

A utilização termografia para a melhoria da gestão da manutenção a partir da identificação, à distância, de falhas em equipamentos e sistemas**The use of thermography to improve maintenance management from the remote identification of faults in equipment and systems**

Recebimento dos originais: 05/06/2018

Aceitação para publicação: 11/07/2018

Wallysson Klaus Pires Barros

Mestrando em Engenharia de Sistemas pela Universidade de Pernambuco (UPE)
Instituição: Universidade de Pernambuco, campus Escola Politécnica de Pernambuco (POLI)
Endereço: Rua Benfica, 455 - Madalena, Recife - PE, Brasil
E-mail: wallyssonklaus1@gmail.com

Carlos Frederico Dias Diniz

Mestre em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Pernambuco (UFPE)
Instituição: Universidade de Pernambuco, campus Escola Politécnica de Pernambuco (POLI)
Endereço: Rua Benfica, 455 - Madalena, Recife - PE, Brasil
E-mail: carlosfd@poli.br

Victor Raphael Souza Araújo

Mestrando em Engenharia de Sistemas pela Universidade de Pernambuco (UPE)
Instituição: Universidade de Pernambuco, campus Escola Politécnica de Pernambuco (POLI)
Endereço: Rua Benfica, 455 - Madalena, Recife - PE, Brasil
E-mail: victoraphael1989@gmail.com

Nithyane Rayssa Pires Barros

Graduanda em Engenharia Elétrica Eletrotécnica pela Universidade de Pernambuco (UPE)
Instituição: Universidade de Pernambuco, campus Escola Politécnica de Pernambuco (POLI).
Endereço: Rua Benfica, 455 - Madalena, Recife - PE, Brasil
E-mail: rayssanithyane@gmail.com

Estéfani Félix Barboza de Menezes Fonseca

Graduanda em Direito pelo Centro Universitário Joaquim Nabuco
Instituição: Centro Universitário Joaquim Nabuco (UNINABUCO)
Endereço: Rua Rosarinho, 904 - Centro, Paulista - PE, Brasil
E-mail: estefani.fbmf@gmail.com

Júlio Antônio de Oliveira Neto

Graduando em Engenharia Elétrica pela Universidade de Pernambuco (UPE)
Instituição: Universidade de Pernambuco, campus Escola Politécnica de Pernambuco (POLI)
Endereço: Rua Benfica, 455 - Madalena, Recife - PE, Brasil
E-mail: julioeng123@gmail.com

RESUMO

O sistema capaz de proporcionar análise e medição de distribuições térmicas, a partir de radiação infravermelha emitida por objetos, é chamado de termografia. É possível identificar várias áreas de aplicação deste sistema, tais como: medicinal, industrial, engenharias elétrica e civil, entre outras. Seu funcionamento se baseia em sensores capazes de converter o raio infravermelho em um sinal elétrico que é digitalizado e, posteriormente, enviado para comparação de sinais com a calibração, resultando na geração de imagens. Este artigo relata a aplicação e princípio de funcionamento dos sensores térmicos e/ou ópticos associados ao estudo da inspeção termográfica aplicada à gestão da manutenção.

Palavras-chave: Radiação infravermelha; Termografia; Sensores; Inspeção; Manutenção.

ABSTRACT

The system capable of providing analysis and measurement of thermal distributions, from infrared radiation emitted by objects, is called thermography. It is possible to identify several areas of application of this system, such as: medical, industrial, electrical and civil engineering, among others. Its operation is based on sensors capable of converting the infrared ray into an electrical signal that is scanned and then sent for comparison of signals with the calibration, resulting in the generation of images. This paper reports on the application and operating principle of thermal and / or optical sensors associated with the study of thermographic inspection applied to maintenance management.

Keywords: Infrared radiation; Thermography; Sensors; Inspection; Maintenance.

1 INTRODUÇÃO

O uso da tecnologia de medição de temperatura por infravermelho é, hoje, o meio mais difundido para detecção de defeitos em circuitos eletrônicos, painéis elétricos, caldeiras, isolamentos térmicos, câmaras frias, tubulações de vapor, etc. Com a evolução dos sistemas de termografia, é possível realizar os ensaios de uma forma prática, confiável e confortável (TITMAN, 2001).

A experiência de Willian Herschel demonstrou que a energia térmica transmitida pelas ondas de infravermelho era maior que a existente nas cores do espectro de luz visível. Assim pela primeira vez foi detectada a energia transmitida através de um comprimento de onda maior que o da luz visível (CORTIZO; BARBOSA; SOUZA, 2008). Desta forma, a termografia, que utiliza as ondas de infravermelho, apresenta como principais vantagens: à rapidez de inspeção, a possibilidade de interpretação das imagens em tempo real e o fato da técnica ser não destrutiva. Entre as desvantagens do método pode-se citar a necessidade dos componentes inspecionados possuírem pequena espessura e o custo relativamente alto para aquisição dos equipamentos (TARPANI; ALMEIDA; SIMÊNCIO; MOTA; PAZ; GUALBERTO; CARDOSO; GATTI, 2009).

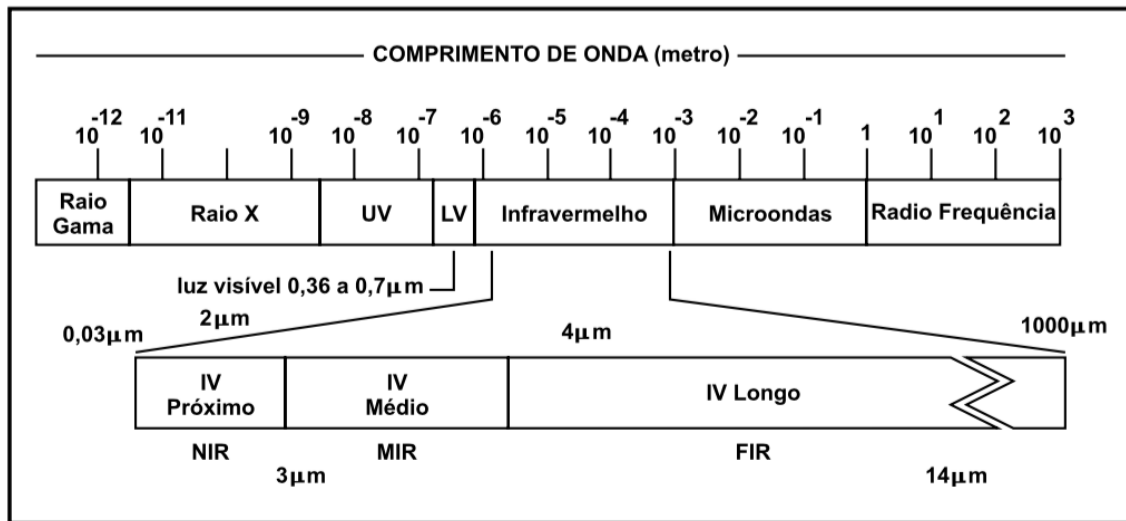
Com isso, é possível ver que a utilização de um equipamento com tais características possibilita a visualização rápida e eficaz de defeitos ainda não identificados. Além disso, proporciona o aumento da manutenção preventiva, diminuindo, por exemplo, custos com equipamento, através da manutenção corretiva e, por consequência, por parada de produção.

A manutenção é responsável pela atividade empresarial, devido a sua função estratégica nas organizações, e possui uma relação direta, de grande importância, com o capital da instituição (empresa), que é baseado nos resultados de seu bom funcionamento. Esses resultados serão tanto melhores quanto mais eficaz for a gestão da manutenção. O Brasil tem custo de manutenção por faturamento bruto de 4,3% do PIB (Produto Interno Bruto) contra a média mundial de 4,1%, isso significa que para um PIB de US\$ 451 bilhões, 19 bilhões são gastos em gastos em manutenção. Logo, esta realidade demonstra que as organizações devem procurar as melhorias contínuas na sua gestão da manutenção, buscando-se incessantemente dos conhecimentos inovadoras e aplicação das melhores práticas da manutenção presentes nas organizações dos países do primeiro mundo (ABRAMAN, 2003).

2 DESENVOLVIMENTO E APLICAÇÃO DA TERMOGRAFIA

Especialmente, quanto à radiação infravermelha, tem-se que ela é emitida por todos os objetos, que possuem temperatura acima do zero absoluto (0 K), devido à agitação térmica de seus átomos e moléculas (CORTIZO; BARBOSA; SOUZA, 2008). Ela é gerada por vibração e rotação de moléculas dentro de uma substância/material. Além disso, é notório que o crescimento da atividade molecular é dado pelo aumento do calor (diferença de temperatura entre materiais), logo a radiação I.V (Infravermelha) aumenta com a atividade molecular. É importante ressaltar que o sistema termográfico é passivo, não emitindo radiações. Ele funciona tratando as radiações que chegam em seu conjunto óptico. Este serve como um filtro que permite apenas a passagem dos raios infravermelhos, ou seja, tal sistema está relacionado apenas à parcela radiativa, sendo que os sensores termográficos trabalham na faixa da região infravermelha do espectro eletromagnético (TARPANI; ALMEIDA; SIMÊNCIO; MOTA; PAZ; GUALBERTO; CARDOSO; GATTI, 2009).

Figura 1 – Espectro eletromagnético



Fonte: Adaptado de Manea (2008)

Em 1879, o cientista Josef Stefan, experimentalmente, achou a relação que envolve o corpo negro e sua irradiação. Em 1884, Boltzmann concluiu a mesma relação de Stefan, baseado nas leis da termodinâmica, assim, chegou-se na seguinte expressão:

$$W = E \times S \times T^{-4} \quad (1)$$

em que:

W = Energia irradiada (W/m^2)

E = Emissividade

S = $5,7 \times 10^{-8}$ (Constante de Stefan)

T = Temperatura Absoluta (K)

A emissividade, citada na expressão matemática acima, é uma característica que um corpo possui para radiar energia. Tal característica não está ligada apenas ao tipo de material, mas também à superfície e ao comprimento de onda em que a radiação é emitida, o que, por sua vez, depende da temperatura do corpo.

A seguir, pode-se visualizar valores de emissividade, para alguns tipos e materiais e condições dos mesmos.

Tabela 1 – Valores típicos de emissividade

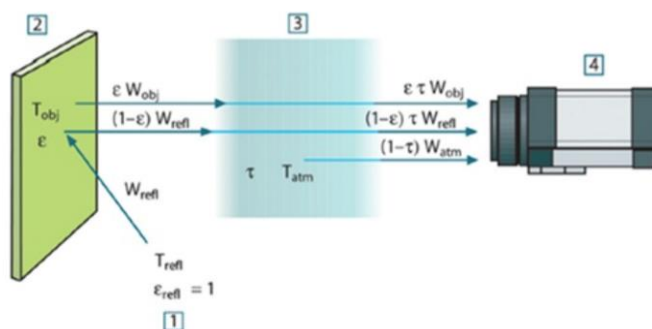
Material	Emissividade (1 μm)
Ferro e Aço	0,35
Ferro e Aço Oxidado	0,85
Alumínio	0,13
Alumínio Oxidado	0,40
Cobre	0,06
Cobre Oxidado	0,80
Tijolo	0,80
Asfalto	0,85
Amianto	0,90

Fonte: Adaptado de Infratemp (2010)

2.1 SENSORES TERMOGRÁFICOS

Os sensores são componentes essenciais para o estudo da termografia. Tais sensores são capazes de converter o raio infravermelho em um sinal elétrico. Esse sinal é tratado até a geração das imagens. Para que o sensor possua uma boa precisão (maior sensibilidade), ele deve funcionar em baixas temperaturas. Após a identificação dos raios infravermelhos, haverá a digitalização do sinal e o mesmo será encaminhado para um microprocessador e, então, ocorrerá a comparação com sinais já estabelecidos (calibrados), assim, realizar-se-ão as devidas compensações e, portanto, a geração de sinais de saída para a tela de imagem, cartão de memória, saída de vídeo, etc. Abaixo é possível verificar o esquema de funcionamento da medição termográfica.

Figura 2 – Representação esquemática de uma situação geral de medição termográfica



Fonte: Adaptado de Altoé (2012)

Existem dois tipos de sensores que podem ser aplicados à inspeção termográfica, são eles: o sensor térmico e o sensor de fótons. Neste artigo, será relatado o estudo termográfico, a partir dos

sensores térmicos. Nos sensores (detectores) térmicos, a radiação incidente é absorvida como calor e o aumento da temperatura produz o sinal de saída. O detector absorve todos os comprimentos de onda, mas sua resposta espectral é limitada pela transmissão do sistema óptico. Uma vez que a operação depende de se atingir uma temperatura de equilíbrio, é necessária uma quantidade finita de radiação, dependendo da massa térmica do detector. Para uma resposta rápida, o detector deve ser fino (e, portanto, delicado) (INFRATEMP, 2010). Os detectores térmicos incluem a termopilha, formada a partir de termopares ligados em série, e o sensor piroelétrico que funciona gerando corrente elétrica alternada, de maneira proporcional ao aumento da temperatura, baseada na pulsação produzida pela radiação incidente.

2.2 A GERAÇÃO DE IMAGENS E IDENTIFICAÇÃO DE FALHAS

O dispositivo responsável em converter a radiação infravermelha em imagens digitais passíveis de análises, através dos sensores apropriados, é a câmara termográfica. Um sistema de imageamento infravermelho possui os seguintes componentes: detectores, um sistema de particionamento da cena, óptica de entrada, um sistema de refrigeração e um sistema de processamento de sinal.

Em uma inspeção termográfica, a radiação interceptada pela câmara não é proveniente apenas do objeto sobre observação, mas também do entorno, ao ser refletida no objeto, e da atmosfera. Além de participar com parte da radiação, a atmosfera atenua o valor de radiação do objeto e do entorno que será captado pelo dispositivo, como mostrado na Figura 2. Portanto, é recomendável que o operador calibre a câmara com valores de emissividade e transmitância a cada inspeção. Os manuais de câmeras termográficas geralmente trazem tabelas com valores de referência para auxiliar o operador do equipamento (ENGEFAZ, 2005).

De modo geral, as imagens são comumente apresentadas em branco e preto, podendo ser convertidas em imagens coloridas pela substituição da escala de cinza por uma escala de cores. O registro das imagens térmicas geradas pode ser analógico, utilizando-se filme, fotografia e VHS ou digital, através de interfaces que permitem o acoplamento dos sistemas com microcomputadores para posterior processamento da informação.

A termografia realizada em equipamentos estáticos busca basicamente a identificação de falhas em superfícies de regiões onde exista deficiência de isolamento térmico. Caldeiras, vasos de pressão, reatores, tanques, torres de resfriamento, câmeras térmicas costados em geral, passaram a ser monitorados frequentemente buscando evitar percas diretas por troca de calor (SYSTEMS,

2011). Na tabela 2, verifica-se a emissão de cor de um material a base de ferro para diferentes temperaturas.

Tabela 2 – Temperatura x cor percebida

Temperatura (°C)	Cor
500	Vermelho (pouco visível)
700	Vermelho sombrio
900	Cereja
1000	Cereja brilhante
1100	Vermelho alaranjado sombrio
1250	Amarelo alaranjado brilhante
1500	Branco
1800	Branco ofuscante

Fonte: Adaptado de Infratemp (2010)

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Durante a pesquisa e revisão bibliográfica, foi possível identificar que, para que os ensaios e aplicações sejam largamente utilizados, deverão apresentar as seguintes características: precisão; reprodutibilidade; serem não destrutivos; capazes de analisar grandes e pequenas áreas, serem econômicos e eficientes (em termos de trabalho e de equipamento). Todas estas características foram vistas na realização da inspeção termográfica. Outra análise desenvolvida foi a da frequência de aplicar a inspeção termográfica. Assim, uma forma otimizada de definir intervalos mais adequados para revisão de cada equipamento ou processo, é avaliar os riscos envolvidos, de acordo com alguns fatores, entre os quais se destacam: grau de criticidades do equipamento/processo; possibilidade de danos causados por quebra e, por fim, o custo que uma parada de produção poderá ocasionar.

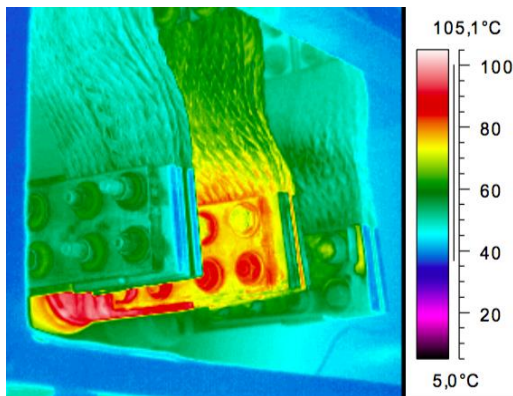
Sendo assim, seguem alguns exemplos práticos encontrados em (ENGEFAZ, 2005) da utilização dos sensores térmicos para identificação de falhas na manutenção mecânica, elétrica, térmica (entre outros), através da inspeção termográfica.

Figura 3 – Terminais de saída de um transformador



Fonte: Adaptado de Engfaz (2005)

Figura 4 – Análise termográfica das saídas do transformador encontradas na figura 3



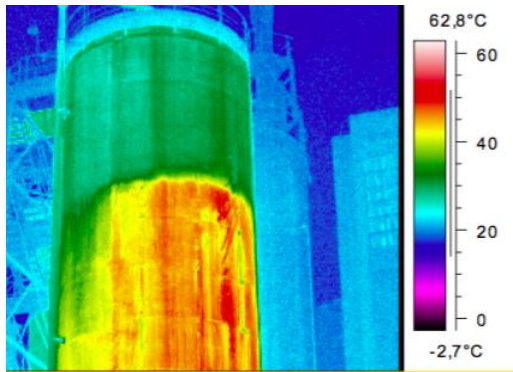
Fonte: Adaptado de Engfaz (2005)

Figura 5 – Superfície de uma torre de condensação



Fonte: Adaptado de Engfaz (2005)

Figura 6 – Análise termográfica da superfície da torre de condensação encontrada na figura 5



Fonte: Adaptado de Engfaz (2005)

Sabendo que é grande tanto o número de processos que envolvem vastas quantidades de calor quanto os problemas operacionais que podem ser relacionados diretamente com as distribuições externas de temperatura nos equipamentos, as principais aplicações da termografia incluem: subestações elétricas, painéis de baixa tensão, motores, retificadores, cadeiras, refratários, fornos de cimento, rolamentos, mancais, trocadores de calores, etc., enfim todas as áreas nas quais é possível a localização de componentes defeituosos pelo aquecimento.

Entre as principais vantagens da termografia, estão: não necessidade de contato direto para análise; segurança de funcionamento; alto range de operação; fácil utilização; operação dada por superfície e não com pontos ou linhas; pode ser complementada por outras tecnologias; método não destrutivo; ampla aplicação, etc. Já, no que diz respeito às desvantagens, pode-se citar a principal limitação que é a dificuldade (ou impossibilidade) de determinação da profundidade ou espessura do defeito/equipamento.

4 CONCLUSÃO

A aplicação dos sensores térmicos e/ou ópticos para a criação da técnica termográfica é de grande importância, uma vez que proporciona a identificação de anomalias em estruturas elétricas, hidráulicas, mecânicas, entre outras, de maneira bem rápida, prática e sem danos físicos maiores (destruição do objeto/ambiente a ser analisado). Esse estudo foi importante, então, porque serve de auxílio e embasamento técnico para a gestão da manutenção, especialmente no que diz respeito às

ações planejadas de manutenção preditivas e/ou preventivas mais adequadas aos processos/equipamentos.

REFERÊNCIAS

Congresso Brasileiro de Manutenção, 18º, 2003, Porto Alegre. **A situação da manutenção no Brasil**: ABRAMAN – Associação Brasileira de Manutenção, 2003.

MANEA, Silvio; IHA, Koshun; ROCCO, José A. F. F. **Termografia infravermelha**: aplicações em defesa. Rev. UNIFA, pp. 23-32, Rio de Janeiro, nov. 2008.

ALTOÉ, Leandra; FILHO, Delly Oliveira. **Termografia infravermelha aplicada à inspeção de edifícios**. Acta Tecnológica, Vol. 7, Nº 1, 55-59, 2012.

TITMAN, D. J. **Applications of thermography in non-destructive testing of structures**, NDT&E International, Ames, v. 34, p. 149-154, 2001.

CORTIZO, E.C.; BARBOSA, M. P.; SOUZA, A. L. A. C. **Estado da arte da termografia**. Fórum Patrimônio: Ambiente Construído e Patrimônio Sustentável, Belo Horizonte, v. 2, n. 2, p. 158-193, 2008.

TARPANI, J. R; ALMEIDA, E. G. R; SIMÊNCIO, E. C. A; MOTA, L. P; PAZ, J. H. A. A; GUALBERTO, A. R. M; CARDOSO, F. L. A; GATTI, C. A. **Inspeção Termográfica de Danos por Impacto em Laminados de Matriz Polimérica Reforçados por Fibras de Carbono**. Polímeros: Ciência e Tecnologia, São Carlos, v. 19, n. 4, p. 318-328, 2009.

SYSTEMS, Flir. User's manual: **Flir Exx series**. Wilsonville: Flir Systems, 2011. 206 p.

ENGEFAZ, Gestão e Resultado Empresarial. **Inspeção Dinâmica**: Apostila Termográfica Nível I, p. 2-17, 2005.

INFRATEMP, Soluções para Processos Industriais. **Termometria Infravermelha**: Teoria Básica, p. 3-9, 2010.

