

Critérios para aplicação da termografia de infravermelho passiva como técnica auxiliar ao diagnóstico de patologias em fachadas de edifícios

BAUER, E. ^{a*}; CASTRO, E. K. ^a; OLIVEIRA FILHO, A.H. ^a; PAVÓN, E.A. ^a

^a Universidade de Brasília, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental
Campus Universitário Darcy Ribeiro, Asa Norte, 70910-900 Brasília, Brasil;

**elbauerlem@gmail.com*

Resumo

A dificuldade na avaliação e quantificação de anomalias em fachadas reside, dentre outros aspectos, na dificuldade de inspeção principalmente em edifícios de grande altura. A termografia de infravermelho passiva traz várias vantagens na inspeção, tanto na facilidade de inspeção como na potencialidade de uso das informações obtidas nos termogramas. O objetivo do presente estudo é avaliar os aspectos limitantes do emprego da termografia em campo e estudar protótipos em laboratório sendo os mesmos projetados e construídos na forma de placas, sobre as quais se assentam alguns defeitos planejadamente construídos. Os resultados evidenciam que o Delta-T, critério de detecção mais empregado, não identifica as anomalias em todas as situações. O nível de aquecimento e o regime de resfriamento (temperatura) também influenciam no padrão de danos observados nos termogramas além das características térmicas dos materiais.

Palavras-chave: *termografia passiva, argamassa, patologia, temperatura.*

Criteria for application of passive infrared thermography as an auxiliary technique in the diagnosis of pathologies on the facades of buildings

Abstract

The difficulty in the evaluation and quantification of anomalies in facades lies, among other things, the difficulty of inspection especially in tall buildings. The passive infrared thermography inspection brings several advantages, both in ease of inspection as the potential use of information obtained in the thermograms. The objective of this study is to evaluate the limiting aspects of the use of thermography in the field and laboratory study prototypes and they are designed and built in the form of plates, on which sit some defects planned carefully constructed. The results show that the Delta-T, the most used detection criteria, does not identify the anomalies in all situations. The level of heating and cooling system (temperature) also influence the pattern of damage observed in the thermograms addition to thermal characteristics of the materials.

Keywords: *Passive thermography, rendering, pathology, temperature.*

1 Introdução

Todo o processo de investigação de patologia necessita identificar as anomalias, quantificá-las e determinar a gravidade das mesmas. São vários instrumentos e metodologias empregados nesse processo investigativo. A definição do diagnóstico, das condutas a adotar, bem como a avaliação dos custos pertinentes, são etapas subsequentes ao levantamento de campo, sendo as mesmas fortemente dependentes da precisão e objetividade conseguidas na etapa da investigação das anomalias. Um diagnóstico seguro depende de informações precisas e que avaliem corretamente os mecanismos e variáveis que influenciam na degradação e no desenvolvimento das patologias.

A inspeção de fachadas, particularmente dos sistemas de revestimento, é uma atividade com logística complexa. A elevada altura dos edifícios, as difíceis condições de acesso, a necessidade de efetuar avaliações com os edifícios em utilização, são alguns pontos que evidenciam como pode se tornar complexa a obtenção dos dados em um levantamento de patologia. A inspeção física da fachada, tendo o acesso a mesma feito por guindastes, elevadores ou por operações de rapel, são de custo elevado e operação difícil com o envolvimento de equipe muitas vezes numerosa, sendo em muitos casos de inspeção pontual.

A inspeção termográfica (termografia de infravermelho), como técnica de inspeção de fachada possui várias vantagens, a saber: é uma forma de análise que pode ser feita a significativas distâncias (sem contato), avalia as temperaturas em tempo real (o que ocorre no momento),

não causa danos a superfície e é muito rápida em seu processo de aquisição (inspeção). Todavia, o resultado que temos são termogramas, e a interpretação desses termogramas em diferentes condições, desde que adequadamente entendidos, nos permite identificar possíveis anomalias. Mesmo que a termografia não substitua os processos investigativos tradicionais (que necessitam da realização de ensaios in loco, por exemplo) é possível efetuar um direcionamento na inspeção obtendo inclusive uma classificação das regiões de dano quanto a intensidade de ocorrência dos mesmos.

O emprego da técnica de termografia como técnica não destrutiva classifica a mesma em passiva e ativa. Na termografia passiva, que é o caso das inspeções de edifícios, as diferenças de temperatura que identificam as prováveis anomalias têm origem nos fluxos de calor observados nos elementos contrutivos. A presença de defeitos reduz a taxa de transporte de calor no material, a qual pode ser detectada na superfície. Assim defeitos ou anomalias podem ser identificados por comparação nas regiões próximas ou circunvizinhas [1]. Esses fluxos de calor na envoltória do edifício obviamente não são estáticos nem constantes ao longo do dia, e dependem em grande escala da temperatura ambiente, do aquecimento pelo sol e das condições de resfriamento da fachada. É claro que uma imagem termográfica deve ser interpretada e deve estar associada a dinâmica das trocas de calor no elemento construtivo. Dependendo das condições existentes na fachada, uma anomalia pode aparecer como ponto quente, ponto frio, ou ainda não ser detectada. Vê-se portanto, que tanto a captura da imagem pelo termografista como a análise da mesma com o objetivo de identificar certa anomalia necessitam de padrões e critérios capazes de identificar e associar os pontos ou regiões da imagem a anomalias na fachada. MALDAGUE [1] aponta que a termografia passiva é empregada na indústria, na identificação de temperaturas de operação anormais em determinados processos, como é o caso do monitoramento de redes elétricas e também de instalações de operação de fluxos de fluídos. Nesses casos diferenças térmicas pontuais já indicam a existência das anomalias.

A termografia ativa, com numerosas aplicações em ensaios não destrutivos de diversas naturezas, emprega estímulos geralmente térmicos e avalia a evolução ou decaimento das temperaturas de modo a estudar as anomalias ou defeitos [1] [2]. São muito empregadas a termografia de pulso curto (no qual a temperatura do material modifica rapidamente pelo pulso térmico instantâneo, avaliando-se tanto os padrões de aquecimento como arrefecimento na

superfície), a termografia de pulso longo(na qual o regime de aquecimento é observado em um tempo maior identificando-se as alterações na superfície do material), a termografia modulada (em que se aplica um perfil de aquecimento modulado e se avalia a oscilação de temperatura em regime estacionário), a vibro termografia, dentre outros [1]. É muito evidente que a termografia ativa, se não for impossível, é muito difícil de ser empregada nas inspeções das fachadas dos edifícios, uma vez que as condições de temperatura e fluxo térmico variam em larga escala na fachada do edifício.

Outro aspecto importante diz respeito ao fato da inspeção termográfica ser qualitativa ou quantitativa. Em investigações de sistemas nos quais existe um determinada tipologia de fluxo térmico constante (redes de distribuição elétrica, por exemplo), em que a detecção de um ponto ou região com temperaturas fora da faixa de trabalho (mais altas ou mais baixas) indica uma anomalia, a termografia pode assumir um padrão qualitativo [3]. Nesses casos o objetivo é descobrir se existe uma anomalia e onde ela está localizada. Emprega-se nestes casos frequentemente uma analogia por padrões de falha que depende do sistema em estudo, e a temperatura estudada é apenas a aparente (sem preocupação significativa com correções e ajustes dos parâmetros de aquisição da imagem). Quando se passa a empregar a termografia para classificar a seriedade de uma anomalia, já é necessário ter a maior precisão possível nas temperaturas obtidas no termograma, sendo necessários os ajustes e medições dos parâmetros termográficos de medição (emissividade, distância, temperatura refletida, dentre outros) [4]. Nesse sentido o estabelecimento de critérios associativos as anomalias e patologias é fundamental. Um dos mais evidentes é a constatação de um ΔT entre regiões próximas e teoricamente submetidas ao mesmo fluxo térmico. MALDAGUE [1] coloca que em termos gerais um ΔT de 2°C já identifica possíveis anomalias, enquanto um ΔT de 4°C já é uma forte evidência de um comportamento anormal.

No estabelecimento de critérios surgem outros aspectos a elucidar. Dentre eles, cabe saber qual o sentido do fluxo de calor, se é da superfície para o interior do elemento, ou se é do elemento para a superfície. Ambas as situações são correntes nas inspeções e modificam a identificação das anomalias. No primeiro caso a anomalia aparece na superfície como uma região ou ponto quente, e no segundo caso como ponto frio. Características térmicas que envolvam o fluxo de calor, como a difusividade térmica, e, possivelmente, até a própria inércia térmica, podem diferenciar a detecção das anomalias.

As investigações em laboratório basicamente estudam corpos-de-prova em que são inseridas falhas físicas, tais como fissuras, bolhas, descontinuidades [5] [6]. Geralmente esses elementos são submetidos a fluxos de calor, estudando-se os comportamentos em regimes de aquecimento e arrefecimento. Um dos objetivos destes estudos é entender como se detectam as anomalias, e aí são abordadas tanto técnicas de termografia passiva, como também da termografia ativa. O foco do presente estudo é o desenvolvimento metodológico de uma avaliação que permita iniciar o estudo da definição de critérios de identificação de anomalias aplicáveis à inspeção de fachadas.

2 Materiais e Métodos

Os corpos-de-prova desenvolvidos para este estudo consistiram de uma placa em argamassa de cimento e areia de dimensões de 25 cm por 50 cm, tendo espessura de 4cm. Esta placa foi moldada e curada em câmara úmida por 28 dias, sendo posteriormente seca em estufa a 50°C. Sobre a placa (Figura 1-a) foi aplicada uma camada de argamassa colante, mantendo-se uma faixa central de 20 mm sem essa camada (Figura 1-b). Sobre a camada de argamassa colante foram assentadas as 3 placas cerâmicas que compõe o corpo-de-prova (Figuras 1-c e 1-d). Neste caso, criou-se uma falha central de aproximadamente 20mm de largura e 2,5 mm de espessura ao longo das 3 placas cerâmicas assentadas. As placas cerâmicas por sua vez, denominadas A, B e C, possuem espessuras diferenciadas, ou seja, respectivamente, 7,4 mm (A), 4,0 mm (B) e 6,4 mm (C). Após a montagem o corpo-de-prova foi curado em ambiente de laboratório (23°C UR 50%) por 30 dias.

Para os estudos termográficos foi empregado um dispositivo de aquecimento constituído de 3 lâmpadas refletoras de 250 W cada uma delas. As mesmas são montadas em um “box” que direciona a incidência térmica exatamente sobre a área da placa. Empregou-se uma rotina de ensaios denominada no Laboratório de Ensaio de Materiais da Universidade de Brasília de “ciclo reverso”, a qual consiste em fazer a incidência de calor pela face oposta (denominada face reversa) a da face sobre a qual foram assentadas as placas cerâmicas. Dessa forma o fluxo de calor atravessa toda a placa de argamassa para então atingir e passar pelas placas cerâmicas e pela região de falha até a superfície onde se faz a medida termográfica.

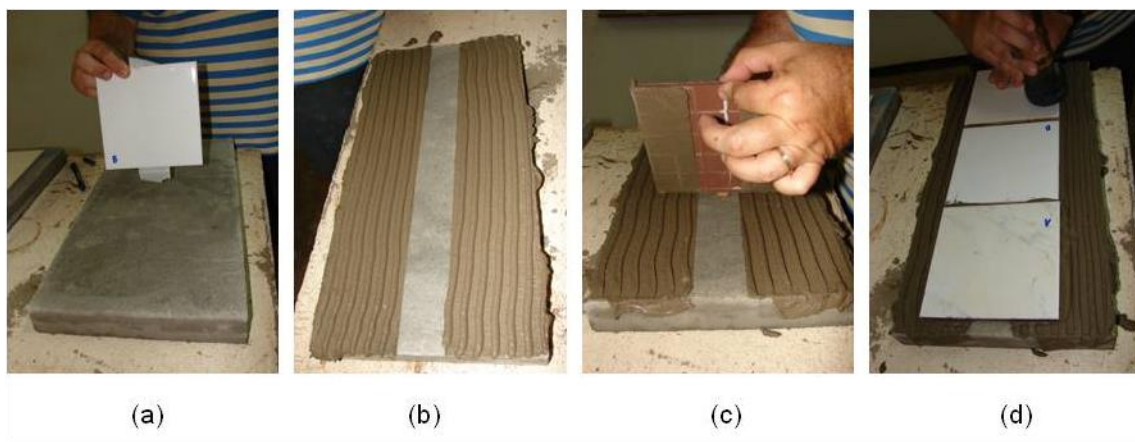


Figura 1 – Detalhes da montagem do corpo-de-prova

O equipamento termográfico empregado na obtenção dos termogramas foi uma câmera Flir modelo T-400 cujos parâmetros são descritos na Tabela 1.

Tabela 1 – Especificação da câmera termográfica

<i>Câmaras Termográficas</i>	<i>FLIR T 400</i>
Faixa de temperatura empregada (°C)	-20 a 120
Precisão (%)	±2
Faixa Espectral (μm)	7,5 a 13,0
Resolução de imagem (pixels)	320x240
Lentes (°)	25
I.F.O.V (mrad)	1,363

Os parâmetros introduzidos para os ajustes, foram a emissividade, a temperatura ambiente, a umidade relativa, a temperatura aparente refletida e a distância ao alvo. A temperatura aparente refletida foi determinada, antes do início dos ciclos (aquecimento/arrefecimento), conforme procedimento especificado pela norma da ASTM E1862 – 97 [7] (método da lâmina corrugada de papel alumínio). A emissividade também foi determinada por comparação com fita padrão sendo igual a 0,95 para todas as 3 placas ensaiadas.

O período de aquecimento foi estabelecido em testes prévios e foi adotado num total de 68 minutos. Como critério definiu-se duração do aquecimento em função de um incremento mínimo de 25° entre a temperatura ambiente das placas cerâmicas (A, B e C) em repouso e

posteriormente sob excitação térmica de longo pulso. O arrefecimento foi monitorado até os 164 minutos, momento em que as diferenças estudadas já não se mostravam mais importantes. Os termogramas foram tomados sequencialmente a cada 4 minutos. Foram efetuados 2 ciclos de estudo sendo apresentados os valores médios observados.

3 Resultados e discussões

A Figura 2 ilustra detalhes dos termogramas adquiridos nos ciclos estudados. Observa-se que é muito nítida a identificação da região da falha estudada.

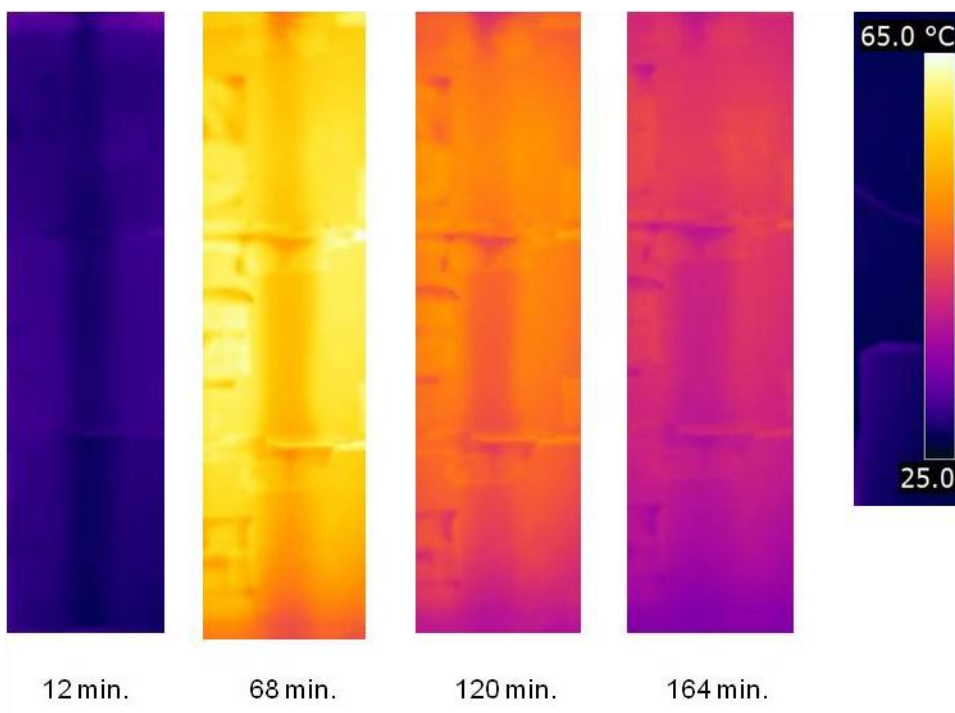


Figura 2 – Detalhes dos termogramas sobre as placas diferentes tempos do ciclo reverso.

A evolução das temperaturas ao longo de todo o ciclo (aquecimento e arrefecimento) é apresentada na Figura 3. Observa-se que todas as tendências são coerentes em relação ao estímulo térmico (pulso longo), refletindo-se nas medidas de temperatura tanto na etapa de aquecimento (onde as temperaturas crescem continuamente em todas as placas) e também na etapa de arrefecimento (com queda contínua das temperaturas). As placas A e B atingiram os maiores valores de temperatura, e a placa C evoluiu de forma um pouco mais amena quanto às temperaturas máximas. É nítido um certo paralelismo entre as evoluções da temperatura sob a falha e sob a região normal das placas, mais nitidamente após 30 minutos de aquecimento,

mantendo-se constante até o final do arrefecimento. Essa variação constante pode ser entendida como o momento a partir do qual o fluxo de calor atinge um estado estacionário, fazendo com que as variações de temperatura se tornem constantes ao longo do processo. Em todos os casos a temperatura na região normal foi sempre superior a da região da falha, o que era esperado em função da direção do fluxo de calor (face reversa para a face de estudo), uma vez que a falha causa uma resistência térmica que é identificada como região de temperatura inferior na face de estudo (Figura 2).

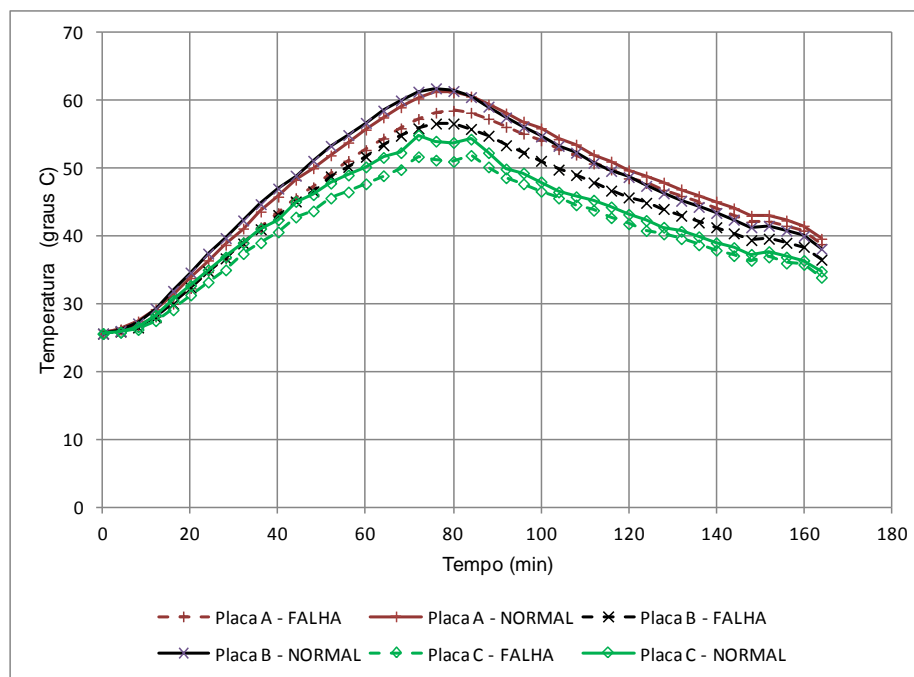


Figura 3 – Evolução das temperatura nas regiões estudadas das placas.

Quando se analisa as diferenças de temperatura observadas na face de estudo, entre a região da falha e a região normal (sem falha) conforme apresenta a Figura 4, evidencia-se um comportamento diferenciado da placa B. O ΔT ao final do aquecimento, que a placa B apresenta, é muito maior do que o apresentado pelas placas A e C. Uma razão evidente para isso é a menor espessura da placa (a placa B tem espessura em torno de 54% da espessura da placa A). Deve se notar, todavia, que a temperatura na superfície da região normal (figura 3) é muito próximo entre as placas A e B. O que parece acontecer é que o arrefecimento na região da falha na placa B é muito mais favorecido do que para as outras placas. Como se observa na Figura 4, as placas A e C apresentam comportamento relativamente similar, ou seja a diferença

de temperatura entre a região da falha e a região normal são idênticas, embora a placa C tenha mostrado na Figura 3 uma evolução mais baixa de temperatura em todo o ciclo.

Analisando-se agora a diferença de temperatura entre a temperatura média da placa (toda a superfície da placa) e a região de falha, encontra-se os resultados apresentados na Figura 5. Note-se que essa análise é importante pois ao se efetuar uma inspeção em campo o critério Delta-T é estabelecido em uma determinada área da fachada sob análise. Quando observamos os dados da Figura 5 é intrigante identificar o comportamento da placa A, a qual tem o menor Delta-T em todo o ciclo. A explicação pode estar atrelada ao fato da placa A permanecer mais quente (comparativamente com as placas B e C) em todo o ciclo, ou seja, apresenta temperaturas altas tanto na região normal como também na região de falha. O fato de maior espessura pode ser determinante, mas não deve descartar-se diferenças na difusividade térmica, a qual não foi mensurada neste estudo. Deve se notar também que, embora a placa B tenha um grande Delta-T, quando se compara a região da falha e da região normal (figura 4), quando se mensura o Delta-T em relação a média da temperatura da placa essa diferença é reduzida. Evidencia-se aqui a complexidade da análise que potencialmente ocorre quando da análise de termogramas na inspeção de edifícios. O que parece ser relevante é que o estabelecimento genérico de um Delta-T pode levar a incongruências na identificação de danos.

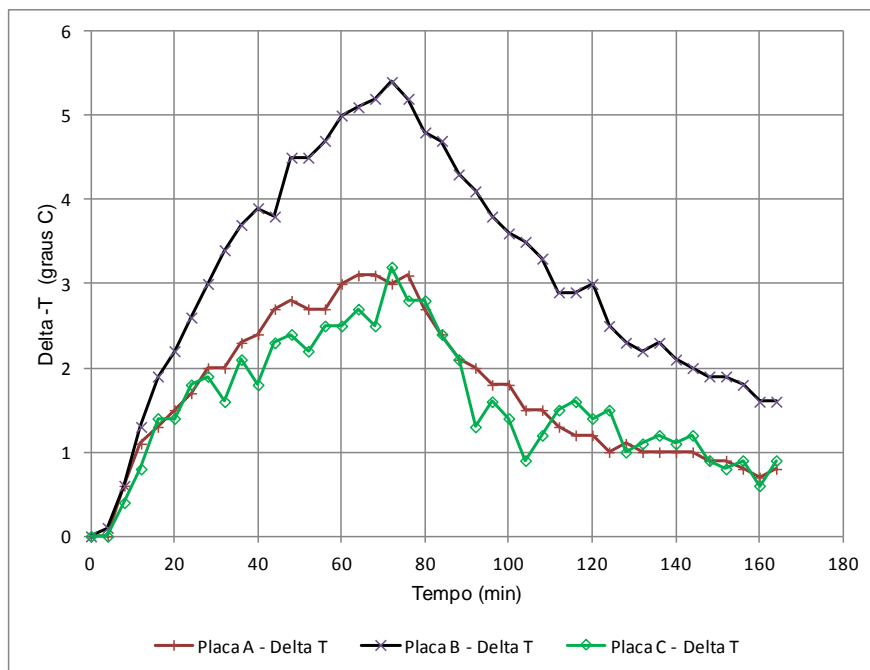


Figura 4 – Delta-T entre a região de falha e a região normal.

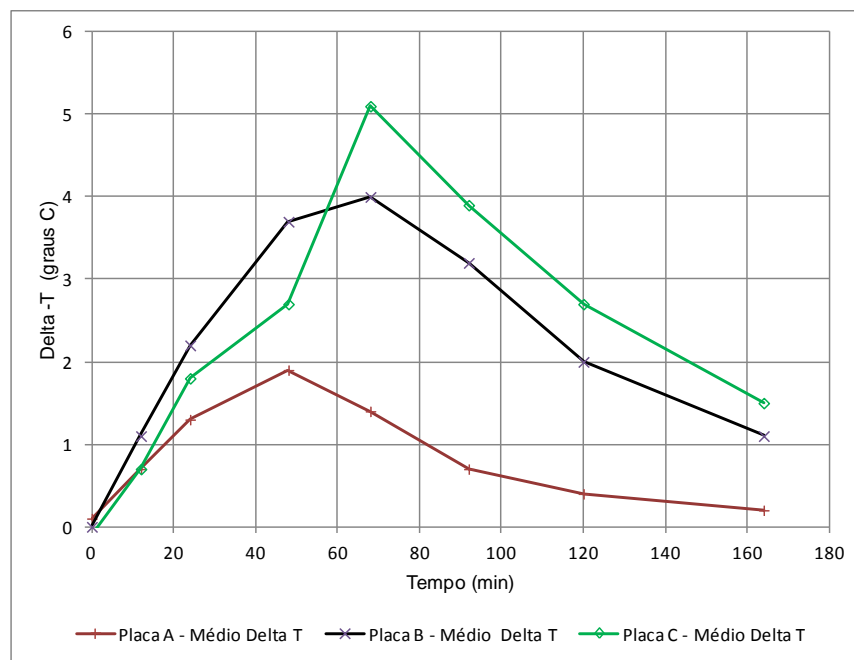


Figura 5 – Delta-T entre a região de falha e a temperatura média da placa

Quando se discute os critérios de identificação de danos para as fachadas dos edifícios, vários fatores devem ser ponderados. Um dos aspectos de primeira análise é a condição do fluxo

térmico, mais especificamente sua direção (para dentro ou para fora da fachada). Como mostrado, simples diferenciações de espessura podem interferir na análise no aspecto que sob uma temperatura superficial uma falha pode estar visível ou não. Associar um Delta-T à temperatura média da região em análise, desde que a região seja relativamente homogênea (mesmos materiais e mesmo elemento construtivo), é uma forma adequada de se iniciar à avaliação. Imagens termográfica obtidas sob outras condições de fluxo térmico podem ser de grande valia, mesmo que meramente qualitativas. Por comparação pode se entender muito melhor tanto os aspectos construtivos como também a possível falha em estudo.

A complexidade dos sistemas construtivos e as diferenças nos regimes de fluxo de calor ainda são os principais fatores que desafiam um maior refinamento desses critérios mencionados. Um caminho a analisar pode ser especificar o Delta-T em função de faixas de temperatura média da fachada.

4 Conclusões

Do estudo efetuado e das análises apresentadas pode-se enumerar as seguintes conclusões principais:

- A termografia de infra-vermelho como técnica de inspeção de fachadas pode ser empregada de forma quantitativa fornecendo parâmetros de identificação de região de falhas;
- As características construtivas e os materiais empregados devem ser ponderados no estabelecimento de critérios para definição das falhas;
- O Delta-T isolado não serve como parâmetro definidor de falhas. É necessário ponderar também a temperatura da fachada e os fluxos de calor existentes;

Agradecimentos

Os autores agradecem o apoio da CAPES, do CNPq, e do Laboratório de Ensaio de Materiais da Universidade de Brasília.

5 Referências

- [1] MALDAGUE, X.P.V. Theory and practice of infrared technology for nondestructive testing. New York, 2001, John Wiley & Sons.
- [2] THEODORAKEAS, P.; IBARRA-CASTANEDO, C.; SFARRA, S.; AVDELIDIS, N.P.; KOUIM, M.; MALDAGUE, X, PAOLETTI, D.; AMBROSINI, D. NDT inspection of plastered mosaics by means of transient thermography and holographic interferometry. NDT&E International, Vol. 47, pp.150-156, 2012.
- [3] CERDEIRA, F.; VÁZQUEZ, M.E.; COLLAZO, J.; GRANADA, E. Applicability of infrared thermography to the study of the behavior of stone panel as building envelopes. Energy and Buildings, Vol. 43, pp.1845-1851, 2011.
- [4] ITC – Infrared Training Center, 2013. Thermography Level 1 Course Manual, Publication N°. 1560093.
- [5] FREITAS, S.S.; FREITAS, V.P. AND BARREIRA, E. Application of Infrared Thermography to the Diagnosis of Façade Rendering Detachment, “A state of the art Report on Building Pathology – CIB W086”, CIB Edition (2013).
- [6] BARREIRA E. AND FREITAS, V.P. “Evaluation of building materials using infrared thermography”, Construction and Building Materials, Vol. 21 N°1, 2007, pp. 218–224.
- [7] ASTM E1862 – 97 Standard Test Methods for Measuring and Compensating for Reflected Temperature Using Infrared Imaging Radiometers (Reapproved 2010).