolvimento de um protótipo de painel elétrico para ensino-aprendizagem de inspeção termográfica aplicada à manutenção elétrica em ambiente educacional. Para isso, um conjunto de manobra com função de partida estrela-triângulo foi criado e nele foram simulados os principais defeitos elétricos detectáveis pela termografia infravermelha.

Foram inseridas no conjunto de manobra as falhas circuito em aberto, interrupção de cabos em paralelo, subdimensionamento de condutores e mau contatos. Dentre os defeitos incorporados ao painel didático somente a falha interrupção de cabos em paralelo não pôde ser identificada nas análises termográficas, mas mesmo assim se apresentou como um recurso instrucional para mostrar que os defeitos podem ser mascarados pela irradiação de calor proveniente de outros dispositivos.

A inspeção termográfica feita no conjunto de manobras revela didaticamente que o aumento da elevação de temperatura está relacionado ao aumento de corrente elétrica no dispositivo inspecionado. Esse efeito era esperado e demonstra que o painel é um bom recurso didático, uma vez que a corrente triplica de valor e os defeitos se tornam mais visíveis quando há comutação de estrela para triângulo.

A avaliação do painel didático feita pelos alunos indicou que o conjunto de manobras proposto é um bom recurso didático para ensino-aprendizagem da termografia em ambiente educacional, evitando aulas práticas em instalações elétricas reais, o que poderia perturbar os processos, infringir questões de segurança e colocar a segurança dos alunos e do professor em risco. Assim, o painel proposto pode ser replicado, produzido em maior quantidade, para suprir a demanda de aula de uma turma com vários alunos.

## Referências bibliográficas

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5462: Confiabilidade e Manutenibilidade. Rio de Janeiro, 1994. 37 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5410: Instalações Elétricas de Baixa Tensão. Rio de Janeiro, 2008. 209 p.

- ASSUNÇÃO, B. L. et al. Eficácia dos critérios de diagnóstico de instalações elétricas defeituosas por termografia infravermelha (in português). *Ifes Ciência*, v. 1, n. 2, p. 111–127, 2015.
- AZMAT, Z.; TURNER, D. J. Infrared thermography and its role in rural utility environment. p. B2/1-B2/4, 2005.
- BELHOT, R. V. Reflexões e propostas sobre o “Ensinar engenharia” para o século XXI. São Carlos, 1997. 193 p. Tese (Livre Docência). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- D’AVILA, R. S. Análise de perdas em instalações elétricas residenciais. Universidade de São Paulo, 2007. 117 p.
- DIB, A.; DJERMANE, A. Detection of electrical faults with infrared thermography. *Journal of New Technology and Materials*, v. 6, p. 28–32, 2016.
- FLIR. User ’ s manual FLIR InfraCAM SD. Wilsonville, USAFlir Systems, 2008. 168 p.
- JADIN, M. S.; TAIB, S. Recent progress in diagnosing the reliability of electrical equipment by using infrared thermography. *Infrared Physics & Technology*, v. 55, n. 4, p. 236–245, jul. 2012.
- HUDA, A. S. N.; TAIB, S. Application of infrared thermography for predictive/preventive maintenance of thermal defect in electrical equipment. *Applied Thermal Engineering*, v. 61, n. 2, p. 220–227, 2013.
- LOPES, F. T. F. et al. Aceleração da degradação térmica do isolamento de cabos em paralelo. Disponível em: <<http://www.abraman.org.br/arquivos/115/115.pdf>>. Acesso: 21 nov. 2017.
- MARCORIN, W. R.; LIMA, C. R. L. Análise dos Custos de Manutenção e de Não-manutenção de Equipamentos Produtivos. *Revista de Ciência & Tecnologia*, v. 11, n. 22, p. 35–42, 2003.
- MENDES, M. A. TONINI, L. G. R. MUNIZ, P. B. DONADEL, C. B. Thermographic analysis of parallelly cables: A method to avoid misdiagnosis. *Applied Thermal Engineering*, v. 104, p. 231–236, jul. 2016.
- MIRSHAWKA, V.. *Manutenção preditiva: caminha zero para defeitos*. 1. ed. São Paulo: Makron, McGraw-Hill, 1991. 318 p.
- MUNIZ, P. R. Influência dos instrumentos, do ângulo de visada e do campo de visão do termovisor na execução de termografia por infravermelhos aplicada à manutenção elétrica. Salvador, 2014, 177 p. Tese (Doutorado). Universidade Federal da Bahia.
- RIVERA-REYES, P.; LAWANTO, O.; PATE, M. L. Students ’ Task Interpretation and Conceptual Understanding in an Electronics Laboratory. *IEEE Transactions on Education*, v. 60, n. 4, p. 265–272, 2017.
- SANTOS, H.; ROCHA, C. Metodologia de Registro de Imagens Termográficas para Equipamentos Elétricos. Belo Horizonte, 2006, 59 p.
- Dissertação (Mestrado). Pontífica Universidade Católica de Minas Gerais.
- SCHUÍNA, L.; MUNIZ, P.; QUEMELLI, P. Development of a Method of Estimated Losses Energy in Defective Electrical Connections. *ITC InfraMation*, v. 1, p. 2016–21. [s. d.]
- XENOS, H. G. d. *Gerenciando a Manutenção Produtiva*. 1. ed. Nova Lima: INDG Tecnologia e Serviços, 2004. 302 p.