

USO DA TERMOGRAFIA INFRAVERMELHA PARA DETECÇÃO DE DESCOLAMENTO EM SISTEMAS DE REVESTIMENTOS ADERIDOS COM CÂMERAS DE BAIXA RESOLUÇÃO TÉRMICA

Beatriz Faria Rodrigues (Iniciação Científica – Universidade de São Paulo);
rodriguesbia07@gmail.com

Renan Pereira Andrade (Pesquisador – Universidade de São Paulo)
Flávio Leal Maranhão (Professor Doutor – Universidade de São Paulo)

Resumo: O uso das técnicas não destrutivas como a termografia infravermelha tem ganhado atenção na Engenharia Civil após demanda por técnicas cada vez menos invasivas, rápidas e de baixo custo de execução para inspeção de sistemas aderidos. Através dessa técnica, este trabalho propõe analisar a capacidade de aplicação de duas câmeras térmicas de mesma resolução térmica e diferentes especificações técnicas em simulação de destacamento em ambiente laboratorial, dada à possibilidade de emprego em inspeções corriqueiras com baixo investimento em equipamento. Para isso, foram capturados termogramas de falhas induzidas, de modo a simular descolamento, em profundidades de 1,5; 2,0; 2,5; 3,0; 3,5 e 4,0 cm. Dentre os resultados, foi constatada a presença de falhas em análises a uma distância de 1,0 m. Após a fase laboratorial foi realizada inspeção de fachada em ambiente real com a utilização da câmera 2 testada, no qual é mostrado o potencial da técnica para a detecção de falhas em processos de inspeções periódicas em sistemas revestidos aderidos, mesmo com câmeras de baixa resolução térmica aplicadas a análises em curtas distâncias.

Palavras-chave: Termografia, destacamento, câmeras compactas.

USE OF INFRARED THERMOGRAPHY FOR DELAMINATION DETECTION IN ADHERED COATING SYSTEMS WITH LOW THERMAL RESOLUTION CAMERAS

Abstract: The use of non-destructive techniques such as infrared thermography has gained attention in Civil Engineering after demand for less invasive techniques, fast and low cost of

execution for inspection of adhered systems. Through this technique, this work proposes to analyze the ability to apply two thermal cameras with the same thermal resolution and different technical specifications in the simulation of detachment in a laboratory environment, given the possibility of use in routine inspections with low investment in equipment. For this, thermograms with induced fault were captured, in order to simulate detachment, at depths of 1.5; 2.0; 2.5; 3.0; 3.5 and 4.0 cm. After the laboratory phase, a façade inspection was performed in a real environment using the tested camera 2, which shows the potential of the technique for the detection of failures in periodic inspection processes in adhered coated systems, even with low thermal resolution cameras, applied to analysis over short distances.

Keywords: Infrared thermography, detachment, compact cameras.

1. INTRODUÇÃO

A termografia por infravermelho é uma técnica de diagnóstico não destrutiva, que pode ser aplicada como método de avaliação em inspeções periódicas de revestimentos aderidos, contribuindo com a realização de análises preliminares como a detecção de descolamentos de forma rápida e eficiente (TARPANI et al., 2009). A técnica se baseia na detecção da radiação infravermelha emitida por um objeto, possibilitando a medição de temperaturas e a observação de distribuição de calor em uma determinada superfície. Através das câmeras termográficas a radiação infravermelha captada pelos sensores térmicos é convertida em um sinal digital que possibilita a ilustração em imagens digitais passíveis de análise (ALTOÉ; FILHO, 2012).

A técnica termográfica pode ser dividida em ativa e passiva. Na termografia ativa, técnica utilizada na fase laboratorial desta pesquisa, os objetos em análise são submetidos a uma fonte artificial de aquecimento ou resfriamento, com o objetivo de provocar o fluxo de calor necessário para a geração de contrastes térmicos (ALTOÉ; FILHO, 2012). A termografia por infravermelho tem diversas aplicações em edifícios (MENDONÇA, 2005), podendo ser utilizada como uma técnica preventiva na inspeção de anomalias não visíveis a olho nu, de modo a dar subsídios para planos de manutenção antes do colapso do sistema em análise.

Estudos recentes concluíram que a tecnologia de termografia por infravermelho é eficaz na identificação de falhas e destacamentos em fachadas. Israel (2016) utilizou a

técnica em sua pesquisa, e concluiu que a termografia se mostrou eficaz para o mapeamento qualitativo do descolamento cerâmico oculto em fachadas com a utilização de câmera térmica de alto custo e resolução térmica. De Freitas, De Freitas e Barreira (2014) avaliaram o destacamento em fachadas e em espécimes confeccionamento em ambiente laboratorial, concluindo que a manifestação patológica pode ser de fácil detecção, pois a camada de ar existem com o processo de delaminação altera a distribuição da temperatura nas áreas com anomalias evidenciando sua presença na superfície em análise.

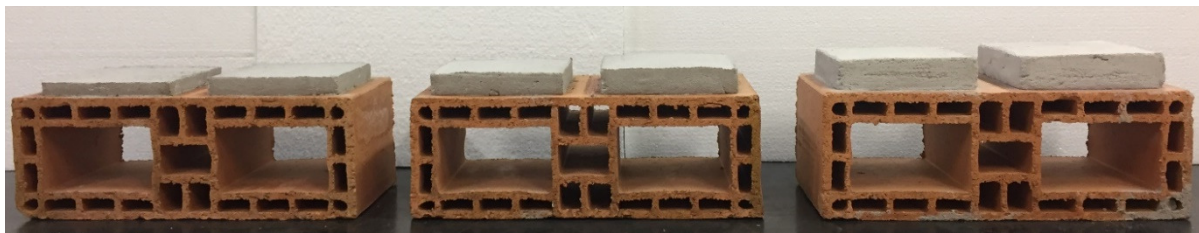
Visto que grande parte desses estudos utilizaram câmeras de alta resolução e consequentemente baixos campos instantâneos de visada (IFOV – Instantaneous Field of View), o objetivo deste artigo é avaliar o potencial de duas diferentes câmeras termográficas com alto IFOV, mesma resolução térmica, diferentes especificações e economicamente acessíveis, visando ajudar na disseminação da técnica para aplicações corriqueiras em inspeções periódicas nos sistemas aderidos de fachadas.

2. METODOLOGIA

2.1 Desenvolvimento dos Protótipos

A fim de atender aos objetivos propostos, a pesquisa simulou falhas sob diferentes profundidades de emboço, e posteriormente analisou o comportamento delas através dos termogramas capturados pelas câmeras termográficas utilizadas. Para avaliar a presença de falhas/vazios no emboço mediante termografia, foram utilizados blocos de alvenaria de vedação como base para o sistema revestido, conforme NBR 15270-1 (2017), que posteriormente foram revestidos com chapisco e emboço, simulando sistema de revestimento argamassado com áreas delaminadas (vazios). Com relação a camada de regularização, fez-se uso de argamassa de emboço industrializada. O revestimento argamassado foi executado em diferentes espessuras, sendo utilizadas duas diferentes profundidades em cada protótipo. No total foram moldados 3 protótipos, com as seguintes espessuras: (1,5; 2,0; 2,5; 3,0; 3,5; 4,0) cm (Fig. 1). As espessuras foram variadas de modo a analisar até que profundidade as falhas simuladas podem ser visíveis com a termografia infravermelha.

Figura 1 – Protótipos utilizados na aplicação em termografia ativa com simulação de sistema aderido argamassado com inserte de falha nas profundidades de 1,5; 2,0; 2,5; 3,0; 3,5; 4,0 cm respectivamente.



Para simular as falhas foi utilizada placa de poliestireno (EPS) com espessura de 1 cm, na qual foram desenhados quadrados com dimensões de, (5,0x5,0) cm, (2,5x2,5) cm e (1,5x1,5) cm, de modo que as 3 diferentes dimensões analisadas estejam presentes em cada uma das diferentes espessuras do revestimento (Fig. 2). Esta proposição busca compreender qual o tamanho mínimo de falha é possível visualizar com as câmeras de baixa resolução térmica utilizadas.

Figura 2 – Simulação de falhas/insertes.



2.2 Experimento Realizado

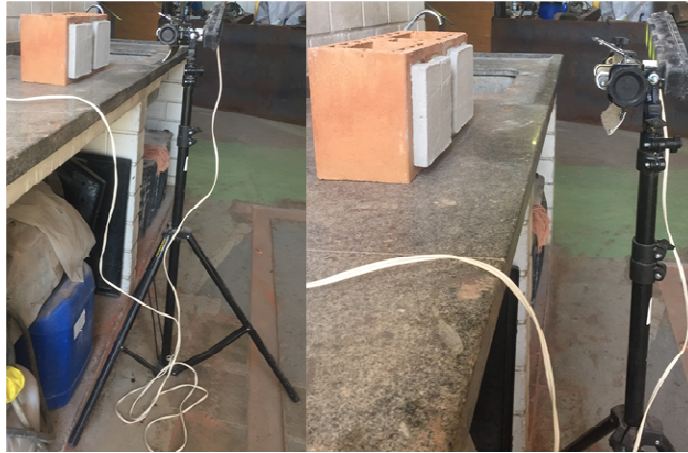
Para o ensaio realizado utilizou-se uma abordagem de termografia ativa, no qual foi usado tripé como suporte para lâmpada halógena de 500W, responsável pelo aquecimento dos protótipos e geração do fluxo térmico necessário para a análise. Este aquecimento ocorreu de forma gradativa até atingir temperatura superficial de 45 °C. O afastamento da lâmpada foi realizado para que o calor emitido pela fonte artificial não interferisse nos termogramas no momento de sua captura. Os termogramas foram obtidos através de duas câmeras termográficas, e posteriormente analisados em seus respectivos softwares. Destaca-se que as câmeras têm mesma resolução térmica, porém são de fabricantes diferentes, conforme Tabela 1.

Tabela 1 – Especificações técnicas das câmeras termográficas.

Características	Câmera 1	Câmera 2
Resolução térmica	160x120	160x120
Sensibilidade Térmica	$\leq 0.18^{\circ} \text{ F } (0.1^{\circ} \text{ C})$	$\leq 0.18^{\circ} \text{ F } (0.1^{\circ} \text{ C})$
Paletas padrão	4	9
Câmera Visível	2 megapixels	VGA
Faixa de medição de temp.	-20 °C a +250 °C	-20° a 120°C
Temperatura de operação	-10 °C a +50 °C	0°C a 35°C
Campo de Visão (FOV)	22,5 °H x 31 °C	55° ± 1 °H x 43° ± 1 °V
Resolução Espacial (IFOV)	3,39 mRad	4,70 mRad

Para todas as faces dos protótipos o ensaio foi realizado da mesma maneira, sendo assim, o tripé permaneceu na mesma posição, estando a uma distância de 25 cm e perpendicular a face do corpo de prova durante o processo de aquecimento (Fig. 3), sendo trocado apenas o protótipo em todo o processo experimental. Na realização das imagens termográficas, visando não alterar a temperatura referencial de análise, os termogramas foram capturados na mesma posição (ângulo de 0°), e a uma distância de 1,0 m entre a câmera e o corpo de prova (CP). Evidencia-se que no momento da captura dos termogramas a temperatura ambiente variou entre 20 °C e 21 °C, a umidade relativa do ar estava entre 64% e 66%, assim como a temperatura aparente refletida foi de 24,1 °C, medida conforme NBR 16292 (2014). A emissividade da argamassa utilizada foi calculada, sendo igual a 0,96.

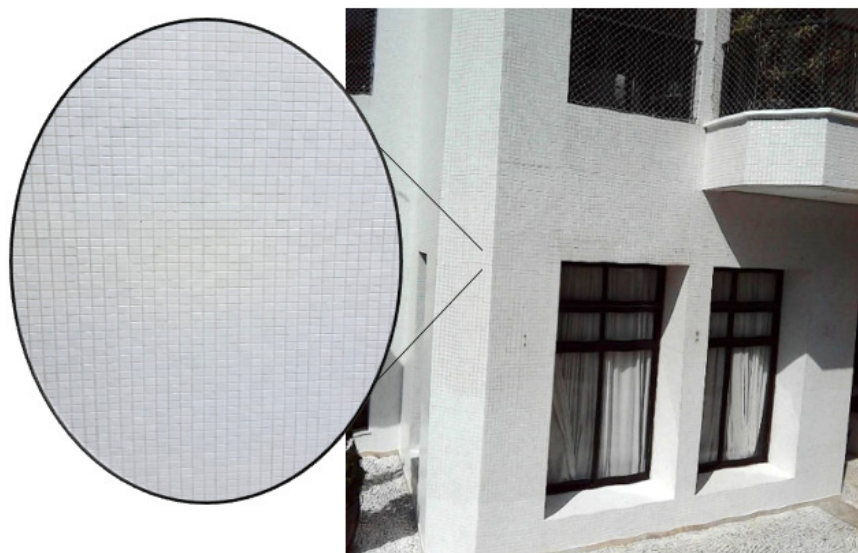
Figura 3 – Posição do tripé para aquecimento dos protótipos.



2.3 Estudo de Caso

Com o objetivo de exemplificar a aplicação da técnica para a detecção de áreas descoladas com utilização de câmeras com baixa resolução térmica é proposto um estudo de caso com inspeção de parte da fachada de um edifício residencial localizado na Zona Sul de São Paulo, mais especificamente na região de Santo Amaro, composto por 32 pavimentos e manifestações patológicas de destacamento em suas fachadas. A fachada do empreendimento foi executada em sistema de revestimento cerâmico aderido. O edifício é composto por estrutura de concreto armado, sistema de vedação vertical em alvenaria cerâmica, com camadas de chapisco, emboço e por fim pastilhas de 1,5 x 1,5 cm na cor branco gelo (Fig. 4). A inspeção térmica foi realizada em dia típico de verão com céu ensolarado sem a presença de nuvens. A temperatura ambiente se apresentava em torno de 29,5 °C, umidade relativa do ar de 48% e temperatura aparente refletida de 24,3 °C no instante da análise.

Figura 4 – Área da fachada do edifício em revestimento cerâmico aderido em pastilhas nas dimensões de 1,5 x 1,5 cm onde foi realizada a inspeção.



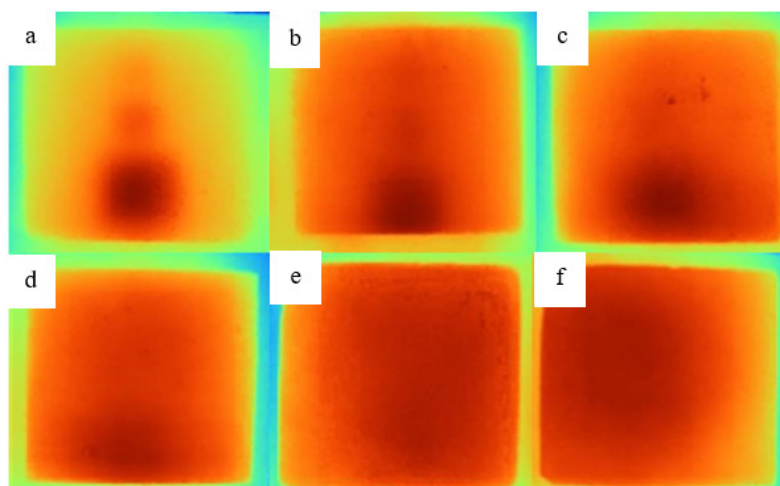
A inspeção foi realizada através de análise termográfica, onde foram capturados termogramas através da câmera 2. Para confirmação dos resultados de detecção de áreas destacadas foi executado ensaio de percussão da área revestida, com o objetivo de identificação e confirmação das regiões destacadas através da presença de som cavo.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os termogramas obtidos pela câmera 1 podem ser observados na Figura 5, onde as falhas simuladas são facilmente identificadas nas primeiras figuras (Figura 5.a, Figura 5.b). Além das falhas é possível visualizar que as áreas que as contornam também se destacam.

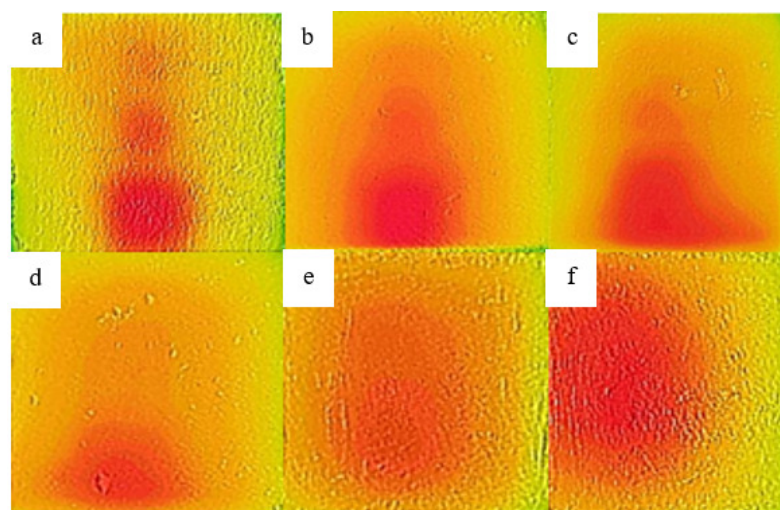
Observa-se que na Figura 5.a todas as falhas induzidas no emboço são prontamente vistas, devido estas estarem próximas a superfície, visto que este é o revestimento de menor espessura sobre a falha (1,5 cm). Na figura seguinte (Figura 5.b), nota-se que as falhas já não estão nítidas, uma vez que os três inserts se apresentam mais unidos e seu contorno pouco evidente no termograma, não sendo observado elevados gradientes térmicos nestas regiões. Na Figura 5.c é possível identificar duas falhas (5x5 e 2,5x2,5), enquanto na Figura 5.d apenas uma é visível (5x5). Quanto maior for a espessura do revestimento mais difícil é a identificação e visualização dos defeitos induzidos. Assim, as duas últimas figuras (Figura 5.e e Figura 5.f) representam respectivamente as camadas com 3,5 cm e 4,0 cm de espessura, onde já não é possível identificar nenhuma anomalia.

Figura 5 – Termogramas capturados pela câmera 1, seguindo as respectivas espessuras de emboço – (a) 1,5 cm; (b) 2,0 cm; (c) 2,5 cm; (d) 3,0 cm; (e) 3,5 cm; (f) 4,0 cm.



Na Figura 6, com termogramas capturados pela câmera 2, pode-se constatar o mesmo comportamento visto no exemplo anterior, como as características analisadas na Figura 6.a e Figura 6.b, que apresentam as falhas com melhor nitidez. À medida que ocorre o aumento das espessuras, pode-se observar a diminuição na visualização dos defeitos.

Figura 6 – Termogramas capturados pela câmera 2, seguindo as respectivas espessuras de emboço (a) 1,5 cm; (b) 2,0 cm; (c) 2,5 cm; (d) 3,0 cm; (e) 3,5 cm; (f) 4,0 cm.



As diferenças visualizadas nos termogramas das câmeras 1 e 2 decorrem em virtude das características nas especificações entre as duas câmeras utilizadas, ao exemplo das

paletas dos softwares, diferentes para cada equipamento, a temperatura de operação (escala de temperatura), campo de visão (FOV).

O Gráfico 1 (Fig. 8) foi plotado através de uma linha sobre o centro das falhas nos termogramas capturados pela câmera 1 (Fig. 7), é notável um padrão no comportamento das quatro linhas de menor espessura, sendo que as duas primeiras (Espessuras: 1,5 e 2,0) apresentam picos, devido a variação térmica entre as áreas íntegras e aquelas com a presença de falhas, além dessas exibirem mais de uma falha em seus respectivos termogramas. Nas linhas seguintes (2,5 e 3,0) pode-se observar uma diminuição na quantidade de picos nas mesmas, visto que nessas somente a anomalia de maior dimensão é revelada, apresentando variações térmicas mais sensíveis e dificultando sua visualização. Enquanto nas últimas, há uma mudança na característica presente nos resultados anteriores, pois nessas os defeitos não são visíveis.

Figura 7 – Representação da linha de medição sobre o centro das falhas.

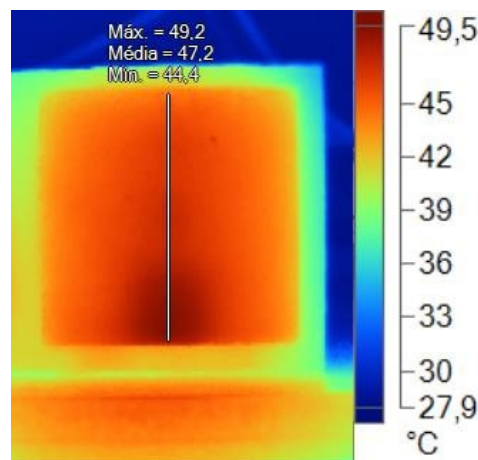
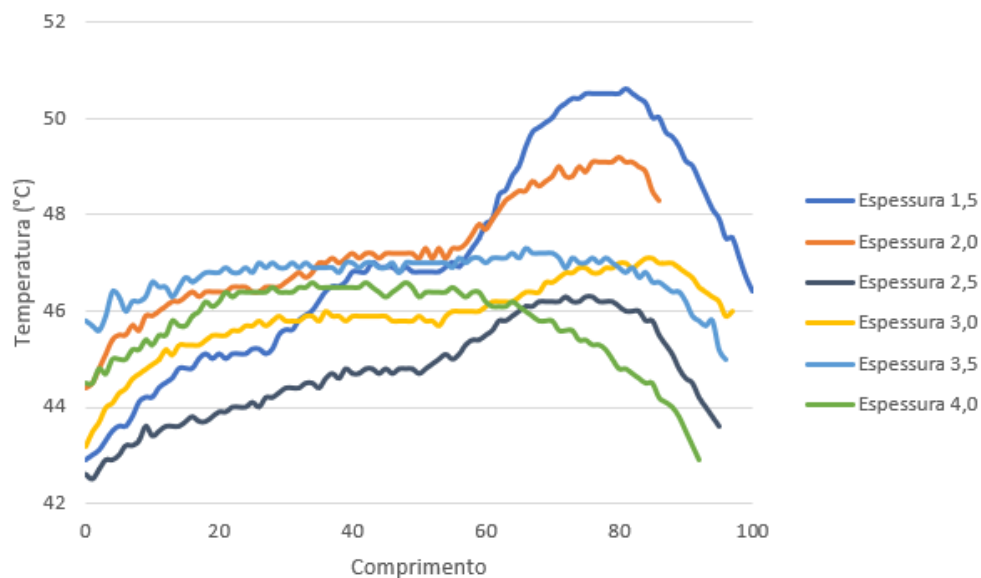


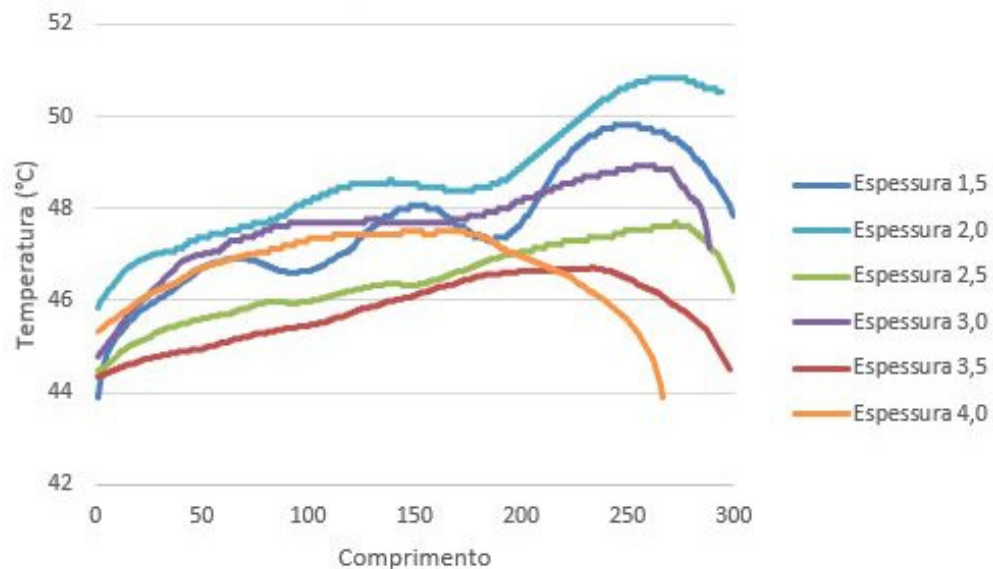
Figura 8 – Apresentação da temperatura em eixo central dos protótipos estudados – Câmera 1.



Assim como o Gráfico 1, o Gráfico 2 (Fig. 9), apresenta o comportamento analisado na linha sobre o centro das falhas, nos termogramas obtidos através da câmera 2. Nota-se que as duas primeiras linhas, apresentam o mesmo comportamento visto no gráfico obtido pela câmera 1. Nas consecutivas linhas (2,5 e 3,0) é perceptível um leve pico ilustrado próximo ao maior comprimento, o qual representa a única falha nítida nesses termogramas. As últimas espessuras seguem o mesmo padrão visto em suas respectivas linhas do gráfico anterior.

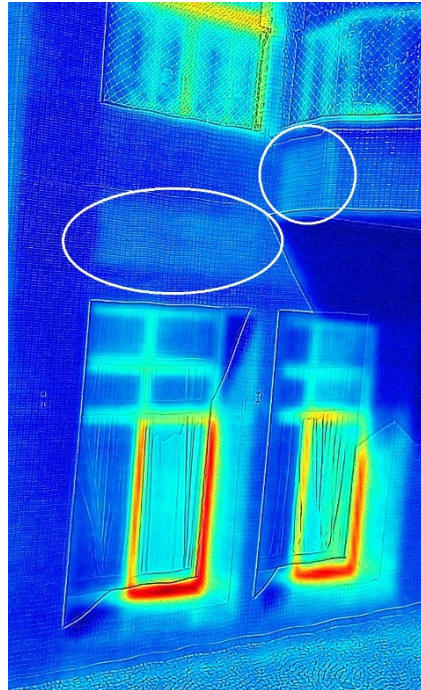
As divergências encontradas nos gráficos ocorrem devido a maior precisão do software da câmera 2.

Figura 9 – Apresentação da temperatura em eixo central dos protótipos estudados – Câmera 2.



Nos termogramas obtidos em levantamento in-situ (Fig. 10), é possível identificar áreas potencialmente destacadas do revestimento nas regiões da fachada, que apresentam cores com temperaturas mais quentes em relação ao restante do pano revestido (conforme destacado). Ao redor desta área as cores mostram-se mais frias, com regiões ainda íntegras e fluxos térmicos diferentes.

Figura 10 – Termograma capturado pela câmera 2 no ensaio *in-situ*.



A efetividade de identificação de falhas através da técnica em campo se mostrou melhor aproveitada quando utilizada de maneira dinâmica, ou seja, com movimentação do ponto de visão na captura dos termogramas. Deste modo, é possível a identificação de regiões com diferenças reais de temperatura eliminando efeitos de interferência como os reflexos do entorno. As esquadrias das janelas se mostram mais quentes devido as características térmicas de condução diferente para os materiais metálicos, mostrando a relevância do entendimento do comportamento térmico dos diferentes materiais no momento da análise. A sensibilidade, experiência e capacidade analítica do operador é crucial para a correta interpretação dos termogramas de modo a se obter o correto diagnóstico.

Para comprovação da existência das falhas encontradas nos termogramas, utilizou-se o ensaio de percussão nas áreas destacadas, as quais apresentaram som cavo confirmando a existência das anomalias detectadas através da câmera térmica nas regiões apontadas.

4. CONCLUSÕES

A pesquisa aqui apresentada buscou explorar a capacidade de aplicação de câmeras termográficas de baixa resolução térmica como ferramenta de inspeção preliminar para a

detecção de descolamento em sistemas de revestimentos aderidos. Para isso, o estudo analisou o comportamento dos termogramas, mostrando os resultados e a possibilidade da utilização da termografia por infravermelho para identificação de áreas delaminadas, mesmo através de câmeras de menor resolução e economicamente acessíveis. Qualitativamente observou-se a presença de falhas nos termogramas conforme induções simuladas. O estudo conclui que quanto maior a falha maior a possibilidade de sua identificação e sua visualização. Além de, quanto menor a profundidade da falha com relação a sua superfície mais fácil é a sua visualização devido à proximidade com a superfície, onde anomalias consideravelmente pequenas são mais bem visualizadas.

Para as falhas e distâncias empregadas na captura dos termogramas na fase laboratorial, conclui-se que para um defeito de (5,0x5,0) cm, é possível identificá-lo até uma espessura de 3,0 cm de emboço, enquanto que a falha de menor tamanho (1,5x1,5) cm só é vista na espessura mais fina (1,5 cm), ao passo que a segunda falha (2,5x2,5) cm é visível nas duas primeiras camadas de regularização, com 1,5 e 2,0 cm de altura respectivamente.

Apesar das diferenças visuais encontradas nos termogramas das duas diferentes câmeras, estes não apresentam resultados distintos em relação a técnica aplicada e os resultados obtidos. Isto sugere que mesmo câmeras de baixa qualidade de resolução térmica mostram-se úteis na detecção de manifestações patológicas de destacamento em fachadas aderidas próximas a superfície analisadas e quando aplicadas a curtas distâncias.

Quantitativamente, é possível analisar esses termogramas através de gráficos ou dados via software do fabricante. Neste artigo, foi possível a identificação das falhas através gráfico por meio da elevação dos picos apresentados nas linhas de análise para cada protótipo, representando temperaturas mais elevadas em relação as demais áreas do protótipo em processo de aquecimento, visto que as temperaturas analisadas através das imagens térmicas mostraram-se superiores nas regiões das falhas.

Para o termograma capturado na inspeção do edifício, considerando os testes realizados em laboratório, conclui-se que em campo, câmeras conforme essas analisadas, possibilitam avaliar a existência de destacamentos em sistemas revestidos através da análise da imagem termográfica a curtas distâncias. As áreas destacadas da fachada e visualizadas através do termograma (Fig. 10) foram confirmadas por meio de ensaio de percussão, na qual apresentaram som cavo, confirmando as áreas antes apontadas através da termografia.

Desta forma, nas condições aplicadas de acordo com a técnica não destrutiva

utilizada, comprova-se a aplicabilidade de câmeras de baixa qualidade, praticidade e baixo custo tecnológico na inspeção de patologias. Deve-se ressaltar que as diferenças visualmente apresentadas nos termogramas com falhas simuladas em laboratório, onde foram utilizados insertes de EPS, apresentaram melhores contrastes térmicos se comparadas as falhas reais preenchidas por ar existentes em fachadas, devido as diferenças de condução térmica entre os diferentes meios. Ainda assim, o estudo de caso se mostrou satisfatório e positivo para a detecção destas anomalias.

5. REFERÊNCIAS

ALTÓE, L; FILHO, D. O. Termografia infravermelha aplicada à inspeção de edifícios, **Acta Tecnológica**, v. 7, n 1, p. 55-59, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15270-1**: Componentes cerâmicos - Blocos e tijolos para alvenaria — Parte 1: Requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16292**: Ensaios não destrutivos — Termografia — Medição e compensação da temperatura aparente refletida utilizando câmeras termográficas. Rio de Janeiro: ABNT, 2014.

DE FREITAS, S. S.; DE FREITAS, V.P.; BARREIRA, E. Detection of façade plaster detachments using infrared thermography – A nondestructive technique. **Construction and Building Materials**, v. 70, p-80-87, nov. 2014.

ISRAEL, M. C. **Ensaios não destrutivos aplicados à avaliação de revestimentos de argamassa**. 2016. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo.

MENDONÇA, L. V. Termografia por Infravermelhos: Inspeção de Betão. **Revista Engenharia & Vida**, Lisboa, v. 1, n. 16, p. 53-57, 2005.

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 Impactos em Laminados de Matriz Polimérica Reforçados por Fibras de Carbono. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, São Carlos, v. 19, n. 4, p. 318-328, 2009.