

Capítulo VII

Ensaio termográficos

Por Gabriel Rodrigues de Souza, Igor Cavalheiro Nobre e Marcus Possi*

Breve histórico da termografia no Brasil

A radiação infravermelha foi descoberta no ano de 1800 por Sir William Herschel, astrônomo real do Rei Jorge III da Inglaterra, já famoso por ter descoberto o planeta Urano. Ao testar várias amostras de vidro de cor que permitiam reduções do brilho emitido pelo Sol, ficou intrigado quando percebeu que algumas das amostras deixavam passar pouco calor do Sol, enquanto outras deixavam passar tanto calor que corriam o risco de sofrerem lesões se observadas por muito tempo. Assim, Sir Herschel realizou uma experiência sistemática, com o objetivo de descobrir um único material que permitisse obter a redução do brilho pretendida, bem como uma redução máxima do calor. Então iniciou o seu trabalho, repetindo a experiência de Newton sobre o prisma, tentando, no entanto, estudar o efeito térmico em vez da distribuição visual da intensidade no espectro. Utilizando-se de um termômetro de mercúrio em vidro sensível, como detector de radiações, procedeu ao teste do efeito térmico das várias cores do espectro formado sobre a superfície de uma mesa e percebeu que as leituras da temperatura registravam um aumento contínuo desde o violeta até ao vermelho.

Devido à utilização de vidro no prisma da sua primeira experiência, Sir Herschel se envolveu em algumas controvérsias com os seus contemporâneos acerca da existência real dos comprimentos de onda dos infravermelhos. Em experiências posteriores, Sir Herschel realmente constatou as limitações na transparência do vidro, sendo obrigado a concluir que a óptica de

infravermelhos estaria provavelmente condenada. Isto apenas foi verdade até 1830, ano em que o cientista italiano Macedônio Melloni (1798 – 1854) fez a sua grande descoberta: o cloreto de sódio (sal-gema) de origem natural (disponível em cristais naturais), que é um elemento transparente aos infravermelhos. Com o resultado desta descoberta, o “sal-gema” tornou-se o principal material ótico de infravermelho e assim se manteve até os anos 1930, período em que foi dominada a arte de criar cristais sintéticos. Já os termômetros, utilizados como detectores de radiações, mantiveram-se insubstituíveis até 1829, ano em que Nobili inventou o par termoeletrico; tendo um avanço quando Melloni ligou vários pares termoeletricos em série para formar a primeira termopilha. O novo dispositivo era pelo menos 40 vezes mais sensível que o melhor termômetro para detecção da radiação térmica, capaz de detectar o calor libertado pelo corpo de uma pessoa a uma distância de três metros.

A primeira imagem térmica tornou-se possível em 1840, resultado encontrado por Sir John Herschel, filho do descobridor dos infravermelhos. Baseando-se na evaporação diferencial de uma película fina de petróleo quando exposta a um padrão térmico incidindo nela, era possível se ver a imagem térmica por meio da luz refletida, onde os efeitos de interferência da película de petróleo tornavam a imagem visível a olho nu. Sir John conseguiu ainda obter um registro rudimentar da imagem térmica em papel, a que chamou de “termógrafo”.

O primeiro sistema operativo, no sentido atual de termografia, só começou a ser desenvolvido

durante a Primeira Guerra Mundial, em que ambas as partes possuíam programas de investigação para a exploração militar dos infravermelhos. Durante esse período, as regras do sigilo militar proibiam terminantemente a divulgação do estado de desenvolvimento da tecnologia da formação de imagens de infravermelhos. Em meados dos anos 1950, começaram finalmente a estar à disposição das comunidades industrial e científica civil os dispositivos apropriados de formação de imagens térmicas.

Esse resumo e a base teórica tiveram como referência o livro 25 anos em termografia, de Alberto Caramalho.

Introdução

A termografia é uma técnica que permite mapear uma região com a utilização de um aparelho específico, conhecido como termógrafo, para distinguir diferentes temperaturas por meio da radiação infravermelha naturalmente emitida pelos corpos, de modo que depois de feita a coleta de informação possa desenvolver uma análise técnica das imagens obtidas pelo aparelho. A teoria da termografia diz que qualquer corpo com temperatura acima do zero absoluto ($0K = -273,15^{\circ}C$) emite uma radiação infravermelha, porém, o olho humano só pode ver uma pequena parte do espectro eletromagnético, que se localiza

na faixa entre um dos extremos da ultravioleta e, no outro extremo, os nossos olhos não podem ver os infravermelhos.

Para o desenvolvimento de um relatório de inspeção termográfica, faz-se necessária a observação de alguns itens, desde o conhecimento acadêmico e aplicação das normas existentes até o desenvolvimento final do produto (relatório de anomalias). Para o desenvolvimento desse relatório, devemos ter como ponto de partida a aplicação das normas brasileiras e, se necessário, as normas internacionais.

Dentre elas, podemos citar:

- **ABNT NBR 15572:2013** – Ensaaios não destrutivos – Termografia por infravermelha – Guia para inspeção de equipamentos elétricos e mecânico;
- **ABNT NBR 15424:2006** – Ensaaios não destrutivos – Termografia – Terminologia;
- **ABNT NBR 15763:2009** – Ensaaios não destrutivos – Termografia – Critérios de definição de periodicidade de inspeção em sistemas elétricos de potência;
- **ABNT NBR 15866:2010** – Ensaio não destrutivo – Termografia – Metodologia de avaliação de temperatura de trabalho de equipamentos em sistemas elétricos;

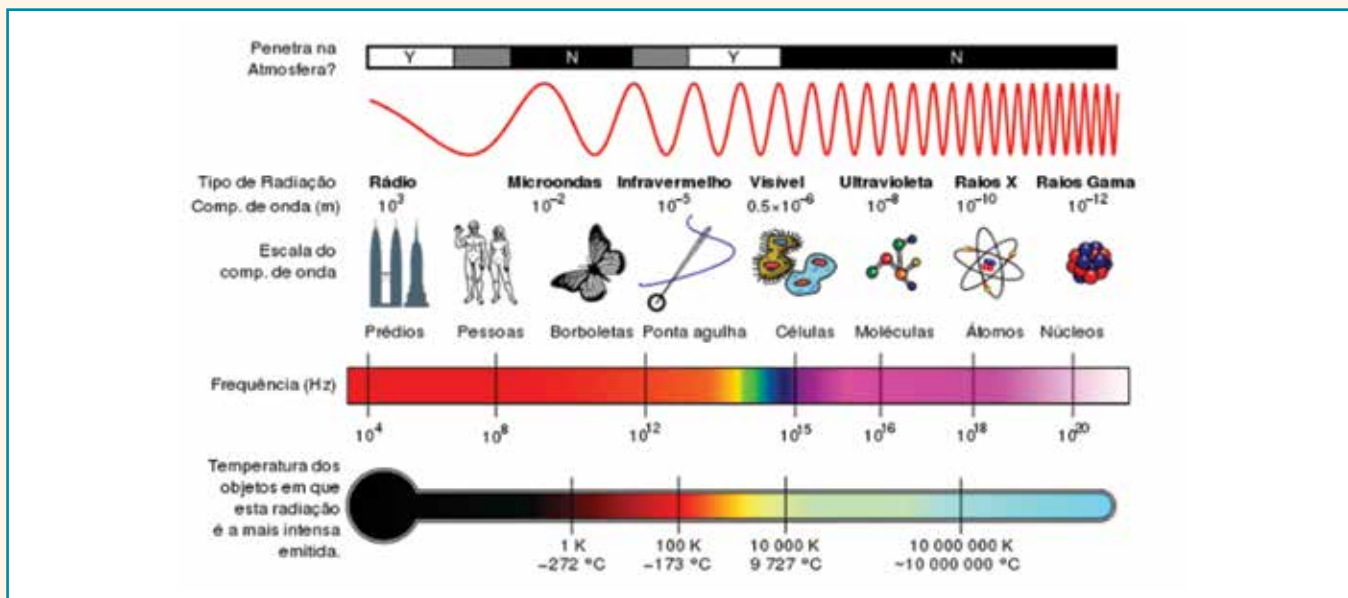


Figura 1 – Espectro eletromagnético.

- **ABNT NBR 15718:2009** – Ensaio não destrutivo – Termografia – Guia para verificação de termovisores.

Electrical Systems & Rotating Equipment;

- Entre outras do International Training Center (ITC).

Ainda devem ser consideradas as práticas reconhecidas internacionais como:

- **Infraspection Institute** – Standard for Infrared Inspection of

A norma ABNT NBR 15572:13, na sua revisão mais atual, define e qualifica os envolvidos na inspeção termográfica, onde no item 5 – responsabilidades de pessoas, descreve:

- **Inspetor termografista** – pessoa responsável pela realização da inspeção e que tem conhecimentos dos equipamentos a serem inspecionados; que é capaz de executar e interpretar os resultados; conhece a operação do termovisor; e obedece as práticas e normas de segurança (NR 10) e da empresa.
- **Assistente qualificado** – pessoa que tem conhecimento sobre a operação do equipamento a ser inspecionado e sobre os requisitos de segurança da NR 10.
- **Usuário final** – pessoa que assume a responsabilidade por consequências provenientes de ações tomadas, ou não, como os resultados obtidos da inspeção e designe um assistente qualificado para acompanhar o termografista.

Como citado, para execução de uma inspeção termográfica, deve-se seguir procedimentos e conhecer as teorias nas quais serão baseadas para a produção do relatório final, dentre elas estão:

- Conhecimentos básicos para a realização da inspeção;
- Tipos de termografia;
- Requisitos e formação – A equipe deve ser formada por profissionais com treinamentos específicos e reconhecimento formal por um organismo de certificações (item 4, ABNT NBR 15572:2013). Além disso, os profissionais envolvidos deverão possuir treinamento em NR 10 Básico e SEP, conforme determina o Ministério do Trabalho e Emprego (TEM);
- Máxima Temperatura Admissível (MTA) – O objetivo da inspeção termográfica é a detecção de pontos quentes, sobreaquecimento em equipamento que normalmente não apresenta essa diferença de temperatura quando comparados em condições de operação normal. Essas anomalias por aquecimento são geradas por diversos motivos, dentre eles conexões mal fixadas, curtos-circuitos, sobrecargas e desequilíbrios. Como já citado, o termografista deverá ter o conhecimento da temperatura máxima sob a qual o equipamento a ser inspecionado pode funcionar sem causar nenhum transtorno ao próprio equipamento, e do sistema elétrico em que esse equipamento está operando. Para essas informações é preciso, além de conhecer as normas brasileiras e internacionais, consultar os manuais dos equipamentos;
- Fatores que afetam a medição:
 - ✓ distância;
 - ✓ foco;
 - ✓ faixa de temperatura (Range);
 - ✓ emissividade – parâmetro adimensional que estabelece a relação entre a quantidade de energia irradiada por um corpo em estudo e a que seria emitida por um corpo

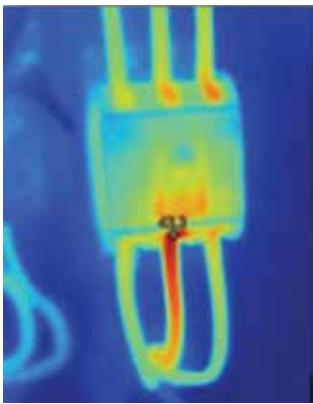
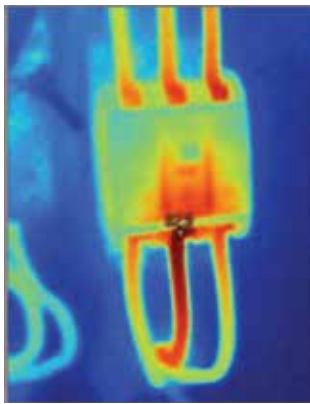
Análise Termográfica			
Equipamento:	Disjuntor Tripolar - In=30A		
Fabricante:			
Problema Encontrado:	Elevação da temperatura na fase B do disjuntor		
Emissividade = 0,95		Emissividade = 0,21	
Temp. Fase B = 43,3°C		Temp. Fase B = 82,9°C	
			
Prioridade da intervenção	4	Prioridade da intervenção	1
Medidas corretivas na próxima manutenção periódica		Medidas corretivas necessárias imediatamente	

Figura 2 – Exemplo de análise termográfica, com valor incorreto de emissividade.

- negro, à mesma temperatura e comprimento de onda. A emissividade varia entre 0 a 1 (ABNT NBR 15424:2006);
- ✓ transmissividade – porção de energia incidente sobre um corpo, que é transmitida por este, em um dado comprimento de onda. Para um corpo opaco, a transmissividade é igual a 0. Materiais transparentes possuem valores de transmissividade entre 0 e 1 (ABNT NBR 15424:2006);
 - ✓ reflexibilidade – porção de energia incidente sobre uma superfície, que é refletida por esta, em dado comprimento de onda. Para um espelho perfeito, a refletividade é 1,0 e para um corpo negro é 0 (ABNT NBR 15424:2006);
 - ✓ temperatura ambiente – temperatura do meio circundante ao objeto (ABNT NBR 15424:2006);
 - ✓ umidade do ar;
 - ✓ clima.

Dentre esses fatores, o item que se destaca é a importância da utilização do valor correto da emissividade. A seguir, está um exemplo de utilização da emissividade incorreta. Observa-se que, na utilização da emissividade igual a 0,21, houve uma elevação da temperatura de aproximadamente 40 °C, modificando a análise e, consequentemente, um erro na ação corretiva.

• Procedimento do trabalho – De acordo com a ABNT NBR 15572:2013, item 9, em que descreve diversos procedimentos para serem seguidos pelo envolvidos na inspeção, podemos citar:

- ✓ Preparação dos equipamentos e materiais: câmera termográfica calibrada, termo-higroanômetro calibrado, alicate amperímetro, entre outros;
- ✓ Práticas para inspeção: designação de assistente qualificado pelo usuário final, informações sobre a instalação (por exemplo: zonas de riscos e controlada); efetuar os ajustes nos equipamentos (emissidade), observação do ângulo de inspeção

TABELA I – CRITÉRIOS PARA AVALIAÇÃO DA SEVERIDADE DA ANOMALIA TÉRMICA

PRIORIDADE	DELTA T	AÇÃO RECOMENDADA
4	1 °C a 10 °C	Medidas corretivas devem ser tomadas no próximo período de manutenção
3	>10 °C a 20 °C	Medidas corretivas com agendamento
2	>20 °C a 40 °C	Medidas corretivas assim que possível
1	>40 °C	Medidas corretivas imediatas

Fonte: Standard for Infrared Inspection of Electrical Systems & Rotating Equipment.

entre o termovisor e o ponto a ser inspecionado, entre outros;

- ✓ Práticas de segurança: observar EPI e zona livre para posicionamento do termografista, realizar uma inspeção visual verificando possíveis anomalias.

• Grau de intervenção – A revisão mais recente da ABNT NBR 15572:2013 menciona que: “a avaliação da severidade da anomalia térmica deve ser realizada seguindo os critérios próprios do usuário final, requisitos normativos, quando eventualmente adotados, ou recomendações do fabricante”. Para a análise termográfica nos baseamos no critério retirado da *Standard for Infrared Inspection of Electrical Systems & Rotating Equipment*:

Além disso, a norma ABNT NBR 15866:2010 descreve que uma anomalia pode ser referenciada em relação a:

I – um valor estabelecido pelo fabricante nas condições nominais (MTA);

II – um elemento similar adjacente (DELTA T);

III – um valor estabelecido pelo usuário final com base no histórico operacional;

TABELA 2 – USO E DEFINIÇÃO DO GRAU DE PRIORIDADE

PRIORIDADE	DELTA T	MTA	AÇÃO RECOMENDADA
4	5°C até 10°C	> 60% da temperatura máxima até 70%	Medidas corretivas devem ser tomadas na próxima manutenção periódica. As temperaturas obtidas e as condições de serviço do equipamento não colocam em risco a instalação.
3	>10°C até 20°C	> 70% da temperatura máxima até 80%	Medidas corretivas necessárias. As temperaturas obtidas e as condições de serviço do equipamento já recomendam alguma atenção.
2	> 20°C até 40°C	> 80% da temperatura máxima até 100%	Medidas corretivas necessárias o mais rápido possível. As temperaturas obtidas e as condições de serviço do equipamento colocam sérios riscos de incidente a um curto prazo.
1	>40°C	> temperatura máxima	Medidas corretivas necessárias imediatamente. As temperaturas obtidas e o estado do equipamento indicam risco a qualquer momento.

IV – critérios definidos pelo responsável técnico da análise termográfica.

Com base nas experiências de vários trabalhos desenvolvidos na área para a análise de uma anomalia e seguindo a referência dos itens “a” e “b”, descritos anteriormente, foi desenvolvida uma tabela para uso e definição do grau de prioridade.

- Periodicidade – O intervalo da inspeção termográfica para sistemas elétricos de AT e BT, recomendada pela ABNT NBR 15763, é de seis meses, não devendo ultrapassar 18 meses, caso haja a impossibilidade de cumprir o período. Essa periodicidade pode ser reavaliada devido ao histórico, importância crítica ao processo produtivo, segurança. E em linhas de transmissão, distribuição, subestações com fator de carga inferior a 50%, e outro sistema com estudo de confiabilidade, esse período pode ser maior.

Anomalias mais comuns nas instalações elétricas

Existem diversas anomalias encontradas no sistema elétrico. As causas que podem originar os sobreaquecimentos mais usualmente detectados nas inspeções termográficas para os determinados equipamentos são:

• Cabo condutor

- Secção reduzida para a intensidade de corrente;
- Em circuitos trifásicos, intensidades de corrente distintas;
- Folga nas emendas e uniões;
- Terminais e ponteiras mal cravados;
- Terminais e ponteiras, de secção e/ou de material diferente;
- Cortes que reduzam ou debilitem a sua secção dos

condutores;

- Cabos enrolados;
- Cabos próximos a fontes de calor intensas;
- Esteiras com cabos muito próximos uns dos outros;
- Outros.

• Barramento

- Ligações incorretas;
- Junções com materiais diferentes;
- Uniões ou emendas com apertos insuficientes;
- Barras subdimensionadas para as intensidades de corrente;
- Isoladores de apoio com defeito;
- Outros.

• Régua de bornes

- Apertos incorretos;
- Borne com defeito ou mal instalado;
- Borne com seção diferente da do cabo instalado;
- Isolamento do cabo errado, aumentando a resistência de contato;
- Zona de contato de material diferente do cabo condutor;
- Outros.

• Disjuntor de baixa tensão

- Contatos internos com defeito;
- Folga nos contatos;
- Terminais ou ponteiras mal cravados;
- Subdimensionados, em relação à intensidade de corrente;
- Isolamento de cabos condutores na zona de contato dos respectivos bornes;
- Outros.

• Contadoras

- Contatos internos com defeito;
- Ligações incorretas;

- Terminais ou ponteiros mal cravados;
- Bobinas de comando com excesso de temperatura;
- Outros.

• **Fusível**

- Maxilas com pressão insuficiente ou mal encaixadas;
- Ligações incorretas e terminais mal cravados;
- Fusíveis com intensidades de corrente superiores;
- Base fusível com defeito;
- Defeitos internos;
- Outros.

• **Transformador – baixa tensão**

- Núcleos e enrolamentos com defeito;
- Isolamento deficiente nos enrolamentos;
- Bornes de ligação com folga ou com defeito;
- Outros.

• **Baterias de corrente contínua**

- Ligações incorretas;
- Defeitos internos;
- Cabos/shunts com defeito;
- Outros.

• **Circuito de terra**

- Ligações defeituosas;
- Soldas incorretas;
- Cabos elétricos com problemas de isolamento e consequentes passagens à massa;
- Eletrodos de terras com valores de resistências elevados;
- Outros.

• **Motores**

- Aquecimento excessivo na carcaça exterior com origem no rotor ou estator;
- Ligações com folgas;
- Escovas com desgaste acentuado, provocando um sobreaquecimento;
- Rolamentos com sobreaquecimento;
- Polias e correias com excesso de temperatura;
- Outros.

Termograma e relatório simplificado de anomalias

Ao final da inspeção termográfica, deverá ser emitido ao responsável da instalação ou contratante, que tem a responsabilidade legal sobre a instalação, um relatório técnico das anomalias encontradas. Durante a inspeção poderão ser encontrados equipamentos com recomendação de intervenção imediata, de forma a evitar algum problema na instalação, e deverá ser emitido um Relatório Simplificado de Termografia ao final da inspeção do dia, para que imediatamente o responsável possa acionar a manutenção corretiva nesses equipamentos. Esse relatório deverá conter os pontos críticos a serem feitas as manutenções imediatamente, com a descrição das anomalias encontradas, seu grau de criticidade, testes e ensaios necessários para melhor entendimento das causas dessas anomalias. Segue exemplo na Figura 3.

Já o Relatório Termográfico, além de ser uma apresentação com o formato da empresa contratada para execução, deverá ser de fácil consulta e conter as informações dos equipamentos examinados que apresentaram sobreaquecimento. Este relatório deverá ser entregue à pessoa responsável no prazo acertado, porém, devido à necessidade de intervenção em alguns equipamentos, estima-se um prazo de aproximadamente 15 dias a contar da inspeção. Além disso, todo o formato e análise deverão ser seguidos de acordo com a norma ABNT NBR 15572:2013 – Ensaios não destrutivos – Termografia por infravermelha – Guia para inspeção de equipamentos elétricos e mecânicos.

Custo do ensaio x custo da inspeção

No local deverão estar presentes o inspetor de termografia (termografista, conforme ABNT NBR 15572:2013) e o assistente qualificado, autorizado pelo usuário final, que possui conhecimento sobre a operação e histórico do equipamento, bem como a sua localização, além do auxílio para a abertura e fechamentos dos equipamentos a serem termografados.

Relatório simplificado de termografia	
Equipamento:	Problema Encontrado:
Condutor - Disjuntor Tripolar	Elevação da temperatura na fase C
Grau de criticidade	Possíveis Causas
1 - medidas corretivas necessárias imediatamente	Folga nas emendas e uniões; condutor subdimensionado, em relação á intensidade de corrente

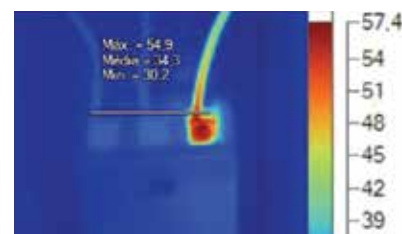


Figura 3 – Exemplo de Relatório Simplificado de Termografia.

O tempo de trabalho de uma termografia é muito variável devido ao tipo e às condições da instalação. Antes da execução deverá ser realizada uma visita ao local, para que se possa estimar o tempo, os limites e quais equipamentos deverão ser inspecionados. Assim, no dia agendado, a equipe que fará a inspeção já estará preparada para a perfeita execução, tendo preparado todo o material que precisará para a execução. O tempo de execução da inspeção pode variar de 5 minutos a 15 minutos, dependendo das condições do equipamento e do local. Para a produção do relatório, etapa que demandará mais tempo do que a etapa de inspeção deverá ser realizada com apoio dos meios, como normas aplicáveis, software de inspeção, modelos preparados para análises dos termogramas, dentre outros específicos de cada empresa, estimamos um tempo de cerca de 30 minutos para cada equipamento.

Ao final desse artigo podemos dizer que a técnica apresentada e utilizada amplamente no mercado e sua utilização se deve ao seu valor comprovado e atestado pelos profissionais que já utilizam destes meios para gerar um aumento de qualidade nas suas avaliações e na manutenção das instalações elétricas. As ferramentas e práticas ainda se encontram em desenvolvimento, o que pode gerar grandes expectativas para este tipo de ensaio e na qualidade da avaliação para todos os profissionais.

**MARCUS POSSI é engenheiro
eletricista, consultor e diretor
da Ecthos Consultoria.*

Continua na próxima edição

Confira todos os artigos deste fascículo em
www.osetoreletrico.com.br
Dúvidas, sugestões e comentários podem ser
encaminhados para o e-mail
redacao@atitudeeditorial.com.br