ANÁLISE EXPERIMENTAL DA FISSURAÇÃO DE REVESTIMENTO EM ARGAMASSA COM APLICAÇÃO DA TERMOGRAFIA DE INFRAVERMELHO

Tema: Métodos de ensaio
Grupo[1]: 1

PATRICIA M. MILHOMEM[1], LUIZ A. AIDAR [2], ELTON BAUER [3]

[1]Estudante de mestrado no Programa de Pós-Graduação em Estruturas e Construção Civil – Universidade de Brasília/UNB, patriciamota@aluno.unb.br
[2] Estudante de mestrado no Programa de Pós-Graduação em Estruturas e Construção Civil – Universidade de Brasília/UNB,luiz.augusto_aidar@hotmail.com
Prof. Dr.Elton Bauer – Universidade de Brasília, elbauerlem@gmail.com

RESUMO

A fissuração é uma das principais manifestações patológicas que incide nos revestimentos em argamassa, o mapeamento da sua degradação pode ser realizado por meio de técnicas não destrutivas, como a termografia de infravermelho, cada vez mais aplicada nas inspeções de edifícios. Dessa forma, o presente trabalho aplicou a termografia ativa, principalmente, para uma avaliação quantitativa nos termogramas, com o objetivo de analisar o grau de dano das fissuras em relação a sua profundidade, em corpos de provas que simularam revestimento fissurado. De modo geral, os resultados indicaram que a metodologia aplicada para a medição do grau de dano, mostrou-se promissora para essa finalidade.

Palavras-chave: Termografia infravermelha, revestimento em argamassa; fissuras

EXPERIMENTAL ANALYSIS OF COATING FISSURATION IN MORTAR WITH APPLICATION OF INFRARED THERMOGRAPHY

ABSTRACT

Cracking is one of the main pathological manifestations that affects mortar coverings, the mapping of its degradation can be carried out by means of non destructive techniques, such as infrared thermography, increasingly applied in the inspections of buildings In this way, the present work applied the active thermography, mainly for a quantitative evaluation in the thermograms, with the objective of analyzing the degree of damage of the cracks in relation to their depth in test bodies that simulated cracked coating. In general, the results indicated that the methodology applied for the measurement of the degree of damage, was promising for this purpose.

Key-words: Infrared thermography, mortar coating; cracks

[1] **Grupo 1:** Oriundos de teses, dissertações e relatórios finais de projetos de pesquisa;

1. INTRODUÇÃO

Técnicas de inspeção não destrutivas para testes e avaliações de materiais e componentes têm sido usadas por anos. Entretanto, essas técnicas apresentaram um grande desenvolvimento nas últimas décadas devido à sua eficiência como ferramenta de controle de qualidade [(1)-(2)]. Dentre as diversas técnicas para detecção de anomalias, a termografia destaca-se por permitir a obtenção de resultados a distância e em tempo real. Isso permite a análise da qualidade dos resultados durante a obtenção desses, gerando como resultados termogramas, os quais são definidos como representações no plano das temperaturas verificadas no objeto de estudo [(3)–(4)].

A termografia se classifica em qualitativa, quando é realizada uma análise visual dos termogramas e quantitativa quando são conhecidos os valores de temperatura e quando pretende-se mensurar a gravidade do dano[(5)]. Classifica-se também como passiva onde os materiais já contêm armazenamento interno de energia térmica ou são estimulados por uma fonte natural de calor (energia solar) e a ativa envolve uma fonte externa de calor para induzir gradiente de temperatura nos materiais a serem inspecionados [(5).]

A detecção de anomalias com uso da termografia é atribuída a perturbação do fluxo de calor superficial ocasionado pelas manifestações patológicas, afetando a temperatura verificada na fachada [(6)]. Dentre as manifestações patológicas que podem ser identificadas com o uso da termografia, destacam-se a presença de umidade [(7)-(8)], de materiais ocultos [(9)], de fissuras [(10)–(11)-(12)] e de descolamentos de placas cerâmicas [(6) - (12)].

Um dos principais desafios para o uso da termografia como técnica de inspeção é a determinação do momento em que as anomalias se mostram com maior contraste, logo se tornam facilmente detectáveis [(6)–(5)]. O contraste das anomalias térmicas pode ser calculado a partir de funções como o Delta-T que é caracterizado como a diferença de temperatura entre a área com defeito e a área sem defeito [(6)].

À vista disso, o presente artigo aplicou a termografia ativa para uma avaliação qualitativa inicial dos termogramas e quantitativa, mediante análises do Delta – T, para avaliar o grau de dano de fissuras e o melhor momento para inspecioná-las, em corpos de provas que simularam revestimento em argamassa.

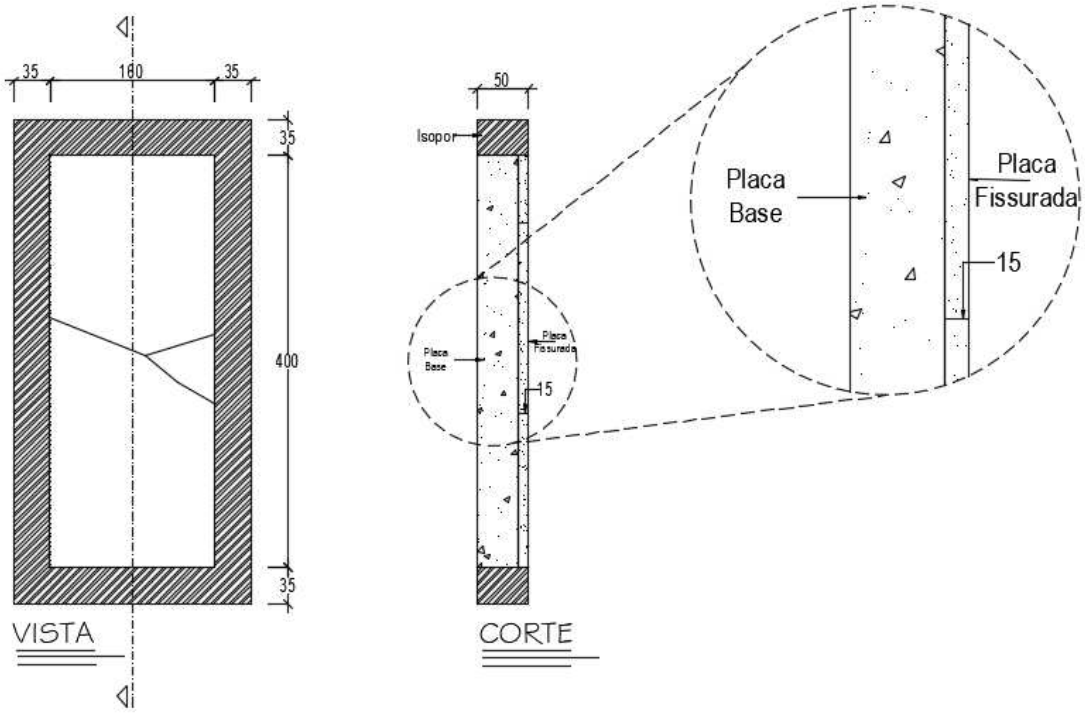
ISSN 1984-8757

2. PROGRAMA EXPERIMENTAL: MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. Amostra

Nesse artigo foram investigados dois corpos de prova que possuem fissuras lineares com 5 mm e 15 mm de profundidade e abertura de 3mm, respectivamente. A construção dos corpos de prova, partiu da existência de uma placa base, com dimensões de 160 x 400 x 35 mm, fabricada com traço 1:4,2:0,75, curada por mais de 28 dias. Após confecção das placas base, iniciou-se o processo de fabricação das placas fissuradas com diferentes espessuras (5 e 15 mm) constituída em argamassa autoadensável de cimento, *fíler* calcário, areia artificial e aditivo superplastificante, traço 1:0,41:1,7:0,55. A Figura 1, esquematiza a disposição da placa base e da placa fissurada com profundidade de 15 mm, sendo esta a profundidade da fissura.

Figura 1 – Detalhe da estrutura de uma das placas com fissuras linear



As fissuras foram provocadas com o auxílio de uma prensa, que provocou sua fissuração sem danificá-las. O procedimento de aplicação da carga dividia a placa em segmentos. Após obtidas as peças no formato desejado, partiu-se para o processo de assentamento sobre a placa base de argamassa.

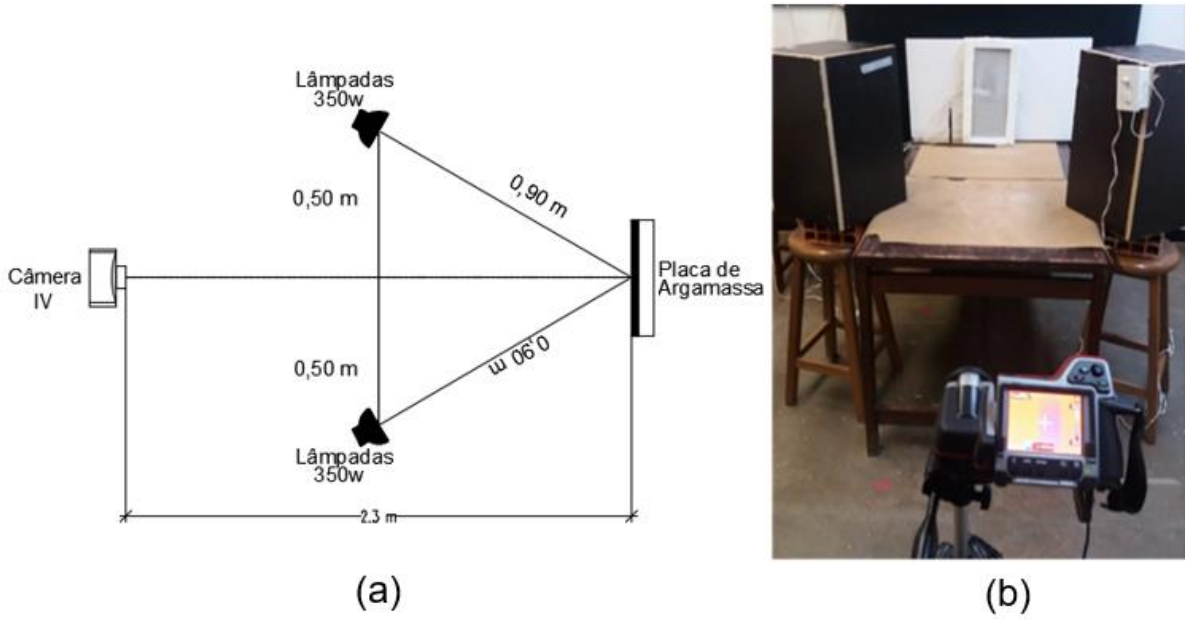
2.2. Equipamentos utilizados

Para realizar o ciclo direto de aquecimento e arrefecimento das placas e obtenção dos termogramas foram utilizados os seguintes equipamentos:

- Psicrômetro de umidade sem fuso com termômetro, modelo MO297;
- Conjuntos de aquecimento, composto por três lâmpadas de 250W cada, no entanto, foi utilizado potência com intensidade de 350 W para cada conjunto, fluxo médio, aparato desenvolvido por PAVÓN [6];
- Trena laser BOSCH modelo GLM80;
- Computador;
- Câmera térmica Flir T-400 com faixa espectral de 7,5 a 13,0 µm, resolução de 320x240 pixels, faixa de temperatura de -20 a 120º C, empregando lente de 15° que corresponde a um IFOV de 0,820.

Na Figura 2a pode-se observar o esquema ilustrativo da distribuição dos equipamentos em relação a placa estudada e a Figura 2b uma imagem digital do ensaio. Os ensaios foram realizados com fluxo médio, potência de 700 W, em dois ciclos, um de aquecimento e outro de arrefecimento, ambos com duração de 120 minutos.

Figura 2 – (a) Distribuição do experimento. (b) Imagem digital mostrando o sistema de ensaio.



2.3. Rotina para aquisição dos termogramas e análise termográfica

Para aquisição dos termogramas foi estabelecida uma rotina, consistindo nas seguintes etapas:

- Aferição da temperatura e umidade in loco. Dados de entrada na câmera térmica, coletados com o medidor EXTECH MO297.
- Determinação da temperatura refletida de 32,7 (aquecimento) e 27,6 (arrefecimento). Outro dado de entrada, obtida conforme instruções descritas na ASTM E1862-97[13];
- Obtenção da emissividade mediante os procedimentos da ASTM 1933-99[14], baseado no método da fita padrão. Atestando o valor médio de 0,89.
- Disposição e programação da câmera termográfica, configurada para fazer uma foto a cada 4 minutos, armazenadas em um cartão SD.

A análise termográfica consistiu, inicialmente, em uma análise qualitativa dos termogramas no ciclo de aquecimento e arrefecimento. Como também, uma investigação da profundidade do defeito, por meio do parâmetro termográfico: Delta – T (ΔT) (Equação 1).

$$\Delta T = Td(t) - Tnd(t) \quad (1)$$

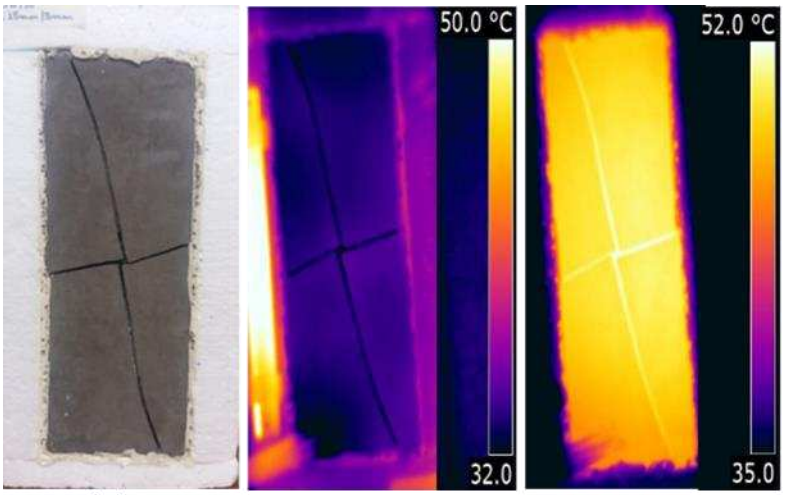
Onde:
ΔT: Delta-T, diferença de temperatura
Td (t): temperatura da área com defeito no tempo t
Tnd (t): temperatura da área sem defeito no tempo t

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1. Análises Qualitativas

As análises qualitativas consistiram na identificação das variações de temperatura dos pontos quentes e frios ao longo dos termogramas. A Figura 3 apresenta os termogramas da placa FISS L6 no período de 12 minutos do ciclo de aquecimento e arrefecimento, respectivamente.

Figura 3 - Termogramas da placa FISS L6. (a) Imagem digital. (b) 12 min de aquecimento. (c) 12 min de arrefecimento



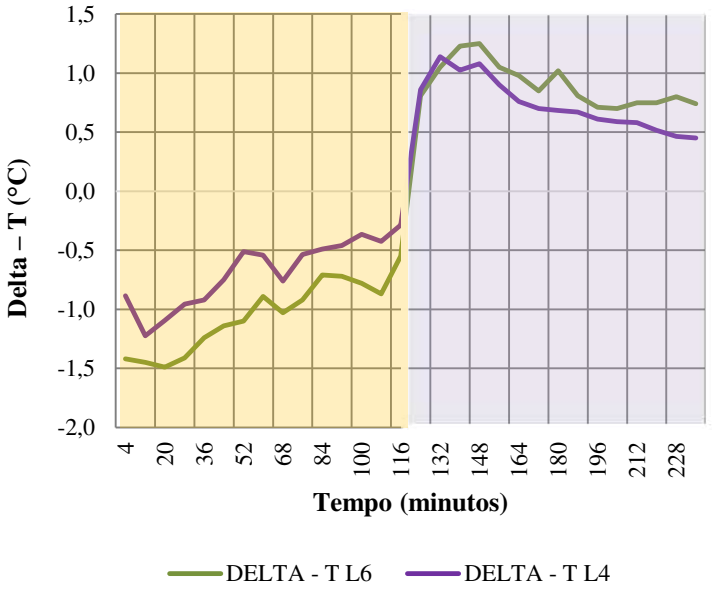
Através da termografia qualitativa, percebe-se que as fissuras detectadas visualmente na imagem digital apareceram nos dois termogramas expostos. Observa-se também que na fase de aquecimento as mesmas estão com uma tonalidade mais escura que a região não fissurada, podendo afirmar desde então que possuem uma temperatura menor, ao contrário do analisado no termograma da fase de arrefecimento onde estão mais nítidas, pois estão com uma temperatura mais elevada, fenômeno também observado por Pavón[6].

Este fenômeno pode ser explicado por que na etapa de aquecimento a temperatura da superfície aquece mais rapidamente e o calor demora mais para chegar na região com defeito, devido aos fenômenos de transporte de calor envolvidos. No arrefecimento, os termogramas apresentam fissuras mais nítidas, uma vez que a irradiação mais intensa é da placa base por estar mais aquecida, e ser capturada pela câmera térmica. O contato da placa fissurada com a placa base, também justifica a elevada temperatura das fissuras nesse regime, pois mantém o seu fundo aquecido, o que permite observar sua delimitação facilmente nos termogramas. A superfície apresenta um resfriamento mais intenso, principalmente, pelas trocas por convecção com o ar, contribuindo também para o fenômeno observado.

3.2. Análises Quantitativas

A análise quantitativa consistiu na investigação do Delta – T da placa FISS L4 (5 mm) e FISS L6 (15 mm) com 3 mm de abertura. A Figura 4 apresenta os valores de Delta – T das placas investigadas.

Figura 4 - Deltas - T das placa FISS L4 e FISS L6



Nota-se que no ciclo de aquecimento os valores do Deltas-T são negativos, haja vista, que a temperatura na região com defeito é menor que a região sem defeito e o contrário é observado no ciclo de arrefecimento, como discutido anteriormente. Percebe-se também, que os maiores valores de Delta - T em módulo são encontrados nos momentos de maior crescimento da temperatura e no início do arrefecimento, indicando, que esses são os momentos mais propícios para realizar inspeções, onde o defeito pode aparecer mais nítido nos termogramas.

Observa-se também que os menores valores de Deltas-T, foram detectados próximo ao término do ciclo de aquecimento e arrefecimento, devido a tendência de homogeneidade entre a superfície e a região defeituosa, indicando que não são períodos propícios para inspeções, bem como quando inverte o fluxo de calor, indicando também que nessa etapa não é possível identificar defeitos.

Mediante análises do Delta – T, percebe-se que a perturbação ao fluxo térmico é diferente para cada fissura, e, portanto, o grau de dano deve ser distinto para cada caso. Tornando possível avaliar a profundidade da fissuração pelos valores de Delta – T em módulo, como

proposto por Bauer, Milhomem e Aidar [12]. Seguindo essa premissa, os resultados permitiram classificar o grau de dano das fissuras associando à profundidade. Avista-se na Figura 3 e na Tabela 1 abaixo que o Delta-T da placa menos espessa de 5 mm é consideravelmente menor que a placa com 15 mm nos regimes de aquecimento e arrefecimento.

Tabela 1 - Valores do Delta-T mínimo e máximo para o regime do aquecimento e arrefecimento das placas FISS L4 e FISS L6.

Aquecimento		
PLACAS	**FISS L4**	**FISS L6**
Mínimo Delta - T	0,29	0,55
Máximo Delta - T	1,23	1,49
Arrefecimento		
PLACAS	**FISS L4**	**FISS L6**
Mínimo Delta - T	0,45	0,70
Máximo Delta - T	1,14	1,25

No regime de aquecimento obteve-se uma diferença de 0,26 °C entre os Deltas – T mínimos das placas FISS L4 e FISS L6 e 0,26 °C entre os Deltas – T máximos. No arrefecimento, essa diferença foi de 0,25°C e 0,11°C entre os Deltas – T mínimo e máximo, respectivamente. Realizando uma diferença direta entre o Delta-T máximo da placa FISS L6 e o mínimo da placa FISS L4 obteve-se 1,2°C e 0,8 °C para o aquecimento e arrefecimento, respectivamente. Enfatizando numericamente as diferenças entre as placas FISS L4 e FISS L6.

4. CONCLUSÕES

- Por meio da análise qualitativa as fissuras superficiais aparecem como áreas mais frias nos termogramas no regime de aquecimento e mais quentes no regime de arrefecimento, devido aos fenômenos de transporte de calor envolvidos.
- Os resultados indicaram que o melhor período para detecção de fissuras nos termogramas, correspondem ao início do aquecimento e arrefecimento, nos quais foram encontrados os maiores valores de contraste (Delta – T). E o período onde a fachada já se encontra altamente aquecida não possibilita bons resultados nas inspeções.
- A metodologia aplicada para a medição do grau de dano através da avaliação da profundidade por contraste térmico mostrou-se promissora, firmando-se como uma importante contribuição para a evolução da termografia de infravermelho na inspeção de edificações.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. BAUER, E.; PAVÓN, E. **Termografia de infravermelho na identificação e avaliação de**

manifestações patológicas em edifícios. Concreto & Construções, n. Jul-Set, p. 93–98, 2015.

2. F. J. MADRUGA, C. IBARRA-CASTANEDO, O. M. CONDE, J. M. LPEZ-HIGUERA, AND X. MALDAGUE. **nfrared thermography processing based on higher-order statistics**. *NDT E Int.*, vol. 43, no. 8, pp. 661–666, 2010.
3. BARREIRA, E.; ALMEIDA, R. M. S. F.; DELGADO, J. M. P. Q. **Infrared thermography for assessing moisture related phenomena in building components.** Construction and Building Materials, v. 110, p. 251–269, maio 2016.
4. E. BAUER, E. PAVÓN, E. BARREIRA, AND E. K. DE CASTRO.**Analysis of building facade defects using infrared thermography: Laboratory studies**. *J. Build. Eng.*, vol. 6, pp. 93–104, 2016.
5. MALDAGUE, X. **Applications of infrared thermography in nondestructive evaluation**. Quebec, Canada. 2001.
6. E. PAVÓN. **Criteria and behavioral patterns for evaluation of ceramic detachments with infrared thermography** (in portuguese) - doctoral thesis." Universidade de Brasília (UnB), Brasília- Brazil, p. 250, 2017.
7. E. EDIS, I. FLORES-COLEN, AND J. DE BRITO. **Passive thermographic detection of moisture problems in façades with adhered ceramic cladding**. *Constr. Build. Mater.*, vol. 51, pp. 187–197, 2014.
8. E. BARREIRA, R. M. S. F. ALMEIDA, AND J. M. P. Q. DELGADO. **Infrared thermography for assessing moisture related phenomena in building components**. *Constr. Build. Mater.*, vol. 110, pp. 251–269, 2016.
9. F. WERITZ, R. ARNDT, M. RÖLLIG, C. MAIERHOFER, AND H. WIGGENHAUSER. I**nvestigation of concrete structures with pulse phase thermography**. *Mater. Struct. Constr.*, vol. 38, no. 283, pp. 843–849, 2005.
10. M. FOX, D. COLEY, S. GOODHEW, AND P. DE WILDE. **Thermography methodologies for detecting energy related building defect**s. *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 40, pp. 296–310, 2014.
11. BAUER, E.; PAVÓN, E.; OLIVEIRA, E.; PEREIRA, H. F. **Facades inspection with infrared thermography: cracks evaluation.** Journal of Building Pathology and Rehabilitation, v. 1, n. 2, p. 1–7, 2016a.
12. E. BAUER, P. M. MILHOMEM, AND L. AIDAR. **Evaluating the damage degree of cracking in facades using infrared thermography**. *J. Civ. Struct. Heal. Monit.*, vol. 8, no. 3, pp. 517–528, 2018
13. AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM E1862-97. **Standard Test Methods for Measuring and Compensating for Reflected Temperature Using Infrared Imaging Radiometers**. West Conshohocken, Pennsylvania, United States, 2010.
14. AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM 1933-99. **Standard Test Methods for Measuring and Compensating for Emissivity Using Infrared**. West Conshohocken, Pennsylvania, United States, 1999.