

BÁSICO DE TERMOGRAFIA

 Cursoslivres



Definição de Termografia

A termografia é uma técnica de medição e análise baseada na detecção da radiação infravermelha emitida por corpos e objetos, permitindo a visualização das variações de temperatura em uma determinada superfície. De maneira simplificada, a termografia consiste no registro e interpretação de imagens térmicas, que representam graficamente a distribuição de calor de um objeto ou sistema. Trata-se, portanto, de um método de diagnóstico não destrutivo, que permite a identificação de padrões térmicos e anomalias sem a necessidade de contato direto com o objeto inspecionado.

A base teórica da termografia encontra-se na física do infravermelho, mais especificamente no espectro eletromagnético. A radiação infravermelha é uma forma de energia eletromagnética situada entre as micro-ondas e a luz visível, com comprimentos de onda que variam de aproximadamente 0,7 a 1000 micrômetros. Todo corpo com temperatura acima do zero absoluto (0 K ou -273,15°C) emite radiação infravermelha de forma proporcional à sua temperatura. Assim, a termografia capta essa radiação e a transforma em uma imagem visível, na qual diferentes cores ou tons de cinza representam as variações de temperatura detectadas na superfície observada (FLIR Systems, 2011).

A termografia é uma ferramenta amplamente utilizada em diversas áreas, como engenharia elétrica, manutenção industrial, construção civil, medicina, engenharia mecânica e até em atividades de pesquisa científica. Sua principal vantagem reside na capacidade de detectar problemas invisíveis a olho nu, como pontos quentes em sistemas elétricos, falhas em equipamentos mecânicos, infiltrações em edificações, vazamentos de calor e processos inflamatórios em organismos vivos. Por ser um método não invasivo, a termografia permite a realização de inspeções sem a necessidade de desligamento dos equipamentos ou da interrupção dos processos, otimizando o tempo e garantindo a segurança das operações (Maldague, 2001).

Do ponto de vista técnico, a termografia pode ser classificada em duas categorias principais: termografia qualitativa e termografia quantitativa. A termografia qualitativa busca identificar padrões térmicos e contrastes de

temperatura em imagens, sendo mais comumente utilizada em inspeções de rotina e análises visuais. Já a termografia quantitativa envolve a medição precisa de temperaturas absolutas, com foco em aplicações que exigem alta precisão, como monitoramento de processos industriais sensíveis ou avaliação de sistemas de climatização (Vollmer & Möllmann, 2018).

Outro aspecto importante é a relação entre temperatura aparente e temperatura real. A temperatura medida por uma câmera termográfica pode ser influenciada por fatores como emissividade da superfície, distância de medição, umidade relativa do ar e temperatura ambiente. A emissividade, por exemplo, é a capacidade de um material emitir radiação térmica e varia de 0 a 1. Superfícies brilhantes, como metais polidos, apresentam baixa emissividade, enquanto superfícies opacas e escuras tendem a ter emissividade elevada. Por isso, para uma análise confiável, é fundamental ajustar corretamente os parâmetros da câmera e compreender as características do objeto a ser analisado (Silva & Costa, 2014).

Além da medição de temperatura, a termografia também contribui para a análise preditiva e para a manutenção de ativos. Por meio do monitoramento regular de sistemas elétricos e mecânicos, por exemplo, é possível identificar pontos de desgaste ou sobrecarga antes que evoluam para falhas mais graves. Da mesma forma, em edifícios, a termografia auxilia na detecção de vazamentos, pontes térmicas e problemas de isolamento, contribuindo para a eficiência energética e para a durabilidade das construções.

Em síntese, a termografia é uma tecnologia fundamental para a inspeção e análise de sistemas, pois permite visualizar e quantificar diferenças de temperatura de forma não invasiva e em tempo real. A compreensão de seus princípios, limitações e aplicações é essencial para o uso eficaz da técnica em diferentes contextos. Ao utilizar a termografia de maneira apropriada, profissionais de diversas áreas podem prevenir falhas, otimizar processos e promover a segurança em suas atividades.

Referências Bibliográficas

- FLIR Systems. *Infrared Training Center: Infrared Thermography Basics*. Wilsonville: FLIR Systems, 2011.
- Maldague, X. P. V. *Theory and Practice of Infrared Technology for Nondestructive Testing*. New York: Wiley-Interscience, 2001.
- Silva, M. A., & Costa, F. A. *Termografia Aplicada à Engenharia: Princípios e Aplicações*. São Paulo: Interciência, 2014.
- Vollmer, M., & Möllmann, K.-P. *Infrared Thermal Imaging: Fundamentals, Research and Applications*. 2ª ed. Weinheim: Wiley-VCH, 2018.



Histórico e Evolução da Termografia

A termografia, enquanto técnica de medição e análise térmica baseada na radiação infravermelha, possui um desenvolvimento histórico que remonta a descobertas fundamentais no campo da física e da tecnologia. A trajetória dessa técnica é marcada por avanços científicos significativos, aplicações progressivas e a popularização de seu uso em diversos setores industriais, de saúde e engenharia.

As origens da termografia estão associadas à descoberta da radiação infravermelha pelo astrônomo britânico Sir William Herschel, em 1800. Herschel, ao realizar experimentos com a decomposição da luz solar através de um prisma, notou que além da faixa visível do espectro, havia uma radiação invisível capaz de aquecer um termômetro colocado além da luz vermelha. Esta radiação, posteriormente denominada de infravermelho, constitui a base para o desenvolvimento da termografia (Herschel, 1800).

Apesar dessa descoberta, o uso prático da radiação infravermelha para fins de medição e análise térmica demorou a se consolidar. Durante o século XIX, diversos estudos sobre radiação térmica e suas propriedades foram realizados, especialmente no campo da física, com destaque para as leis de Planck, Stefan-Boltzmann e Wien, que forneceram os fundamentos matemáticos para compreender a emissão de energia térmica por corpos em diferentes temperaturas. No entanto, as primeiras aplicações da termografia só começaram a ser esboçadas no século XX, com o desenvolvimento de sensores capazes de detectar a radiação infravermelha.

Na década de 1920, os primeiros detectores infravermelhos experimentais foram criados, mas eram limitados pela baixa sensibilidade e pela necessidade de resfriamento criogênico. Avanços significativos ocorreram durante a Segunda Guerra Mundial, quando a tecnologia infravermelha passou a ser utilizada em sistemas de visão noturna e em dispositivos de detecção de alvos para fins militares. Esses esforços contribuíram para o aprimoramento dos detectores e para o desenvolvimento de equipamentos portáteis mais eficientes (Maldague, 2001).

Foi a partir das décadas de 1950 e 1960 que a termografia começou a ser empregada de forma mais ampla em aplicações civis. As primeiras câmeras termográficas comerciais foram desenvolvidas nessa época, permitindo o registro de imagens térmicas para análise em setores como manutenção elétrica, inspeção de edifícios e monitoramento de processos industriais. O alto custo e o tamanho dos equipamentos, no entanto, restringiam o acesso à tecnologia a usos especializados e pesquisas científicas (Vollmer & Möllmann, 2018).

Com o avanço da microeletrônica e da computação a partir das décadas de 1980 e 1990, a termografia experimentou um salto tecnológico importante. Os sensores evoluíram, tornando-se mais sensíveis, compactos e capazes de operar em temperatura ambiente, sem a necessidade de sistemas complexos de resfriamento. Paralelamente, o processamento digital de imagens térmicas permitiu a visualização e análise em tempo real, tornando a tecnologia mais acessível e prática para uma gama de aplicações. Esses avanços impulsionaram o uso da termografia em áreas como a medicina (para diagnóstico de inflamações e tumores), manutenção preditiva (inspeções elétricas e mecânicas), e em estudos de eficiência energética em edificações (Silva & Costa, 2014).

Atualmente, a termografia é uma ferramenta consolidada, amplamente utilizada em diversos setores e constantemente aprimorada. As câmeras termográficas modernas são compactas, portáteis e oferecem alta resolução térmica, possibilitando medições precisas em diferentes contextos. A popularização de drones equipados com sensores infravermelhos, por exemplo, expandiu as possibilidades de inspeção em áreas de difícil acesso, como linhas de transmissão, usinas solares e estruturas de grande porte.

Além disso, a integração da termografia com tecnologias emergentes, como a inteligência artificial e a análise de dados em nuvem, promete novos avanços na interpretação automática de padrões térmicos e na geração de alertas preditivos para manutenção e segurança. A evolução contínua da termografia reflete a importância da técnica como ferramenta estratégica para a tomada de decisões e para a prevenção de falhas em diversos setores da sociedade.

Em resumo, a história da termografia é marcada por um percurso de mais de dois séculos, desde a descoberta do infravermelho até o desenvolvimento de tecnologias avançadas de medição térmica. De uma técnica inicialmente restrita a aplicações militares e científicas, a termografia tornou-se uma ferramenta essencial e acessível, com aplicações consolidadas em engenharia, saúde, segurança e pesquisa. Seu contínuo aprimoramento tecnológico garante que a termografia siga desempenhando um papel fundamental na identificação de anomalias, no controle de processos e na busca por maior eficiência e segurança em diferentes áreas do conhecimento humano.

Referências Bibliográficas

- Herschel, W. (1800). *Experiments on the Refrangibility of the Invisible Rays of the Sun*. Philosophical Transactions of the Royal Society of London, 90, 284–292.
- Maldague, X. P. V. (2001). *Theory and Practice of Infrared Technology for Nondestructive Testing*. New York: Wiley-Interscience.
- Silva, M. A., & Costa, F. A. (2014). *Termografia Aplicada à Engenharia: Princípios e Aplicações*. São Paulo: Interciência.
- Vollmer, M., & Möllmann, K.-P. (2018). *Infrared Thermal Imaging: Fundamentals, Research and Applications*. 2ª ed. Weinheim: Wiley-VCH.

Áreas de Aplicação da Termografia

A termografia, como técnica de medição e análise de radiação infravermelha emitida por corpos e superfícies, tornou-se uma ferramenta indispensável em diversos setores, dada sua capacidade de identificar variações de temperatura de forma rápida, segura e sem contato direto com os objetos inspecionados. Sua ampla aplicabilidade resulta da combinação entre princípios físicos bem estabelecidos e avanços tecnológicos, permitindo que diferentes áreas se beneficiem de suas potencialidades.

Uma das aplicações mais consolidadas da termografia está na **manutenção preditiva e inspeção industrial**. Em sistemas elétricos, a detecção de pontos quentes, conexões frouxas, sobrecargas e falhas em componentes é essencial para prevenir panes e garantir a continuidade dos processos produtivos. A termografia permite inspecionar quadros elétricos, transformadores, linhas de transmissão e motores em operação, sem a necessidade de interrupção, otimizando o planejamento de manutenções e evitando acidentes graves (Maldaque, 2001). Na indústria mecânica, a técnica é aplicada para monitorar o desgaste de rolamentos, mancais, sistemas de ventilação e engrenagens, onde o aumento anormal de temperatura indica potenciais problemas de lubrificação ou desalinhamento.

No **setor da construção civil**, a termografia tem ganhado relevância no diagnóstico de patologias em edificações. A técnica é eficaz na identificação de falhas de isolamento térmico, infiltrações de água, pontes térmicas, vazamentos em sistemas hidráulicos e deficiências em revestimentos. Esses problemas, muitas vezes invisíveis a olho nu, podem comprometer a eficiência energética de um edifício e gerar custos elevados se não forem corrigidos a tempo. A termografia auxilia arquitetos, engenheiros e gestores de obras na inspeção não destrutiva e na elaboração de estratégias de reparo mais precisas (Silva & Costa, 2014).

Outra área de destaque é a **engenharia de processos e pesquisa científica**, onde a termografia é utilizada para monitorar reações químicas, avaliar o comportamento térmico de materiais e estudar fenômenos de transferência de calor. Em laboratórios, a análise térmica de superfícies e componentes

pode revelar propriedades como condutividade, difusividade e emissividade, contribuindo para o desenvolvimento de novos produtos e para a otimização de processos industriais (Vollmer & Möllmann, 2018).

No campo da **medicina e da saúde**, a termografia tem sido empregada como uma ferramenta complementar no diagnóstico e acompanhamento de diversas condições clínicas. Exames termográficos podem auxiliar na detecção precoce de processos inflamatórios, lesões musculares, variações no fluxo sanguíneo e até alterações associadas a doenças como câncer de mama, problemas vasculares e neuropatias. Por ser uma técnica não invasiva e indolor, a termografia oferece vantagens significativas em relação a métodos tradicionais de diagnóstico por imagem, embora seja importante ressaltar que seu uso deve ser sempre integrado a outras avaliações clínicas (Ring & Ammer, 2012).

No **setor de segurança pública e defesa**, a termografia é empregada em atividades de vigilância, monitoramento de perímetros, busca e salvamento, e operações noturnas. Câmeras infravermelhas permitem identificar alvos ou indivíduos em ambientes de baixa visibilidade, como florestas, áreas montanhosas e durante a noite, oferecendo suporte a missões críticas. Da mesma forma, na área de **proteção ambiental**, a técnica auxilia na detecção de queimadas, no monitoramento de áreas de reflorestamento e no controle de emissões térmicas em usinas e instalações industriais, contribuindo para a preservação de recursos naturais e para a sustentabilidade.

Com o avanço da tecnologia, a termografia também tem sido integrada a **sistemas automatizados**, como drones e robôs, ampliando as possibilidades de aplicação em locais de difícil acesso ou em condições de risco para operadores humanos. Inspeções em estruturas de grande porte, como torres eólicas, plataformas marítimas e pontes, são exemplos de atividades que se beneficiam dessa integração, aumentando a eficiência e a segurança das operações (FLIR Systems, 2011).

Em síntese, a termografia é uma tecnologia versátil e em constante evolução, cuja aplicação transcende diferentes setores e contribui para a eficiência operacional, a segurança de processos e a preservação de recursos. Seu uso,

quando aliado a boas práticas de medição e interpretação correta dos dados, permite a detecção precoce de problemas e a tomada de decisões mais assertivas, reforçando sua importância como ferramenta de monitoramento e diagnóstico no mundo contemporâneo.

Referências Bibliográficas

- FLIR Systems. *Infrared Training Center: Infrared Thermography Basics*. Wilsonville: FLIR Systems, 2011.
- Maldague, X. P. V. *Theory and Practice of Infrared Technology for Nondestructive Testing*. New York: Wiley-Interscience, 2001.
- Ring, E. F. J., & Ammer, K. (2012). *Infrared Thermal Imaging in Medicine*. *Physiological Measurement*, 33(3), R33–R46.
- Silva, M. A., & Costa, F. A. *Termografia Aplicada à Engenharia: Princípios e Aplicações*. São Paulo: Interciência, 2014.
- Vollmer, M., & Möllmann, K.-P. *Infrared Thermal Imaging: Fundamentals, Research and Applications*. 2ª ed. Weinheim: Wiley-VCH, 2018.



Radiação Infravermelha e Temperatura

A relação entre radiação infravermelha e temperatura está no centro dos estudos de termografia e de técnicas de medição térmica sem contato. Compreender essa relação requer a análise dos princípios da física que explicam a emissão, propagação e detecção da energia térmica irradiada por corpos. Todo objeto com temperatura acima do zero absoluto (0 K ou -273,15 °C) emite radiação eletromagnética, sendo que parte dessa radiação está no espectro do infravermelho. Assim, a radiação infravermelha é um fenômeno físico universal, diretamente associado à temperatura dos corpos.

O espectro eletromagnético é composto por diferentes faixas de radiação, que variam de acordo com o comprimento de onda. A radiação infravermelha, também conhecida como radiação térmica, situa-se entre a luz visível e as micro-ondas, com comprimentos de onda típicos entre 0,7 micrômetro (μm) e 1000 μm . Essa faixa é subdividida em três regiões principais: infravermelho próximo (0,7 a 1,5 μm), médio (1,5 a 5 μm) e distante (5 a 1000 μm). A radiação infravermelha é invisível ao olho humano, mas pode ser detectada por sensores apropriados, como os usados em câmeras termográficas (Vollmer & Möllmann, 2018).

A emissão de radiação térmica por um corpo depende, fundamentalmente, de sua temperatura e de sua emissividade, conceito que descreve a capacidade de um material emitir radiação térmica em comparação com um emissor ideal, o corpo negro. O corpo negro é um modelo teórico de objeto que absorve e emite toda a radiação incidente, com eficiência máxima. A radiação emitida por um corpo negro segue as leis físicas descritas por Planck, Stefan-Boltzmann e Wien, que estabelecem a relação entre temperatura, comprimento de onda e intensidade de radiação.

A Lei de Stefan-Boltzmann afirma que a potência total irradiada por unidade de área de um corpo negro é proporcional à quarta potência de sua temperatura absoluta (T^4). Essa relação é expressa matematicamente por:

$$E = \sigma T^4$$

onde E é a energia irradiada por unidade de área, T é a temperatura absoluta e σ é a constante de Stefan-Boltzmann, cujo valor é aproximadamente $5,67 \times 10^{-8} \text{ W.m}^{-2}.\text{K}^{-4}$. Isso significa que mesmo pequenas variações de temperatura podem resultar em aumentos significativos na quantidade de radiação emitida. Essa relação é a base da termografia, pois a intensidade da radiação infravermelha detectada permite estimar a temperatura do objeto (Maldague, 2001).

A Lei de Planck, por sua vez, descreve a distribuição espectral da radiação emitida por um corpo negro em função do comprimento de onda e da temperatura. Segundo essa lei, à medida que a temperatura aumenta, o pico de emissão desloca-se para comprimentos de onda menores, fenômeno conhecido como Lei de Deslocamento de Wien. Isso explica, por exemplo, por que objetos muito quentes, como metais incandescentes, podem emitir radiação visível além da radiação infravermelha.

Em aplicações práticas, a temperatura de um corpo é estimada a partir da radiação infravermelha emitida e captada por sensores específicos, como os de câmeras termográficas. Contudo, a medição da temperatura real exige a consideração de fatores como a emissividade do material, a distância de medição, a temperatura ambiente e a presença de obstáculos ou interferências na linha de visão. Materiais com alta emissividade, como superfícies opacas e não metálicas, emitem radiação mais intensa e são mais fáceis de medir termograficamente. Já materiais com baixa emissividade, como superfícies metálicas polidas, refletem parte da radiação do ambiente, o que pode gerar leituras imprecisas se os ajustes corretos não forem aplicados (Silva & Costa, 2014).

A radiação infravermelha é fundamental não apenas para medições de temperatura, mas também para estudos de transferência de calor. Ela é uma das três formas principais de propagação de calor, juntamente com a condução e a convecção. No caso da radiação, o calor é transferido por ondas eletromagnéticas, sem a necessidade de meio material, o que explica sua importância em ambientes onde outros modos de transferência não são eficazes, como no vácuo ou em grandes distâncias.

Além de sua importância teórica, a radiação infravermelha é a base para uma série de aplicações práticas, como na indústria (para detecção de falhas em sistemas elétricos e mecânicos), na construção civil (para análise de isolamento térmico e infiltrações), na medicina (para detecção de processos inflamatórios) e em sistemas de segurança (para monitoramento de áreas em condições de baixa visibilidade).

Em síntese, a radiação infravermelha está intimamente relacionada à temperatura dos corpos e é um fenômeno físico de grande relevância para a ciência e a tecnologia. Seu estudo permite o desenvolvimento de técnicas avançadas de medição, monitoramento e diagnóstico, contribuindo para o avanço de diversas áreas do conhecimento e para a otimização de processos industriais e científicos.

Referências Bibliográficas

- Maldague, X. P. V. (2001). *Theory and Practice of Infrared Technology for Nondestructive Testing*. New York: Wiley-Interscience.
- Silva, M. A., & Costa, F. A. (2014). *Termografia Aplicada à Engenharia: Princípios e Aplicações*. São Paulo: Interciência.
- Vollmer, M., & Möllmann, K.-P. (2018). *Infrared Thermal Imaging: Fundamentals, Research and Applications*. 2ª ed. Weinheim: Wiley-VCH.

Diferença entre Temperatura Aparente e Real

No contexto da termografia, a distinção entre **temperatura aparente** e **temperatura real** é fundamental para a correta interpretação de imagens térmicas e para a obtenção de medições precisas. Embora esses termos sejam frequentemente confundidos, entender suas diferenças é essencial para evitar erros de análise, principalmente em inspeções técnicas, processos industriais, estudos de eficiência energética e monitoramentos de saúde.

A **temperatura real** corresponde ao valor físico exato da temperatura de uma superfície ou objeto, considerando todas as influências ambientais e características intrínsecas do material. Trata-se da medida obtida por instrumentos de contato direto, como termopares ou termômetros de superfície, ou de forma indireta, por cálculos devidamente corrigidos com base em parâmetros físicos. Já a **temperatura aparente** é o valor inicial indicado por uma câmera termográfica ou outro sensor infravermelho sem que sejam consideradas as variáveis externas que afetam a medição, como emissividade, transmitância atmosférica, reflexões do ambiente e distância de medição (Maldague, 2001).

A radiação térmica detectada por uma câmera termográfica não provém exclusivamente da superfície do objeto observado. Ela é influenciada por diversos fatores que podem distorcer a medição. Entre esses fatores, o mais importante é a **emissividade** do material, que representa a eficiência com que uma superfície emite radiação térmica em comparação com um corpo negro ideal. Superfícies com emissividade alta (próxima de 1), como materiais opacos e escuros, tendem a emitir radiação de forma mais eficiente, proporcionando leituras mais precisas. Em contrapartida, superfícies metálicas ou brilhantes, com baixa emissividade, refletem radiação do ambiente, o que pode levar a erros significativos na leitura da temperatura (Silva & Costa, 2014).

Outro aspecto relevante é a influência da **reflexão de radiação infravermelha** proveniente de fontes externas, como o sol, lâmpadas, máquinas ou até mesmo o corpo do operador. Essa radiação refletida pode ser captada pelo sensor e somada à radiação emitida pelo objeto, resultando

em uma **temperatura aparente** que não corresponde à temperatura real da superfície. Da mesma forma, a **absorção atmosférica**, especialmente em ambientes com alta umidade ou poeira, pode atenuar a radiação infravermelha que chega ao detector, gerando leituras mais baixas do que a temperatura real.

A **distância entre a câmera e o objeto** também interfere no valor medido. A radiação térmica sofre atenuação à medida que percorre o ar, o que pode afetar a precisão da medição, principalmente em distâncias maiores ou em condições atmosféricas adversas. Além disso, fatores como a **temperatura ambiente** e as **condições de fundo térmico** (background radiation) devem ser considerados e devidamente compensados no ajuste dos parâmetros da câmera.

Por essas razões, para transformar a **temperatura aparente** (valor bruto fornecido pelo equipamento) na **temperatura real** (valor físico correto), é necessário ajustar os parâmetros da câmera termográfica. Isso envolve definir corretamente a emissividade da superfície analisada, estimar a temperatura refletida do ambiente (também chamada de temperatura de fundo), considerar a distância de medição e corrigir as perdas ou interferências atmosféricas. Ignorar essas variáveis pode levar a erros de medição que comprometem a análise, principalmente em aplicações críticas como inspeções elétricas, monitoramento de processos industriais e diagnósticos em saúde (FLIR Systems, 2011).

Por exemplo, ao medir a temperatura de uma tubulação de metal polido, a câmera pode indicar uma **temperatura aparente** muito menor ou maior que a **temperatura real** da superfície. Isso ocorre porque o metal, com baixa emissividade, reflete a radiação do ambiente, que pode ser confundida como radiação própria do objeto. Se o operador não ajustar a emissividade correta no equipamento ou não considerar a influência do ambiente, o valor medido estará incorreto. Da mesma forma, ao inspecionar um sistema elétrico exposto ao sol, o reflexo da radiação solar pode elevar artificialmente a **temperatura aparente**, sem que haja necessariamente um aquecimento real do equipamento.

Em síntese, a diferença entre **temperatura aparente** e **temperatura real** é um conceito essencial na termografia. A **temperatura aparente** é o valor inicial fornecido pela câmera termográfica, influenciado por diversos fatores externos e pelas características da superfície observada. Já a **temperatura real** corresponde à medição corrigida, considerando todos os ajustes necessários para eliminar interferências e garantir precisão. Para uma análise confiável, o profissional que utiliza a termografia deve conhecer as propriedades físicas do material inspecionado, entender as variáveis ambientais presentes e realizar as devidas configurações no equipamento. Somente assim é possível utilizar a termografia como uma ferramenta eficaz e precisa em diferentes aplicações.

Referências Bibliográficas

- FLIR Systems. (2011). *Infrared Training Center: Infrared Thermography Basics*. Wilsonville: FLIR Systems.
- Maldague, X. P. V. (2001). *Theory and Practice of Infrared Technology for Nondestructive Testing*. New York: Wiley-Interscience.
- Silva, M. A., & Costa, F. A. (2014). *Termografia Aplicada à Engenharia: Princípios e Aplicações*. São Paulo: Interciência.
- Vollmer, M., & Möllmann, K.-P. (2018). *Infrared Thermal Imaging: Fundamentals, Research and Applications*. 2ª ed. Weinheim: Wiley-VCH.