

Potencial da análise termográfica para avaliar manifestações patológicas em sistemas de revestimentos de fachadas

O. T. Takeda¹, W. Mazer*¹

*Autor de Contacto: wmazer@utfpr.edu.br

DOI: <http://dx.doi.org/10.21041/ra.v8i1.181>

Recebido: 02/03/2017 | Aceito: 23/11/2017 | Publicado: 30/01/2018

RESUMO

O presente artigo discute o potencial da análise termográfica na avaliação de manifestações patológicas em fachadas de edifícios. Seu uso pode ajudar na identificação e no diagnóstico, reduzindo tempo e custos destas atividades. Para colocar em prática esta técnica, foi realizada a calibração do sensor térmico e os ensaios foram realizados em dois períodos diferentes de luz solar. Os resultados obtidos demonstraram que a aplicação da análise termográfica permite a identificação e medir a extensão de manifestações patológicas ocultas em sistemas de revestimento de fachadas, incluindo locais de difícil acesso, complementando os resultados das inspeções visuais e diminuindo a sua subjetividade.

Palavras chave: durabilidade; fachadas, termografia, ensaios não destrutivos, manifestações patológicas.

Citar como: O. T. Takeda, W. Mazer (2018), “Potencial da análise termográfica para avaliar manifestações patológicas em sistemas de revestimentos de fachadas”, Revista ALCONPAT, 8 (1), pp. 38 – 50, DOI: <http://dx.doi.org/10.21041/ra.v8i1.181>

¹ Universidad Tecnológica Federal de Paraná, Universidad en Curitiba, Brasil.

Informação Legal

Revista ALCONPAT é uma publicação da Associação Latino-americana Controle de Qualidade, Recuperação Patologia e Construção, Internacional, A. C., Km. 6, antiga carretera a Progreso, Mérida, Yucatán, C.P. 97310, Tel. 5219997385893, alconpat.int@gmail.com, Website: www.alconpat.org

Editor: Dr. Pedro Castro Borges. Reserva de direitos ao No. 04-2013-011717330300-203 uso exclusivo, eISSN 2007-6835, ambos concedidos pelo Instituto Nacional do Direito de Autor. Responsável pela atualização mais recente deste número, ALCONPAT Unidade Computing, Ing. Elizabeth Sabido Maldonado, Km. 6, antiga carretera a Progreso, Mérida, Yucatán, C.P. 97310.

As opiniões expressas pelos autores não refletem necessariamente a posição do editor.

A reprodução total ou parcial do conteúdo e imagens publicadas sem autorização prévia do ALCONPAT Internacional A.C é proibida. Qualquer discussão, incluindo a réplica dos autores, serão publicados na terceira edição do 2018, desde que a informação é recebida antes do encerramento da segunda edição de 2018.

Potential of thermographic analysis to evaluate pathological manifestations in facade cladding systems.

ABSTRACT

The present article discusses the potential of thermographic analysis in the evaluation of pathological manifestations in building façades. Its use may assist the identification and diagnosis of pathologies by reducing time and cost of these activities. For the application of this technique, the thermal sensor was calibrated, and the tests were performed in two distinct periods of solar incidence. The obtained results from this study demonstrate that the application of the thermographic analysis enables the identification and measurement of hidden pathological manifestations in facade cladding systems, including hard to reach sites, complementing the results of visual inspections and reducing its subjectivity.

Keywords: durability; facade; thermographic analysis; nondestructive testing; pathological manifestations.

Potencial del análisis termográfico para evaluar manifestaciones patológicas en sistemas de revestimiento de fachadas

RESUMEN

El presente artículo discute el potencial del análisis termográfico en la evaluación de las manifestaciones patológicas en las fachadas de edificios. Su uso puede ayudar en la identificación y diagnóstico, reduciendo tiempo y costos de estas actividades. Para poner en práctica esta técnica, se realizaron la calibración del sensor térmico y los ensayos en dos periodos diferentes de luz solar. Los resultados obtenidos demostraron que la aplicación del análisis termográfico permite la identificación y extensión de las manifestaciones patológicas ocultas en sistemas de revestimientos de fachadas, incluyendo sitios de acceso difícil, complementando los resultados de las inspecciones visuales y disminuyendo su subjetividad.

Palabras clave: durabilidad; fachadas, termografía, ensayos no destructivos, manifestaciones patológicas.

1. INTRODUÇÃO

O setor da construção civil é um dos alicerces econômicos do país e tem evoluído tanto nas técnicas construtivas como no desenvolvimento de materiais de construção, no entanto as manifestações patológicas das edificações continuam a ocorrer, podendo ter suas origens nas fases de projeto, execução ou de uso e operação (Santos, 2013).

Ausência de projetos detalhados ou falhas na sua concepção e compatibilização, erros na escolha dos sistemas construtivos e/ou técnicas de execução, na definição e especificação dos materiais, no controle de qualidade e tecnológico, e fatores ambientais presentes na região do empreendimento, tanto no período de execução quanto na fase de uso e operação, podem ocasionar problemas diretos e indiretos às edificações e aos proprietários, usuários ou não dos imóveis (Santos, 2013).

Segundo Carvalho Jr. *et. al.*, (1999) no caso das fachadas, as manifestações patológicas dos revestimentos comprometem a imagem da engenharia e arquitetura do país, sendo uma agressão às vistas da população, à integridade das edificações e ferindo o conceito de habitabilidade. Além da desvalorização natural do imóvel devido aos aspectos visuais, a base dos revestimentos, sem o adequado acabamento final, torna-se vulnerável às infiltrações de água e gases, o que consequentemente conduz a sérias deteriorações dos edifícios, podendo ser de ordem estética ou estrutural.

Devido à gravidade, riscos potenciais de acidentes e danos materiais e suas implicações, a investigação das manifestações patológicas em fachadas podem envolver a investigação tanto das patologias quanto dos processos construtivos utilizados, avaliando os critérios de qualidade, segurança e desempenho através da análise de documentos, inspeções visuais, ensaios de campo e laboratoriais necessários ao embasamento e fundamentação dos laudos técnicos (Gomide, 2006). Neste sentido, o presente trabalho utilizou uma técnica de investigação baseada em ensaios não destrutivos (END) através de análises termográficas, que possibilitam a identificação de anomalias térmicas em sistemas de revestimentos de fachadas, vinculando-as à análise da tipologia e extensão dos danos encontrados, demonstrando as potencialidades desta técnica tanto na identificação e mapeamento de manifestações patológicas já existentes.

2. REVISÃO DA LITERATURA

2.1 Investigação das manifestações patológicas

A sistematização das práticas de investigação e coleta de informações de manifestações patológicas em fachadas de edificações vem sendo estudada há muito tempo e por vários autores (Mazer *et al*, 2016; Romero *et al*, 2011; Japiassú *et al*, 2014; Galletto, Andrello, 2013).

Segundo Gomide (2006), as perícias em fachadas se iniciam com as investigações visuais “*in loco*” das condições físicas das áreas danificadas. Tais exames fornecem informações técnicas fundamentais à perícia e auxiliam na determinação da causa do problema e a indicação de sua solução. Ainda segundo o autor, tais levantamentos são complicados devido às dificuldades de visualização aproximada de todas as áreas das fachadas, o que recomenda a adoção de procedimentos técnicos adicionais à perícia.

Neste tipo de situação, torna-se necessário utilizar outros recursos que permitam a minuciosa visualização exigida para o levantamento, sejam eles diretos ou indiretos. O mapeamento com ensaio consiste em levantamento direto com anotação em planta das áreas danificadas através da constatação, por percussão, mediante a descida ao longo da fachada, em cadeirinha ou balancim. O recurso indireto usualmente utilizado neste tipo de investigação consiste em mapeamento fotográfico da fachada (Gomide, 2006). Outro recurso indireto possível de utilização é a análise termográfica da fachada.

2.2 Princípios da termografia

A termografia é uma técnica de inspeção não destrutiva e não invasiva que tem como base a detecção da radiação infravermelha emitida naturalmente pelos corpos com intensidade proporcional à sua temperatura. Através dessa técnica é possível identificar regiões, ou pontos, onde a temperatura está alterada com relação a um padrão preestabelecido. É baseada na medida da radiação eletromagnética emitida por um corpo a uma temperatura acima do zero absoluto (Bauer, 2013).

Esta técnica pode ser classificada em ativa e passiva, de acordo com a excitação térmica utilizada. Para a termografia passiva, é necessário um diferencial natural de temperatura entre a amostra e o meio o qual se encontra, ou seja, nenhuma estimulação térmica artificial é utilizada. Já para a termografia ativa, um estímulo externo é indispensável para induzir os contrastes térmicos entre a amostra e o ambiente (Maldague, 2001; Bauer, 2013).

A radiação infravermelha não pode ser detectada pelos olhos humanos, portanto, a câmera infravermelha tem por função adquirir e processar estas informações apresentando imagens que descrevem as variações de temperatura nos objetos alvo (FLIR, 2012).

As propriedades radiativas dos objetos geralmente são descritas em relação a um corpo negro perfeito, ou seja, um emissor/absorvedor perfeito de energia radiante. No mundo real, não há

objetos emissores/absorvedores perfeitos, no entanto é possível encontrar objetos com propriedades bem próximas destas características (FLIR, 2012).

Considerando que a energia emitida por um corpo negro perfeito é denotada por W_{bb} e que a de um objeto normal na mesma temperatura é W_{obj} , a razão entre estes dois valores descreve a emissividade ε deste objeto, como indicado em (1).

$$\varepsilon = \frac{W_{obj}}{W_{bb}} \quad (1)$$

Então, a emissividade é um valor que varia de 0 até 1 e quanto melhor forem as propriedades radiantes do objeto, maior é a sua emissividade.

Um objeto que tenha a mesma emissividade em todos os comprimentos de onda é chamado de corpo cinza. A energia da emissão (W) destes corpos é determinada através da Lei de Stefan-Boltzmann's apresentada em (2):

$$W = \varepsilon \sigma T^4 \quad (2)$$

Onde ε é a Emissividade do Objeto, σ é a Constante de Stefan-Boltzmann's e T é a temperatura. Além da radiação do objeto em análise, as lentes da câmera recebem radiações do ambiente do entorno que são refletidas na superfície do objeto. Estes dois componentes da radiação também são atenuados pela atmosfera que, também absorve e emite de maneira própria parte desta radiação (FLIR, 2012).

Dadas estas premissas, a radiação total recebida (W_{tot}) pela câmera pode ser escrita conforme (3):

$$W_{tot} = \varepsilon \tau W_{obj} + (1 - \varepsilon) \tau W_{amb} + (1 - \tau) W_{atm} \quad (3)$$

Onde ε é a emissividade do objeto, τ é a transmissão através da atmosfera, W_{amb} é a energia efetiva do ambiente no entorno do objeto (ou a energia refletida pelo ambiente) e W_{atm} é a energia presente na atmosfera entre o objeto e a câmera.

2.3 Técnicas termográficas na investigação de fachadas

A crescente utilização da termografia de infravermelhos na construção civil está intrinsecamente relacionada com o fato de se tratar de um ensaio não destrutivo, permitindo-lhe apresentar-se como uma ótima ferramenta de diagnóstico (Soares, 2014).

Com a termografia infravermelha é possível detectar somente anomalias associadas a modificações mensuráveis das características térmicas como fluxo de calor e temperaturas resultantes, e manifestações patológicas com profundidades limitadas, ou seja, próximas a superfície (Pavón, 2015).

Estudos de laboratório demonstram que falhas de aderência ou ausência de argamassa por trás de revestimentos cerâmicos são facilmente identificáveis através da termografia apresentando temperaturas superficiais maiores que no entorno no período de fluxo de calor positivo e temperaturas superficiais menores no período de fluxo de calor negativo (Bauer *et al*, 2015).

Em estudo realizado por Edis *et al.* (2014), foi demonstrado que também é possível identificar áreas com presença de umidade confinada abaixo de revestimentos cerâmicos. Esta situação se configura pela identificação de anomalias nas temperaturas superficiais das áreas suspeitas nos revestimentos cerâmicos durante o fluxo positivo de calor, características de problemas de descolamento ou de áreas com presença de umidade.

Para o caso de fachadas revestidas com argamassa e pintura/textura, é possível identificar outros tipos de manifestação patológica tais como fissuras e presença de umidade. No caso das fissuras, estas frequentemente estão associadas a presença de umidade e a extensão das áreas afetadas são facilmente identificáveis durante o dia pois a evaporação da água causa uma redução da temperatura superficial nestas regiões. Da mesma forma, a presença de umidade em alvenarias e estruturas de concreto devido a capilaridade também é facilmente identificável no período de fluxo positivo de calor (Pavon, 2015).

Menezes *et al.* (2015) realizaram campanhas de inspeção de anomalias diversas utilizando inspeções visuais, termografia, ensaios de percussão, tubos de karsten e higrômetro a fim de propor metodologia de campo para a investigação de manifestações patológicas de revestimentos. Como resultado do trabalho, verificou-se que as inspeções visuais em conjunto com a termografia qualitativa foram suficientes para a identificação da maioria das anomalias encontradas e de forma rápida, principalmente por possibilitar a inspeção de locais de difícil acesso.

Na construção civil, uma variação de temperatura de 1°C até 2°C é geralmente um indicativo ou uma suspeição de existência de problemas. A partir de 4°C pode-se afirmar a existência de anormalidade no corpo (Maldague e Marinetti, 1996; Cortizo *et al.*, 2008).

Para Bauer (2013), as principais influências nos resultados das inspeções termográficas quantitativas estão na emissividade do material, que é função da temperatura superficial e do ângulo de observação, na refletividade da superfície, função da radiação direta incidente e da radiação de objetos próximos, e na atenuação atmosférica que é função das condições meteorológicas.

3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Inicialmente foi realizado estudo exploratório nas fachadas dos blocos B e C no Campus Curitiba, sede Ecoville da UTFPR a fim de investigar a ocorrência de anomalias térmicas e os tipos de manifestações patológicas existentes através de inspeções visuais e termográficas qualitativas para a definição das áreas de estudo.

Após esta etapa foi realizada a caracterização das áreas de estudo e foram definidos os parâmetros de calibração da câmera infravermelha que consistiram na determinação da emissividade dos materiais, temperatura ambiente, umidade e distância entre o termovisor e as regiões analisadas no estudo confirmatório.

Foram analisados e comparados os termogramas obtidos tanto no estudo exploratório quanto na campanha confirmatória com o objetivo de verificar se as anomalias térmicas encontradas podem ser vinculadas com as manifestações patológicas existentes nas áreas de estudo.

3.1 Especificações da câmara infravermelha

A câmera infravermelha (termovisor) utilizada nas inspeções é da marca FLIR, modelo E60. Os parâmetros de calibração personalizáveis da câmera consistem na emissividade, temperatura ambiente, temperatura refletida, umidade relativa do ar e distância ao objeto.

As principais especificações técnicas do equipamento são apresentadas no Quadro 1:

Quadro 1. Especificações técnicas Câmera Infravermelha FLIR E60.

Modelo	FLIR E60
Resolução IR	320 x 240 pixels
Resolução da Câmera Digital	3,1 MP
Sensibilidade térmica	< 0,05 °C
Precisão	+/- 2 °C ou +/- 2% de leitura
Faixa de temperatura	(-20,00 °C a 650,00 °C)
Faixa espectral	7,5 a 13µm
Campo de visão (FOV)	25°
Foco	Manual
Micro bolômetro não refrigerado	LWIR (Long Wave Infra Red)
Display Colorido	3,5" (320 x 240)
Frame Rate	60Hz
Pontos móveis de medição	3
Formato do arquivo (Termograma)	Radiometric JPG

Fonte: FLIR – Manual da Câmera Infravermelha modelo E60 (2015).

3.2 Estudo exploratório e definição das áreas de estudo

O estudo exploratório consistiu em inspeção visual e termográfica das fachadas dos Blocos B e C da sede Ecoville da Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR. A escolha das áreas de estudo foi realizada durante o período da manhã através de inspeção visual das anomalias existentes nas fachadas e também de inspeção termográfica qualitativa, para a identificação de gradientes de temperatura em regiões de um mesmo material, com o parâmetro de emissividade padrão do concreto ($\epsilon=0,95$) e os parâmetros de temperatura ambiente (20°C) e umidade relativa do ar (70%) configurados no equipamento. Durante a inspeção, as condições climáticas eram estáveis, sem presença de chuva, com céu parcialmente nublado e sem ocorrência de vento.

Os sistemas de revestimentos de fachadas encontrados no estudo exploratório consistiram em alvenaria de vedação externa de blocos de concreto com pintura branca (Bloco II), alvenaria de vedação externa em blocos de concreto, emboço de argamassa e revestimento em textura acrílica cinza clara (Blocos A, B e C), e revestimentos cerâmicos aplicados sobre emboço (Blocos B e C). A seguir, serão apresentados os quadros com as fotos e termogramas obtidos no estudo exploratório acompanhadas de uma breve descrição das interferências, anomalias térmicas encontradas e possíveis manifestações patológicas associadas.

Na Figura 1 está apresentada a área de estudo 1, definida na fachada do Bloco C, juntamente com o termograma da região.

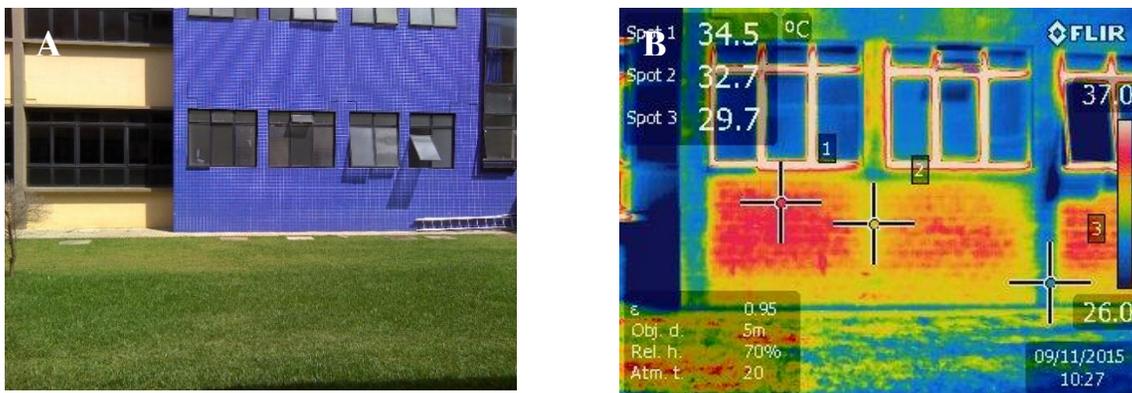


Figura 1. A) Fachada do Bloco C constituindo a área de estudo
B) Termograma da área de estudo.

No exame visual da área de estudo 1 apresentada na Figura 1A foram identificados pontos com rejunte danificado entre os revestimentos cerâmicos na região do requadro das janelas. Complementarmente, foi executado ensaio de percussão onde se verificou som cavo em trechos da parede e na região dos requadros das janelas. No termograma apresentado na figura 1B, é possível identificar anomalia térmica em trecho da fachada executada com revestimento cerâmico durante período de fluxo positivo de calor em região com exposição direta a irradiação solar durante o período da manhã.

Na inspeção visual realizada na área de estudo 2, ilustrada na Figura 2A foi constatada a existência de fissura no revestimento. Complementarmente, foi executado ensaio de percussão na região onde se verificou som cavo ao longo de toda a região da fissura e também na região abaixo da fissura.

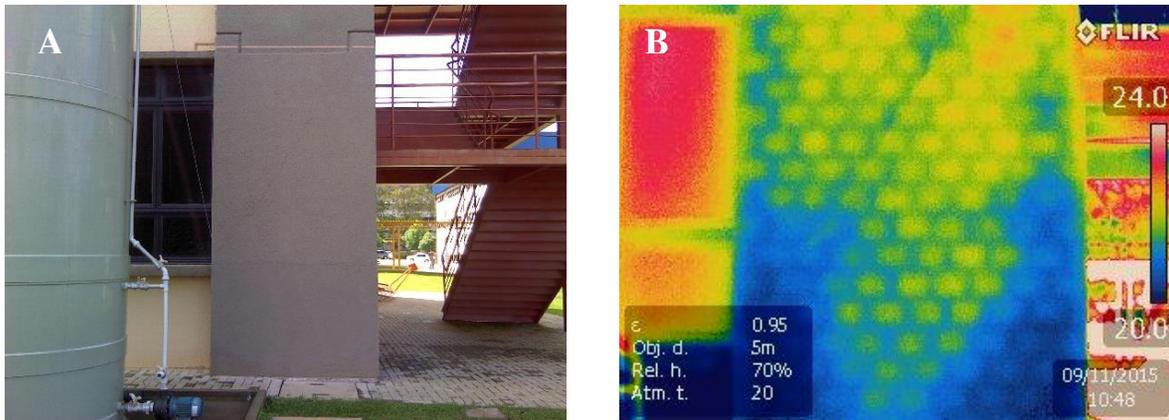


Figura 2. A) Trecho da fachada do Bloco C constituído de textura acrílica cinza sobre emboço. B) termograma da área de estudo.

No termograma apresentado na Figura 2B, é possível identificar anomalia térmica em trecho de fachada durante período de fluxo positivo de calor positivo em região sem exposição direta a irradiação solar durante o período da manhã. A anomalia identificada no termograma é característica da presença de umidade e em conjunto com a constatação da fissura do revestimento e descolamento do revestimento, pode-se inferir que há a presença de umidade na região inferior, entre o emboço e a alvenaria de blocos de concreto.

Na área de estudo 3, apresentada na Figura 3A é possível observar a fachada lateral do Bloco B executada com revestimento em textura acrílica cinza sobre emboço aplicado em alvenaria de blocos de concreto durante período de fluxo positivo de calor positivo em região sem exposição direta a irradiação solar durante o período da manhã.

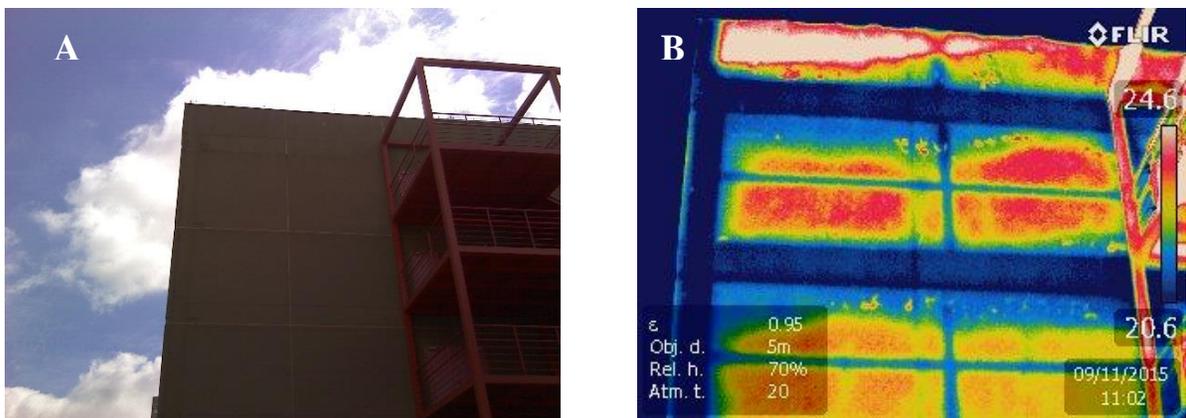


Figura 3. A) Fachada lateral do Bloco B.
B) Termograma da área de estudo 3.

No termograma desta região, apresentado na Figura 3B, é possível observar anomalia térmica na região de encunhamento que é característica da presença de umidade. É possível identificar também os elementos estruturais, cintas de amarração da alvenaria de blocos de concreto e a temperatura mais elevada na região da platibanda a qual está exposta a irradiação solar.

3.3 Determinação dos parâmetros de calibração do termovisor

Definidas as áreas de estudo, foram realizados ensaios de campo a fim de determinar a emissividade dos materiais encontrados. Os ensaios consistiram na determinação da emissividade dos materiais das fachadas através da comparação das suas temperaturas superficiais com as temperaturas de um material com emissividade conhecida e em estabilidade térmica com a superfície analisada.

Para a realização do ensaio de determinação da emissividade dos materiais, foram utilizados pedaços de fita isolante preta aderidos a superfície. Os parâmetros de configuração utilizados para o termovisor foram:

- Distância da medição: 5m.
- Temperatura ambiente: 22 °C
- Umidade Relativa do Ar: 88%
- Emissividade da fita isolante: 0,96.

O ensaio consistiu na medição da temperatura na superfície da fita isolante, já em estabilidade térmica com a superfície, indicada pelo ponto A, e, em seguida, na medição da temperatura na região do material a ser analisado, indicada pelo ponto B, alterando-se o parâmetro de emissividade do termovisor até que a temperatura indicada no ponto B seja igual a medida de temperatura indicada na superfície da fita isolante. Na Figura 4 está indicada a calibração efetuada no termovisor para um revestimento cerâmico.

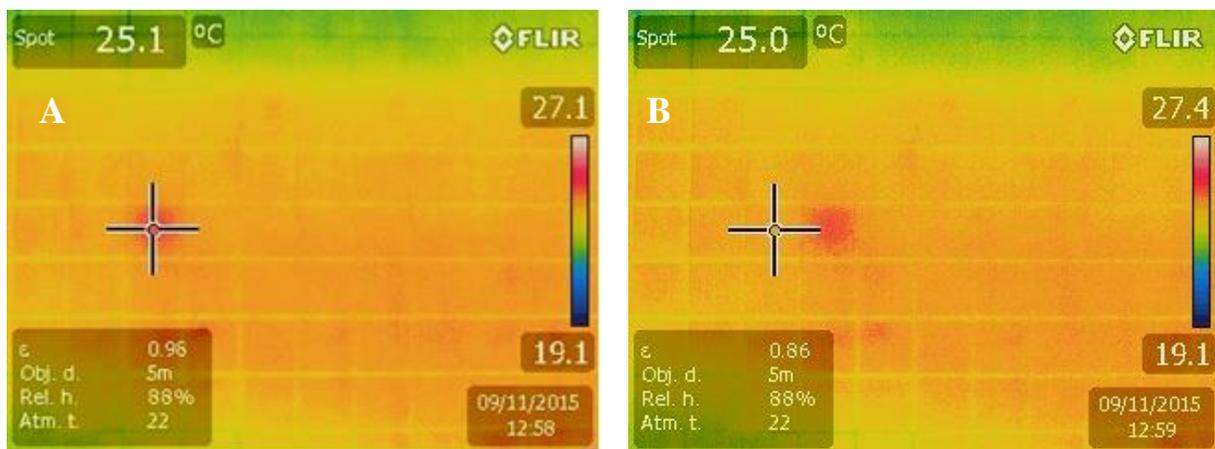


Figura 4. Determinação da emissividade do revestimento cerâmico.

Este procedimento foi realizado para todos os revestimentos encontrados nas áreas de estudo e os valores de emissividade encontrados são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Valores obtidos para a emissividade dos materiais das áreas de estudo.

Superfície	Emissividade
Textura acrílica cinza	0,80
Revestimento cerâmico vermelho	0,86
Revestimento cerâmico azul	0,86
Pintura branca sobre blocos de concreto	0,70

Fonte: Autoria própria.

Como o parâmetro de emissividade utilizado no estudo exploratório era fixo, a inspeção termográfica desta etapa foi qualitativa, pois os valores absolutos da temperatura das superfícies não refletiam os seus valores reais. Apesar disto, os termogramas obtidos no estudo exploratório foram plenamente capazes de identificar gradientes de temperatura característicos das anomalias térmicas nas regiões inspecionadas.

3.4 Estudos confirmatórios com o termovisor

O estudo confirmatório buscou obter informações complementares sobre a dinâmica do fluxo de calor das superfícies das áreas de estudo 1, 2 e 3 com o objetivo de confirmar as suspeitas preliminares sobre as potenciais manifestações patológicas observadas.

O retorno às áreas de estudo foi realizado durante o anoitecer do mesmo dia utilizando o termovisor em caráter quantitativo, com o parâmetro de emissividade obtidos na Tabela 1 e os parâmetros de temperatura ambiente (22°C) e umidade relativa do ar (88%) configurados no equipamento.

Na Figura 5 são apresentados os termogramas do estudo exploratório e do estudo confirmatório da área de estudo 1.

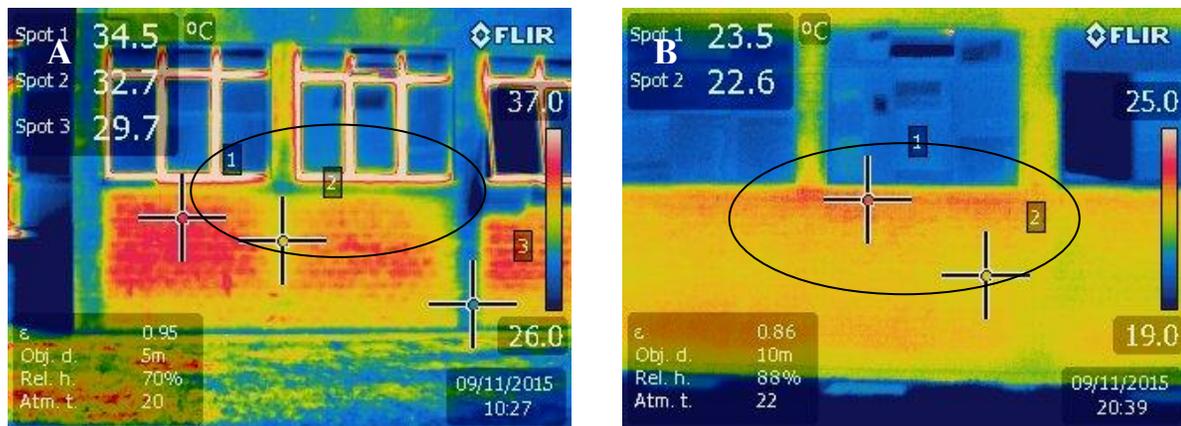


Figura 5. A) Termograma do estudo exploratório.

B) Termograma do estudo confirmatório.

No estudo confirmatório da área de estudo 1, apresentado na Figura 5B, é possível identificar uma anomalia térmica que pode ser associada a um possível descolamento com presença de umidade abaixo do revestimento cerâmico na região do requadro das janelas pois a presença de umidade na região tem por característica manter as temperaturas mais elevadas nos termogramas durante o período de fluxo negativo de calor em comparação com a região não afetada. Esta hipótese é reforçada pela identificação de pontos com rejunte danificado entre os revestimentos cerâmicos na região do requadro das janelas. Também é possível notar no termograma do estudo exploratório, apresentado na Figura 5A, que durante o período de fluxo positivo de calor as temperaturas na região dos requadros é menor devido à evaporação da água.

Na área de estudo 2 foi observada a existência de uma fissura no revestimento, fato este também apresentado pelos termogramas, como indicado na Figura 6.

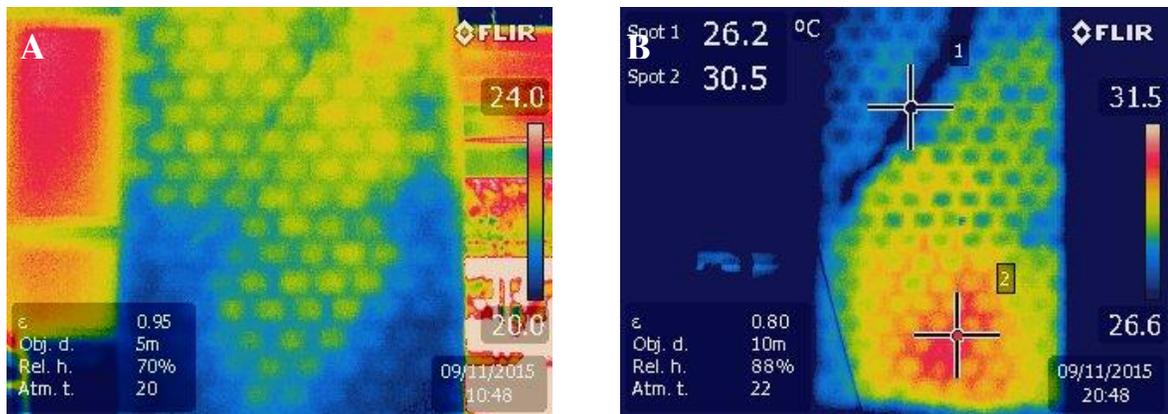


Figura 6. A) Termograma do estudo exploratório.
B) Termograma do estudo confirmatório.

No termograma do estudo exploratório, apresentado na figura 6A, é possível a existência de um gradiente térmico na parte inferior da fachada e uma linha diagonal, com temperaturas menores que a parte central da fachada. No termograma do estudo confirmatório, ilustrado na Figura 6B, é possível verificar a existência da fissura inclinada, marcada pelo ponto 1, e a região com descolamento do emboço em conjunto com a presença de umidade marcada pelo ponto 2, com maior temperatura devido a maior capacidade da água em reter calor durante o período de fluxo negativo de calor quando comparada a dos materiais constituintes do revestimento. Os termogramas do estudo exploratório e confirmatório da área de estudo 3 estão apresentados na Figura 7.

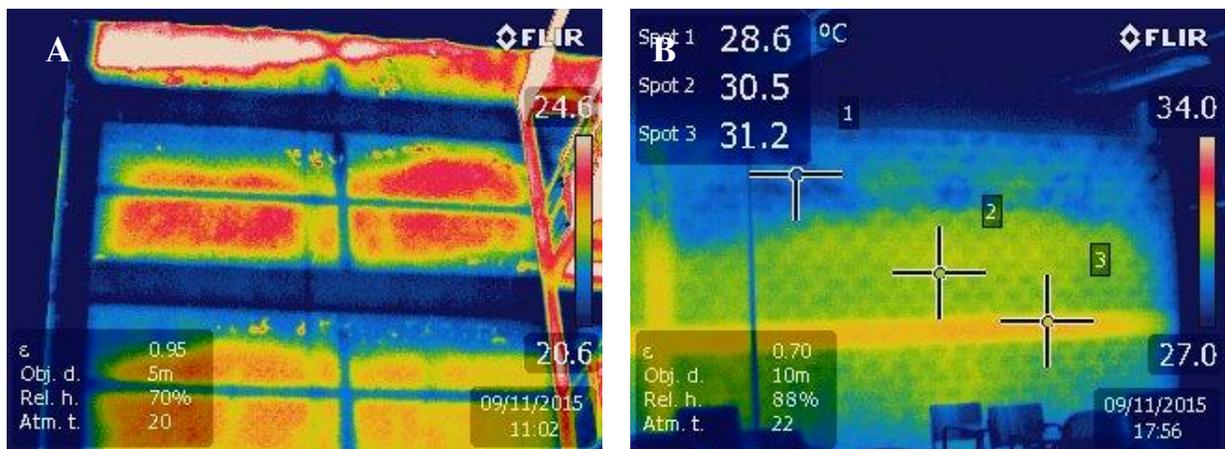


Figura 7. A) Termograma do estudo exploratório.
B) Termograma do estudo confirmatório.

No estudo exploratório, apresentado na Figura 7A, é possível observar a variação de temperatura existente, indicando temperaturas inferiores nas regiões próximas às vigas. Na Figura 5B, obtida da parte interna do edifício no último pavimento, é possível observar anomalia térmica na região do encunhamento. Na parte interna ficou evidente a presença de umidade pela presença de bolor nas paredes na região com presença de umidade identificada no termograma. Complementarmente, foi realizada inspeção visual na região externa, devido a possibilidade de acesso pela escada de emergência, onde foi constatada fissura em toda a extensão do encunhamento da região afetada, descontinuidade esta que permite a infiltração de água para o interior da edificação.

4. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

A capacidade de identificar anomalias térmicas associadas a manifestações patológicas através da termografia agiliza o processo de inspeção e permitem que sejam caracterizadas as áreas que devem ser submetidas a investigações mais criteriosas, seja pela execução de estudos termográficos confirmatórios ou pela utilização de outros ensaios de campo ou laboratoriais.

Apesar de ser relativamente simples utilizar o termovisor para obter termogramas durante as inspeções, se não forem levadas em consideração as interferências e as condições ambientais nas quais as imagens foram obtidas, a análise e a interpretação dos termogramas podem levar a conclusões equivocadas. Para que isto não ocorra, o embasamento teórico e a experiência no uso do equipamento para a identificação das anomalias térmicas, características das manifestações patológicas investigadas, são fundamentais para obter os subsídios adequados para sua interpretação e, conseqüentemente, associar corretamente as suas características com as manifestações patológicas correspondentes.

Quanto aos parâmetros de calibração do termovisor, os valores de emissividade e demais parâmetros ambientais devem ser determinados para cada situação de inspeção quando se pretende obter termogramas com medidas precisas de temperatura das superfícies analisadas, ou seja, em análises quantitativas. Já para a identificação de anomalias de forma qualitativa, estes parâmetros não apresentam influências que prejudiquem a identificação de gradientes de temperatura em superfícies de um mesmo material, fato este, confirmado no estudo exploratório. Entretanto, a determinação dos parâmetros corretos sempre deve ser realizada para que fundamentem a análise e interpretação das anomalias térmicas para o diagnóstico de manifestações patológicas.

A dinâmica do comportamento dos fluxos de calor das superfícies e os desvios associados a determinadas manifestações patológicas também são fatores que requerem atenção durante a inspeção e análise dos termogramas. A determinação dos melhores períodos e condições de inspeção podem auxiliar na obtenção de termogramas que deixem evidentes as anomalias térmicas que podem estar associadas a manifestações patológicas.

Quanto à determinação da gravidade e extensão das manifestações patológicas existentes, a termografia permite identificar a região de influência e também a sinergia deletéria de manifestações patológicas conjuntas. Um exemplo desta situação é a associação da presença de umidade e descolamentos em uma mesma região, condição esta que potencializa a evolução de ambos os danos e, conseqüentemente, apresentam um potencial elevado de prejuízo ao desempenho e durabilidade dos sistemas de revestimentos de fachadas.

Considerando o fluxo de calor positivo e negativo observado nas inspeções realizadas nos períodos da manhã e da tarde, foi possível determinar a presença de umidade em 100% das regiões inspecionadas, fato este confirmado através de uma inspeção visual. Também em 60% dos casos foi possível determinar a existência de descolamento do revestimento, sendo o descolamento do revestimento cerâmico mais fácil de ser detectado. Já a existência de fissuras foi possível detectar apenas quando existia umidade no interior da fissura, tendo sido observado em 20% dos casos analisados.

Algumas limitações operacionais puderam ser identificadas durante as inspeções. A resolução dos termogramas (320x240 pixels) é relativamente baixa, dificultando a identificação das anomalias térmicas com precisão adequada, de modo que sua interpretação pode não ser possível quando as regiões analisadas se encontram a grandes distâncias. Outro potencial fator limitante na obtenção dos termogramas é a possível variação dos resultados devido ao ângulo de observação entre a câmera e a região de estudo. Nos estudos de campo esta situação pode ser contornada ao se aumentar a distância das observações para evitar tomada de imagens em ângulos superiores a 45°, conforme manual do equipamento.

5. CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos nas inspeções, foi possível caracterizar as manifestações patológicas com base nas inspeções termográficas e visuais, complementadas com inspeção visual e ensaios de percussão nos locais onde o acesso foi possível.

A confirmação das regiões com suspeita de descolamento, identificadas com a termografia no estudo exploratório, se deu através do ensaio de percussão e através da inspeção confirmatória durante o fluxo negativo de calor. Ambas as técnicas confirmaram a eficiência da termografia de infravermelho na identificação de descolamentos de revestimentos em fachadas.

A interpretação dos termogramas baseada nas características das anomalias térmicas e fluxos de calor associadas a cada uma das manifestações patológicas permitiu a identificação da sua real extensão.

Os resultados obtidos neste trabalho confirmam a viabilidade da termografia como um ensaio não destrutivo aplicável na inspeção de revestimentos de fachadas com grande potencial de utilização e no monitoramento da evolução das manifestações patológicas com grandes vantagens quanto a agilidade das inspeções e confiabilidade dos resultados, quando comparada com as técnicas usuais de inspeção de fachadas, diminuindo a subjetividade de inspeções exclusivamente fotográficas, eliminando os riscos de segurança para trabalhos em altura e viabilizando a manutenção preditiva e preventiva dos sistemas de revestimentos de fachadas.

6. REFERENCIAS

Bauer, E., (2013) “*Condicionantes das medições termográficas para avaliação de temperatura em fachadas.*”, X Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas, Fortaleza:CE (Brasil).

Bauer, E., Freitas, V. P., Mustelie, N., Barreira, E., Freitas, S., (2015), “*Infrared Thermography – Evaluation of the results reproducibility.*”, Structural Survey, v. 33, n. 1, p. 20-35.

Carvalho, Jr., A. N., Silva, A. P., Neto, F. M., (1999), “*Perícias em patologias de revestimentos de fachadas. Congresso brasileiro de engenharia de avaliações e perícias.*”, X COBREAP. Porto Alegre:RS (Brasil).

Cortizo, E. C., Barbosa, M. P., Souza, L. A. C., (2008), “*Estado da arte da termografia*”, Fórum Patrimônio, Ambiente Construído e Patrimônio Sustentável, v. 2, n.2, p 158 – 193, mai/ago. Belo Horizonte:MG (Brasil).

Edis, E., Flores-Colen, I., Brito, J., (2014), “*Passive thermographic detection of moisture problems in façades with adhered ceramic cladding.*”, Construction and Building Materials, V. 51, pp 187-197. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.10.085>

FLIR (2012), “*The Ultimate Infrared Handbook for R&D Professionals*”, FLIR-Forward Looking Infrared.

Galletto, A., Andrello, J. M., (2013), “*Patologias em fachadas com revestimentos cerâmicos.*”, IX Congresso Internacional sobre Patologia y Recuperación de Estructuras, CINPAR, João Pessoa:PB (Brasil).

Gomide, T. L. F. (2006), “*Perícias de engenharia em fachadas de edificações*”, IBAPE-SP, São Paulo: SP (Brasil).

Japiassú, J., Carasek, H., Cascudo, O., Velosa, A. L., (2014), “*Caracterização da interface azulejo/argamassa de fachadas históricas*”, Revista ALCONPAT, V. 4, No. 1, pp. 55-76. DOI: <http://dx.doi.org/10.21041/ra.v4i1.61>

Maldague, X. (2001) “*Infrared and Thermal testing: Nondestructive testing handbook.*”, (Columbus, OH, Patrick O. Moore, 3th ed.).

Maldague, X.; Marinetti, S., (1996), “*Pulse phase infrared thermography.*”, Journal Applied Physics, New York, v. 79, p. 2694-2698. DOI: <https://doi.org/10.1063/1.362662>

- Mazer, W., Silva, L. M. R., Lucas, E., Santos, F. C. M., (2016), “*Avaliação de manifestações patológicas em edifícios em função da orientação geográfica.*”, Revista ALCONPAT, Volumen 6, Número 2, mayo – agosto 2016, Páginas 145 – 156. DOI: <http://dx.doi.org/10.21041/ra.v6i2.135>
- Menezes, A., Gomes, M. G., Flores-Colen, I., (2015), “*In-situ assessment of physical performance and degradation analysis os rendering walls.*”, Construction and Building Materials. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.11.039>
- Pavón, E., (2015), “*Termografia de infravermelho na identificação e avaliação de manifestações patológicas em edifícios.*”, Concreto & Construções, IBRACON, V. 79, p. 93-98.
- Romero, N., Dupuy, C., Quiñones, J., (2011), “*Influência de la contaminación atmosférica em la fachada de rascacielos, caso Torre Colpatria*”, Revista ALCONPAT, V. 1, No. 3, pp. 228-235. DOI: <http://dx.doi.org/10.21041/ra.v1i3.17>
- Santos, S. S., (2013), “*Patologia das Construções.*”, Instituto de Pós-Graduação e Graduação - IPOG, Revista *On Line IPOG Especialize*, Curitiba:PR (Brasil).
- Soares, T. C. R., (2014), “*Termografia na avaliação do desempenho higrotérmico de edifícios – análise de sensibilidade.*”, Tese de Mestrado em Engenharia de Construção e Reabilitação, Instituto Politécnico de Viseu, Santa Maria (Portugal).