

## TERMOGRAFIA COMO TÉCNICA NÃO DESTRUTIVA NO DIAGNÓSTICO DE PATOLOGIAS EM PEÇAS DE MADEIRA

**Aline Maracahipe Rocha, Graduada de Arquitetura e Urbanismo UFMG, alinemaracahipe@gmail.com**

**Cynara Fiedler Bremer, Profª. Drª. Escola de Arquitetura UFMG, cynarafiedlerbremer@ufmg.br**

**Eduardo Cabaleiro Cortizo, Prof. Dr. Escola de Arquitetura UFMG, cabaleiro@gmail.com**

### Resumo

Esse artigo tem como objetivo apresentar a viabilidade do uso da termografia como técnica não destrutiva para diagnóstico das patologias ocultas em peças de madeira, sejam provenientes de manifestações naturais como fissuras, fendas, nós, gretas, a partir de agentes químicos, atmosféricos e/ou biológicos (ataque de fungos ou insetos xilófagos) ou de ação antrópica. Por meio do uso da técnica ativa de termografia, que utiliza o pré-aquecimento da superfície analisada, foram realizados experimentos a fim de se identificar a posição de defeitos naturais nessas peças. Para isso, foram utilizadas peças de tamanhos variados, com o objetivo de se simular peças estruturais presentes em telhados, vigas, etc. Os ensaios foram realizados em laboratório, com temperatura e umidade registradas. Os resultados demonstraram a viabilidade da utilização da técnica como ferramenta de diagnóstico preliminar de patologias ocultas próximas à superfície das peças e de manutenção em madeiras, em estágio inicial ou avançado.

**Palavras-chave:** Termografia. Técnica não destrutiva. Patologia. Madeira. Tecnologia da construção.

### Abstract

This article aims to present the feasibility of the use of thermography as a non - destructive technique to diagnose the pathologies hidden in wood pieces, whether they come from natural manifestations such as cracks, cracks, nodes, cracks, chemical, atmospheric and/or biological (attack of fungi or xylophagous insects) or of anthropic action. Through the use of the active thermography technique, which uses pre-heating of the analyzed surface, experiments were carried out in order to identify the position of natural defects in these pieces. For this, pieces of varied sizes were used, in order to simulate structural pieces present in roofs, beams, etc. The tests were carried out in the laboratory, with temperature and humidity recorded. The results demonstrated the feasibility of using the technique as a tool for the preliminary diagnosis of occult pathologies near the surface of the pieces and maintenance of wood in the initial or advanced stage.

**Keywords:** Thermography. Non-destructive techniques. Pathologies. Wood. Construction technology.

## 1 Introdução

Desde épocas remotas a madeira vem se consolidando como um excepcional material da construção, devido à sua disponibilidade, resistência e facilidade de manuseio e de usinagem. Visto as suas vastas opções de utilização, um dos maiores problemas da madeira é a identificação de patologias que não estejam em estado avançado e que comprometam seu uso, seja estrutural ou estético. A vulnerabilidade da madeira de construção ao ataque biológico depende da camada do tronco de onde foi extraída a madeira (o alburno é mais sensível à biodegradação do que o cerne), da espécie da madeira (algumas espécies são mais resistentes à biodeterioração) e das condições ambientais, caracterizadas pelos ciclos de reumidificação, pelo contato com o solo, com água doce ou salgada. (PFEIL; PFEIL, 2003). Um dos problemas atuais é que espécies de madeiras reconhecidas de alta durabilidade natural não estão mais disponíveis no mercado e, gradualmente, estão sendo substituídas por outras de rápido crescimento, exigindo, em contrapartida, tratamento preservativo (VIDAL, 2015). Muitas manifestações patológicas são de fácil detecção, pois são visíveis, porém, existem diversas outras que geralmente permanecem ocultas. De acordo com FIGUEREDO (2016), a detecção das patologias é feita visualmente, ou seja, quando elas já afloraram nas superfícies da edificação. Quando há suspeita da presença de uma anomalia, executa-se um ensaio para comprovar a sua existência. Dentre diversos tipos de ensaios, os mais comuns são de percussão, trado de incremento, ultrassom, tomografia, perfuração controlada pilodyn e resistografia. A maioria desses ensaios ocasiona a destruição da peça, seja parcial ou totalmente. A termografia é um ensaio não destrutivo, aplicado como método de prevenção e avaliação de defeitos ocultos em peças de madeira, seja proveniente de manifestações naturais, atmosféricas e/ou biológicas.

## 2 Revisão de literatura

A norma ABNT NBR7190 (1997) traz em seu Anexo B as recomendações de ensaios para a determinação das propriedades das madeiras para projetos de estruturas. Porém, dependendo do local onde a peça estiver ou se for uma peça tombada pelo patrimônio não é possível extrair corpos-de-prova para a realização de tais ensaios, que têm natureza destrutiva. Nestes casos e em outros (em que a necessidade de resposta for rápida) podem ser realizados os chamados ensaios não destrutivos.

### 2.1. Ensaio não destrutivos

A Associação Brasileira de Ensaio Não Destrutivos e Inspeção descreve os Ensaio Não Destrutivos (END) como técnicas utilizadas na inspeção de materiais e equipamentos sem danificá-los, sendo executadas nas etapas de fabricação, construção, montagem e manutenção. Métodos desta natureza são vantajosos devido à capacidade de proporcionar dados de possíveis defeitos de determinado produto, sem provocar a destruição da peça em análise. Entre as principais técnicas de END podem ser citadas: a radiografia, que baseia-se na absorção diferenciada da radiação penetrante pela peça em inspeção; a ultrassonografia, que consiste na identificação de sons que reverberam de maneira descontinuada em um anteparo qualquer e a tomografia, técnica que “refere-se à imagem transversal de um objeto de

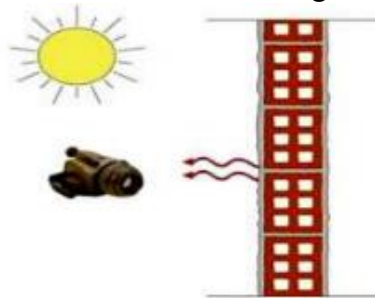
transmissão ou reflexão de dados coletados por iluminação da amostra de diferentes direções” (BUCUR, 2003, tradução nossa).

## 2.2 Termografia passiva e ativa

A termografia é descrita como um termo genérico, porém que respalda-se em uma variedade de técnicas utilizadas para visualizar a temperatura na superfície dos objetos e refere-se à imagem de uma distribuição de temperatura de campo completo (BUCUR, 2003). Ela pode ser apresentada como sendo uma técnica de um método não destrutivo sem contato de identificação visual do gradiente de temperatura superficial de um corpo em condições ambientais (CORTIZO, 2007). No caso do chamado método passivo, o material é submetido a aquecimento de uma fonte natural, como representado pela Figura 1. A imagem térmica obtida é o resultado de uma interação muito complexa entre a fonte de aquecimento, o material e a presença ou ausência de defeitos. A taxa de aplicação de calor e o modo de aquecimento por contato ou por radiação são fatores de grande importância para obter sobre a integridade da estrutura. O gradiente térmico é calculado a partir da distribuição de temperatura. A aplicação de calor pode ser em um único ponto ou em uma área ampla (BUCUR, 2003).

Uma vantagem do método de aquecimento passivo sobre o procedimento de aquecimento ativo é a capacidade de produzir uma distribuição de temperatura sem recorrer ao carregamento mecânico do material. [...] A desvantagem do método passivo é que as imagens térmicas são transitórias. (BUCUR, 2003).

Figura 1 – Técnica de termografia passiva

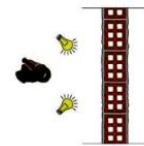



Fonte: CORTIZO (2007).

Entretanto, se não for possível aquecer o material com fontes exteriores, será necessário aplicar calor com radiadores (termografia ativa), como demonstrado na Figura 2, provocando a elevação da temperatura: a imagem superior representa a captação da transmissão e parcela da reflexão de calor, enquanto a imagem inferior representa a captação somente da transmissão de calor. De acordo com Meinschmidt, o calor irá dissipar-se em uma velocidade correspondente às propriedades térmicas do material, como a densidade, a capacidade térmica, a condutividade térmica e a qualidade de ligação entre a camada de superfície superior e o material de base. Quaisquer defeitos presentes no corpo produzem uma barreira durante o processo de difusão do calor; logo, a temperatura da superfície acima do defeito irá diminuir mais lentamente do que a temperatura em outras regiões. Este autor ainda

reforça que, para materiais à base de madeira comparadas a metais, tais efeitos são relativamente lentos. A detecção de defeitos pode levar alguns segundos, ou mesmo alguns minutos ou até horas após o impacto do calor, dependendo do material, da profundidade do defeito e da intensidade de calor.

Figura 2 – Possibilidades de técnica ativa

Posição relativa – câmera e fonte	Posicionamento da fonte
Mesmo sentido da câmera e fonte	
Sentido oposto da câmera e fonte	

Fonte: CORTIZO (2007).

### 2.3. Sistema de imageamento termal

A imagem gerada pelo aparelho termográfico é denominada termograma. Para a análise do material deve-se ter conhecimento sobre temperatura, emissividade (quociente da taxa de radiação emitida por uma superfície pela taxa de radiação emitida por um corpo negro, à mesma temperatura), transferência de calor, sobre o sistema de imagens infravermelho e as especificações da câmera utilizada. De acordo com CORTIZO (2007), para produzir um bom imageamento deve-se ter cuidado com a distância da câmera ao objeto, no sentido de diminuir a influência do meio na leitura da temperatura do objeto. Veratti (1992 *apud* CORTIZO, 2007, p. 48) especifica que apenas quando o campo de visão instantâneo (*Instant Field of View – IFOV*) é menor ou igual à área medida (fonte extensa) pode-se realizar uma medição precisa de temperatura. Na prática, é necessário que o IFOV seja no máximo 1/2 da área medida para minimizar o efeito da medição por média do detector. No caso de fontes pontuais, a temperatura medida será sempre inferior ao valor real.

## 3 Materiais e métodos

O equipamento utilizado na captação das imagens foi a câmera FLIR T450sc (Figura 3), resolução de 320 X 240 pixels, com captura da variação termal em <30mK a 30°C e campo de visão (IFOV) de 25° x 19° / 0,4 m.

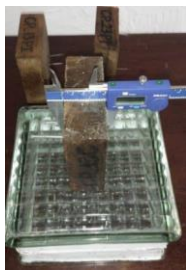
Figura 3 – Modelo de câmera termográfica



Fonte: <<http://www.flir.com/uploadedImages/Research-Science/Products/T400-Series/flir-t460sc.png>> (Acesso em 09 nov. 2017).

Foi escolhida a espécie Cumaru (*Dipteryx odorata*), por ser uma das madeiras mais utilizadas na construção civil. O ensaio realizado tinha como objetivo analisar o comportamento das peças secas à termografia ativa, com peças separadas em duas séries, com peças de tamanhos variados, com o objetivo de se simular peças estruturais presentes em telhados, vigas, etc. Para a série 1 as peças tinham medidas médias de 165 mm na direção paralela às fibras (A), 69 mm no sentido tangencial (B) e 14 mm no sentido radial (C) e para a série 2 as peças tinham medidas médias de 150mm no sentido paralelo às fibras (A), 160mm no sentido tangencial (B) e radialmente (C) com 150 mm, Figura 4.

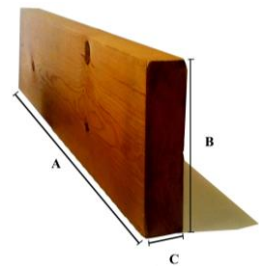
Figura 4 – (a) e (b) Medição de peças da série 1.  
(c) Sentido da medição das peças: A – Paralelo às fibras.  
B – Tangencial às fibras. C – Radialmente às fibras.



(a)



(b)



(c)

Fonte: MARACAHIBE (2017).

As peças foram apoiadas em tijolo de vidro como suporte. As imagens foram produzidas em laboratório, com temperatura de 26°C, umidade relativa do ar em 49%, emissividade de 0,70 e distância de 0,15m da câmera ao objeto. O período de aquecimento estipulado para todas as peças foi, de no mínimo, 30 minutos corridos. A emissividade foi estabelecida de acordo com as tabelas disponíveis na ABNT NBR15220 (2003) e com outros autores consultados. Foram colocados pregos nas faces que não foram aquecidas para que não houvesse contato das mãos com as peças durante a montagem do ensaio. O processo constituiu-se de montagem, fotografar em temperatura ambiente e, posteriormente, com um corpo negro ao lado, aquecer com lâmpada fluorescente pelo tempo mínimo e fotografar todas as superfícies do objeto.

## 4 Resultados parciais/finais

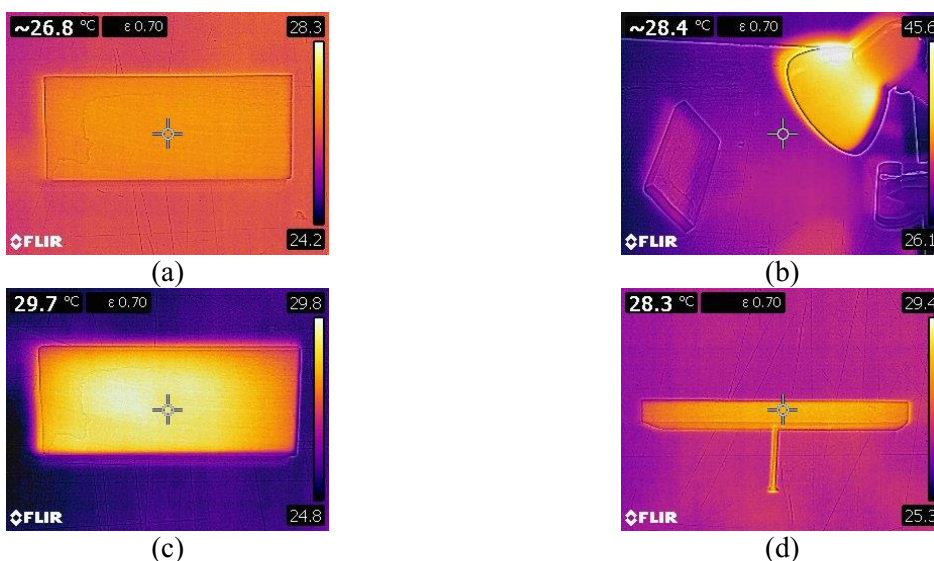
Os resultados de um ensaio (antes, durante e após o aquecimento) da série 1 encontram-se nas Figuras 5 e 6. Na lateral direita das fotografias é possível observar uma

escala que varia em função das temperaturas mínima e máxima atingidas naquele instante, sendo os tons de roxo a mais escuros as regiões mais frias enquanto que os tons mais claros são as mais quentes. Portanto, se existirem defeitos que forem apresentados pela termografia, esta área terá cores mais escuras que a superfície aquecida.

As peças de Cumaru da série 1 não apresentaram defeitos para que a câmera exhibisse diferenças a partir da escala gráfica, pois as escalas de cores apresentaram-se de maneira uniforme (Figuras 5 e 6),.

Figura 5 – Ensaio da série 1.

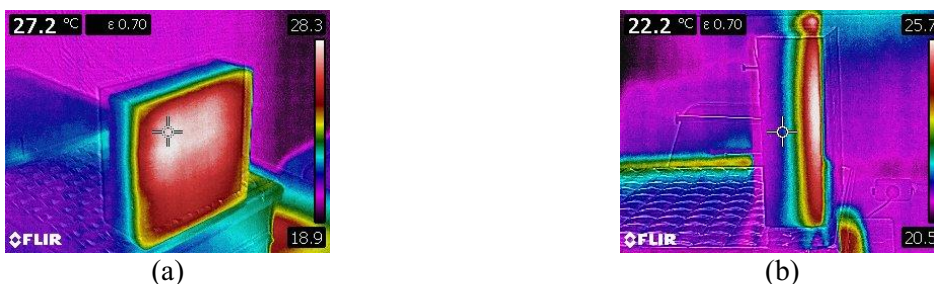
- (a) Antes o aquecimento. (b) Durante o aquecimento com lâmpada incandescente.  
(c) Após aquecimento. (d) Após aquecimento visto por cima.

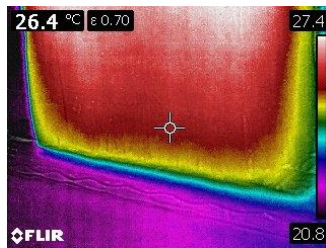


Fonte: MARACAHIBE (2017).

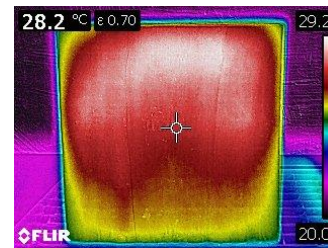
Figura 6 – Ensaio da série 1 após aquecimento.

- (a) Lateral parcial. (b) Lateral esquerda. (c) Base da peça. (d) Frente aproximada.





(c)



(d)

Fonte: MARACAHIPE (2017).

Uma das peças da série 2 apresentou resultados diferentes, pois um defeito visível (Figura 7) demonstrou temperatura diferente da superfície aquecida. Esta abertura ainda permitiu a visualização, por meio da termografia, do calor refletido na face posterior. Assim, mesmo com a superfície da peça atingindo 66,2°C, seu interior não passou de 50°C. Sendo esse resultado esperado, a termografia demonstra eficácia na identificação de patologias internas. Os resultados do ensaio (antes, durante e após o aquecimento) desta peça da série 2 encontram-se nas Figuras 8 e 9.

Figura 7 – Peça com defeito utilizada no ensaio da série 2.  
(a) Face aquecida. (b) Face posterior.



(a)



(b)

Fonte: MARACAHIPE (2017).

Figura 8 – Ensaio da série 2.

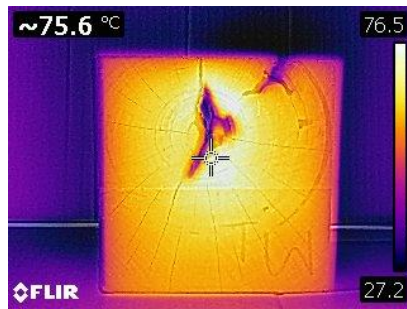
- (a) Antes do aquecimento, com corpo negro adesivado a peça.  
(b) Durante o aquecimento com refletor de lâmpada de halógeno.  
(c) Após aquecimento. (d) Após aquecimento, fundos da peça.



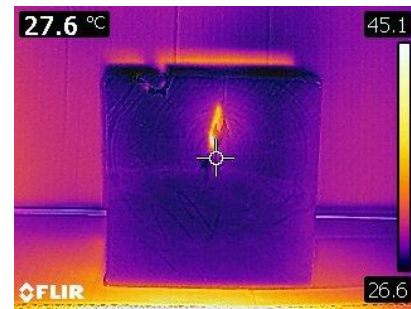
(a)



(b)



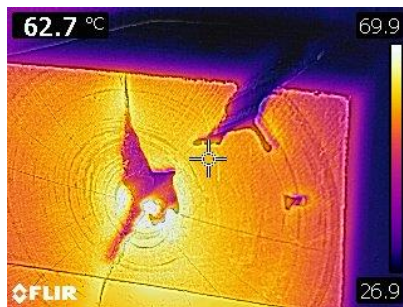
(c)



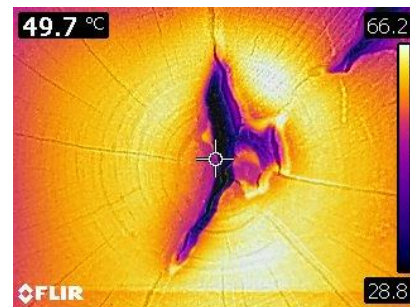
(d)

Fonte: MARACAHIBE (2017).

Figura 9 – Ensaio da série 2 após aquecimento  
(a) Frente superior. (b) Detalhe do defeito.  
(c) Aproximação pelos fundos da peça. (d) Vista superior.



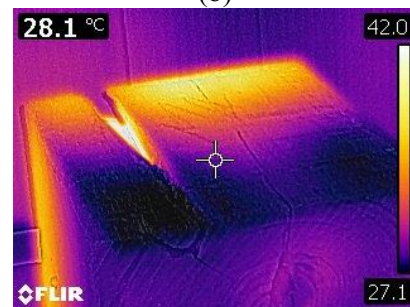
(a)



(b)



(c)



(d)

Fonte: MARACAHIBE (2017).

## 5 Considerações parciais/finais

Para o primeiro tipo de ensaio realizado, série 1 e Figuras 5 e 6, é perceptível que as temperaturas das faces foram muito bem capturadas nas imagens termográficas e os resultados indicaram que as peças não tinham quaisquer defeitos internos, visto que não apresentaram diferenças de temperatura em todas as direções.

Para o segundo tipo de ensaio, série 2 e Figuras 7 a 9, foi possível perceber que os defeitos visíveis foram capturados nas imagens termográficas. Da mesma forma, os fundos indicam a diferença de temperatura presente na parte posterior da peça e, pela vista superior, infere-se o quanto foi possível a incorporação do calor pelo objeto, Figura 9.

Diante dos testes realizados, é possível destacar pontos importantes da aplicação da



termografia. São necessárias algumas informações para que os resultados captados pela câmera sejam confiáveis, pois materiais com propriedades diferentes reagem diferentemente quando expostos ao calor, assim como a umidade e a temperatura ambiente também influenciam nos resultados.

Para ensaios futuros, as peças deverão passar por um período maior de aquecimento, para que o calor atinja todas as faces e os resultados representem a totalidade da peça. De maneira geral infere-se que a técnica da termografia mostrou-se confiável na identificação de defeitos em peças de madeira e também no acompanhamento do progresso ou diminuição do calor da mesma. Esses resultados indicam que esses ensaios podem ser feitos em estruturas antigas de madeira, sem que seja necessária uma técnica destrutiva, para uma análise preliminar de localização de defeitos.

## Referências

ABNT NBR7190. **Projeto de estruturas de madeira.** 1997.

ABNT NBR15220. **Desempenho térmico de edificações.** 2003.

**Associação Brasileira de Ensaio Não Destrutivos e Inspeção (ABENDI).** Disponível em: <<http://www.abendi.org.br/abendi/default.aspx?mn=709&c=17&s=&friendly=>> Acesso em: 07 nov. 2017.

BUCUR, V. **Nondestructive Characterization and Imaging of Wood.** 2003

CORTIZO, E.C. **Avaliação da técnica de termografia infravermelha para identificação de estruturas ocultas e diagnóstico de anomalias em edificações: Ênfase em Edificações do Patrimônio Histórico.** 2007. 178f. Tese (Pós-graduação) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2007.

FIGUEREDO, C.A.S. **Avaliação de ligações em madeira em estruturas de coberturas antigas por técnica termográfica.** 2016. 83f. Tese (Pós-graduação) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2016.

FLIR. Disponível em: <<http://www.flir.co.uk/cs/display/?id=57921>>. Acesso em: 04 out. 2017.

PFEIL, W.; PFEIL, M. **Estruturas de Madeira.** Rio de Janeiro: LTC - Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., 2003.

Meinlschmidt, P. **Thermographic detection of defects in wood and wood-based materials.** 14th International Symposium of nondestructive testing of wood. ed. Hannover, Germany: [s.n.], 2005.

VERATTI, A. B. **Termografia: princípios, aplicações e qualidade.** São Paulo: ICON Tecnologia, 1992.



**EESC · USP**

Escola de Engenharia de São Carlos  
Departamento de Engenharia de Estruturas



São Carlos | 26 · 28 de março

XVI Encontro Brasileiro em Madeiras e em Estruturas de Madeira  
III Congresso Latino-americano de Estruturas de Madeira  
IBRAMEM ▪ LaMEM ▪ SET ▪ EESC ▪ USP

VIDAL, J.M. et al. **Preservação de madeiras no Brasil: Histórico, cenário atual e tendências.** Ciência Florestal. vol.25, n.1, pp.257-271. 2015. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1980-50982015000100257&script=sci\\_abstract&tlng=pt](http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1980-50982015000100257&script=sci_abstract&tlng=pt)>. Acesso em: 19 out. 2017.