Anais do Congresso Brasileiro de Patologia das Construções
CBPAT2016

Abril de 2016
ISSN 2448-1459

# INSPEÇÃO TERMOGRÁFICA DE FACHADAS – INVESTIGAÇÃO DA INFLUÊNCIA DA FISSURAÇÃO

**E. BAUER**
Professor
Universidade de Brasília, PECC
DF; Brasil
elbauerlem@gmail.com

**E. PAVÓN**
Aluno de Doutorado
Universidade de Brasília, PECC
DF; Brasil
elierpavon@gmail.com

**E. OLIVEIRA**
Aluno de Engenharia Civil
Universidade de Brasília, PECC
DF; Brasil
ebox3000@gmail.com

**RESUMO**

A termografia de infravermelho é uma técnica não destrutiva de inspeção, que auxilia na identificação das anomalias e pode fornecer informações sobre a extensão e gravidade das mesmas. O objetivo do presente estudo é aplicar a termografia quantitativa ao estudo de um caso de fissuração intensa em fachada revestida em argamassa, analisando a evolução das temperaturas e do Delta-T. Faz-se o estudo da evolução das temperaturas ao longo de um dia de análise, ocorrendo incidência do sol em parte do período de estudo, o que permite calcular e avaliar a evolução das temperaturas associadas. É efetuada a aquisição de termogramas a cada hora do período estudado. Pela evolução dos parâmetros, observa-se que as maiores temperaturas ocorrem as 12:00 horas, e os maiores Delta-T entre 10:00 e 12:00 horas. Houve diferença entre o perfil do Delta-T entre as 3 regiões estudadas. O melhor momento para análise é o em que se tem maiores Delta-T. Fissuras com maiores Delta-T foram consideradas mais degradadas, sendo que as fissuras ramificadas não permitiram conclusão comparativa.

Palavras-chave:termografia, fachada, fissura.

Infrared thermography is an evaluation technique that helps to identify anomalies and can provide information on the incidence and severity. The aim of this study is to apply quantitative thermography to study a case of severe cracks in facade analyzing the evolution of temperatures and Delta-T. There was the study of the evolution of temperature over a day, occurring incidence of the sun part of the day which allows you to calculate and assess the evolution of the associated temperatures. It done the acquisition of thermograms hourly of the study period. It is observed that the highest temperatures occur at 12:00 hours and the larger Delta-T between 10:00 and 12:00. There were differences between the Delta-T's profile among the three regions studied. The best time for analysis is that it has greater Delta-T. Cracks with higher Delta-T were considered more degraded, and that branched generalized cracks did not allow comparative conclusion.

Keywords: thermography, facade, crack.

## 1. INTRODUÇÃO

A termografia de infravermelho é uma técnica auxiliar de grande aplicação no estudo de manifestações patológic
as e anomalias dos edifícios. Seu foco, na identificação e mapeamento de defeitos, permite um direcionamento da inspeção que contribui na classificação das regiões de danos quanto a intensidade de ocorrência e também gravidade das anomalias. Como técnica não destrutiva, a termografia permite obter um termograma que é uma imagem térmica da

Abril de 2016
ISSN 2448-1459

superfície do objeto alvo [1], o qual no presente caso é um trecho da fachada. Essa inspeção é feita à distância (pode chegar a dezenas de metros), obviamente sem contato e sem dano ao elemento. O resultado é determinado em tempo real, ou seja, as temperaturas observadas na câmera termográfica são as que estão ocorrendo naquele momento no objeto alvo.

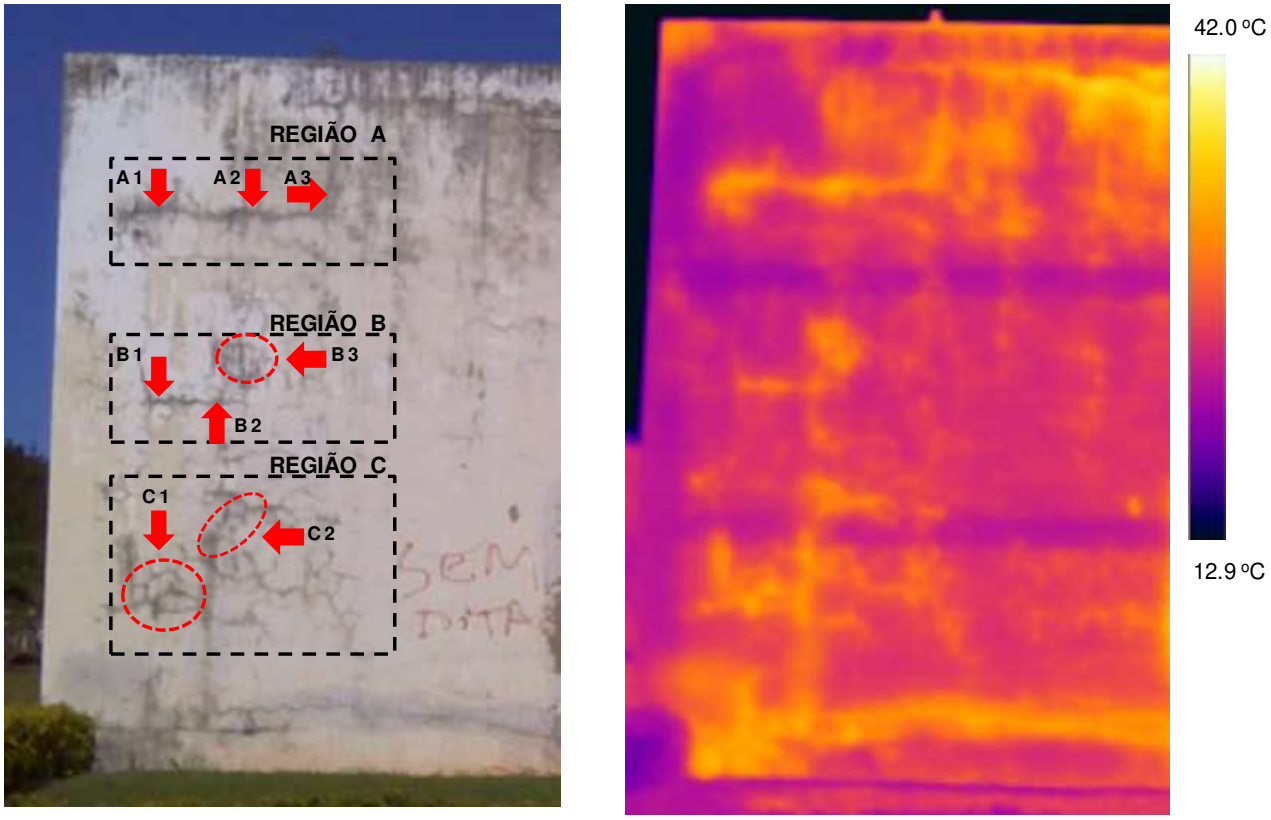
Ao se estudar um termograma de uma fachada, se está analisando as temperaturas na superfície dos elementos e materiais que compõem a mesma. Obviamente, essas temperaturas são resultado da ação de vários fatores, dentre eles a ação dos agentes climáticos, como incidência do sol e temperatura ambiente. Elementos em equilíbrio térmico ou higroscópico com o meio são difíceis de estudar com a termografia [1]. Para identificação de anomalias é necessário que exista um fluxo térmico do ambiente para a fachada (direto), ou da fachada para o ambiente (inverso). Naturalmente, esses fluxos ocorrem pela ação dos agentes climáticos sobre a fachada. Os defeitos ou anomalias causam perturbações ao fluxo térmico, o que leva a uma distribuição de temperaturas diferenciadas na superfície da fachada ou elemento, a qual é captada pelo termograma. A grande dificuldade é identificar em que condição de fluxo térmico se visualizam os defeitos, e como os mesmos se manifestam[2]. Se o fluxo térmico empregado para o estudo termográfico é de origem natural, como por exemplo, o oriundo da incidência solar sobre a fachada, se diz que a técnica de estudo é a termografia passiva. Se o fluxo térmico é induzido sobre o elemento, por aquecimento, vibração, ultrasom, dentre outras formas, se diz que a técnica é a termografia ativa [3]. A termografia ainda pode ser considerada qualitativa, quando é baseada somente na identificação de pontos quentes e frios da imagem termográfica. Nesse caso, a análise é feita por comparação com padrões, sendo essa forma de estudo usualmente empregada nos estudos de restauro e diagnóstico de edifícios históricos[4]. Por sua vez, a termografia quantitativa é empregada quando se quer classificar a importância do defeito sendo de grande preocupação a precisão na determinação das temperaturas que se obtém, bem como do emprego de técnicas adequadas na obtenção dos termogramas e na análise das informações [5]. O primeiro parâmetro de análise é o Delta-T, que corresponde a diferença de temperaturas (módulo) entre a região com defeito e a região sem defeitos. Em termos comparativos, para as mesmas condições de exposição, pode se pensar preliminarmente numa condição de maior gravidade para anomalias com maior Delta-T[6].

O emprego da termografia no estudo dos destacamentos de fachada e investigação da umidade tem sido feitos ainda em caráter experimental, mesmo em condições de campo [6][7]. Os estudos mostram uma forte dependência das variações ao longo do dia, da temperatura e da incidência solar não havendo concordância sobre os critérios quanto ao momento em se fazer a inspeção termográfia (pelo dia ou pela noite). Pode se afirmar obviamente, que as condições de clima de cada país em que os estudos são feitos é uma variável determinante nos processos e resultados. Em relação ao estudo da degradação por fissuração das fachadas, poucos estudos de campo e laboratório tem sido feitos. Na maioris das vezes tem-se usado a termografia para observar a localização de fissuras[4], sem aplicar a termografia quantitativa. O objetivo do presente estudo é aplicar a termografia quantitativa ao estudo de um caso de fissuração intensa em fachada. Busca-se acompanhar a evolução das temperaturas ao longo de um dia de análises, ocorrendo incidência do sol em parte do período de estudo, o que permite calcular e avaliar a evolução das temperaturas associadas. Essa abordagem permite estudar a região fissurada tanto em termos de sua identificação como possivelmente do estudo do grau de dano provocado.

## 2. DESENVOLVIMENTO METODOLÓGICO EXPERIMENTAL

A investigação experimental envolveu o acompanhamento de uma fachada com revestimento de argamassa de um edifício em Brasília – Brasil, caracterizada pela existência de fissuração. Essa fachada foi identificada e mapeada sendo consideradas 3 regiões de análise como é mostrado na Figura 1. Foram definidos para estudo termográfico, 3 pontos na região A, 3 pontos na região B, e 2 pontos na região C, conforme coloca a Figura 1-a. Os pontos A1, A2 e A3 da região A acompanham uma fissura principal com características lineares. Os pontos B1 e B2 da região B acompanham uma fissura linear, e o ponto B3 já corresponde a uma situação de fissuração ramificada. Os pontos C1 e C2 se referem a uma situação de fissuração ramificada generalizada. A Figura 1-b busca mostrar como se observa a região de estudo em um termograma.

Abril de 2016
ISSN 2448-1459




(a) (b)

Figura 1 – (a) Fachada estudada e delimitação das regiões e pontos de análise; (b) termograma ilustrativo obtido em um dos momentos da inspeção(8:00 horas).

O acompanhamento termográfico foi efetuado estudando-se os termogramas e sendo definidas as temperaturas de forma pontual nos casos de fissuras linerares (A1, A2, A3, B1, e B2), e de forma sob área, analisada no caso das fissuras ramificadas (B3, C1 e C2), onde se determinou a temperatura de uma área respectiva, conforme mostra a Figura 1-a.
Para se analisar a evolução dos comportamentos térmicos das fissuras, é necessário comparar a temperatura da região com defeito ($T_D$) com a temperatura da região sem defeito ($T_{ND}$). Assim as áreas ou pontos sem defeito, onde foi determinada a $T_{ND}$ foram definidas inicialmente no termograma, sendo mantidas fixas ao longo de todo o monitoramento efetuado.

O procedimento de estudo consistiu no acompanhamento termográfico da fachada nas regiões estudadas, empregando termografia passiva. A fachada com orientação leste recebia o sol pela manhã, das 7:00 as 12:00. O estudo foi feito em meados de julho, época sem precipitação de chuva em Brasília e com céu limpo. Para definir a evolução das temperaturas horárias ao longo do dia foi efetuada uma simulação higrotérmica da fachada, empregando o sistema Wufi® Pro 5.3 sendo inseridos os dados relativos aos materiais existentes e empregando um arquivo TMY (Typycal Meterelological Year) para Brasília. A simulação foi efetuada para o dia em que foi desenvolvida a inspeção em campo. A absortância considerada na simulação foi de 0,3.

O levantamento de campo consistiu na captura dos termogramas a cada hora durante o período da inspeção. Esse período iniciou as 8:00 horas e terminou as 18:00 horas. Foi observado um período de incidência solar logo no início do estudo (8 as 12 horas), e outro, sem incidência solar (sombreamento) após as 12 horas. Todas as imagens foram feitas sob luz solar. Foi mantido um ponto fixo para aquisição de todos os termogramas, a uma distância de 18,5 m da fachada. A determinação da Temperatura Aparente Refletida ($T_{AR}$) foi efetuada a cada horário, empregando o método da lâmina de alumínio corrugada, conforme prescreve a ASTM E1862 [8]. A emissividade foi determinada conforme o método da fita negra padrão, conforme prescreve a ASTM 1933 [9]. Para medição da Temperatura Ambiente (T) e da Umidade Relativa (UR), a cada momento da aquisição, foi empregado um termohigrômetro Meterlink MO297. A câmera infravermelha empregada foi do modelo Flir T400, na faixa de temperatura de -20 to 120°C, 2% de precisão,

faixa espectral de 7.5 to 13 µm, resolução de 320 x 240 pixels, lentes de 25° e IFOV de 1.36 mrad. O software para análise das imagens foi o Flir QuickReport 1.2 na versão livre. A rotina para aquisição dos termogramas consistiu das seguntes etapas:

- Fixação da lâmina de alumínio na superfície da fachada e obtenção da imagem a uma distância de 2,0 m. Essa etapa é necessária de modo a obter a $T_{AR}$, uma vez que esse é um dado de entrada solicitado pela câmera.
- Posicionamento do termografista no ponto de aquisição das imagens (distância de 18,5m da fachada), e determinação da UR e T. Inserção dos dados obtidos no software da câmera.
- Ajuste do foco térmico e aquisição de 3 imagens consecutivas.
- Análise posterior das imagens no Flir QuickReport 1.2, obtendo-se as temperaturas nos pontos de estudo.

## 3. RESULTADOS

Uma vez que se emprega termografia passiva para estudo da fissuração, é fundamenteal conhecer a evolução das temperaturas da superfície e ambiente, de modo a comprender os resultados encontrados. A Figura 2 apresenta os resultados observados na simulação higrotérmica. A incidência solar na fachada ocorre as 7:00 horas, o que se deduz pelo aumento das temperaturas superficial e ambiente. Essa incidência solar dura até as 12:00 horas. Pode se afirmar que nessa fase a fachada está em aquecimento, ou seja, o fluxo de calor é direto (de fora para dentro). Após as 12:00 horas, uma vez que o sol deixa de incidir sobre a fachada, a temperatura da superfície começa a cair, sendo que a mesma se aproxima da temperatura ambiente as 0:00 horas (próximo de 20ºC).

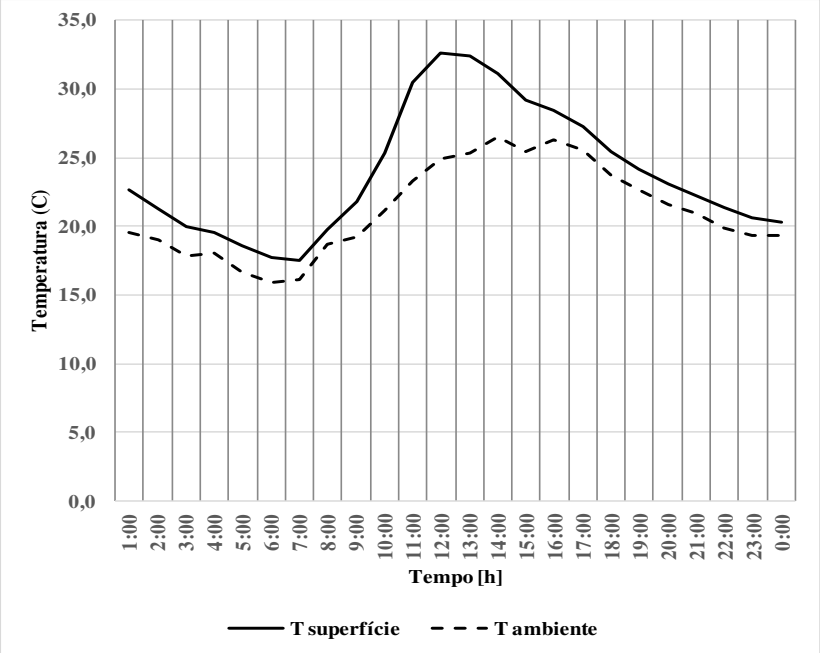
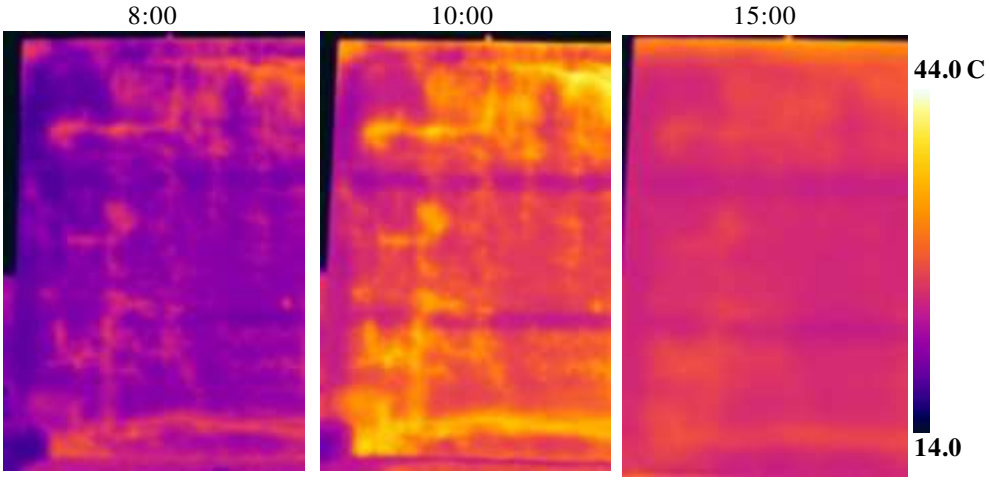



Figura 2 – Evolução da temperatura superficial e temperatura ambiente. Dados da simulação higrotérmica.

A investigação de falhas ou anomalias por termografia está associada a perturbação que esses defeitos causam no fluxo térmico que ocorre na fachada (de fora para dentro no caso em questão), e em como essa perturbação modifica a temperatura na superfície, a qual é obtida no termograma. Assim uma descontinuidade interna ou superficial, como um vazio, descolamento ou um processo de fissuração pode ser observado nos termogramas. A questão crítica é saber quais padrões observados identificam a presença e a extensão da fissuração. A Figura 3-a mostra o primeiro termograma obtido na inspeção onde a fissuração é identificada como faixas (ou pontos) de maior temperatura. Como já foram identificadas nas regiões de estudo (Figura 1-a) é fácil observar no termograma as regiões de estudo e as fissuras definidas. Tomando como referência o termograma capturado as 10:00 horas, situação agora com a fachada em forte aquecimento (T de 25ºC), observa-se facilmente que $T_D$ é significativamente maior (Figura 3-b). O Delta-T (entre $T_D$ e $T_{ND}$) é nitidamente maior, o que aumenta o contraste térmico, facilitando a identificação dos defeitos. Agora, ao se observar o termograma relativo as 15:00 horas (Figura 3-c), já se tem grande dificuldade na identificação precisa dos

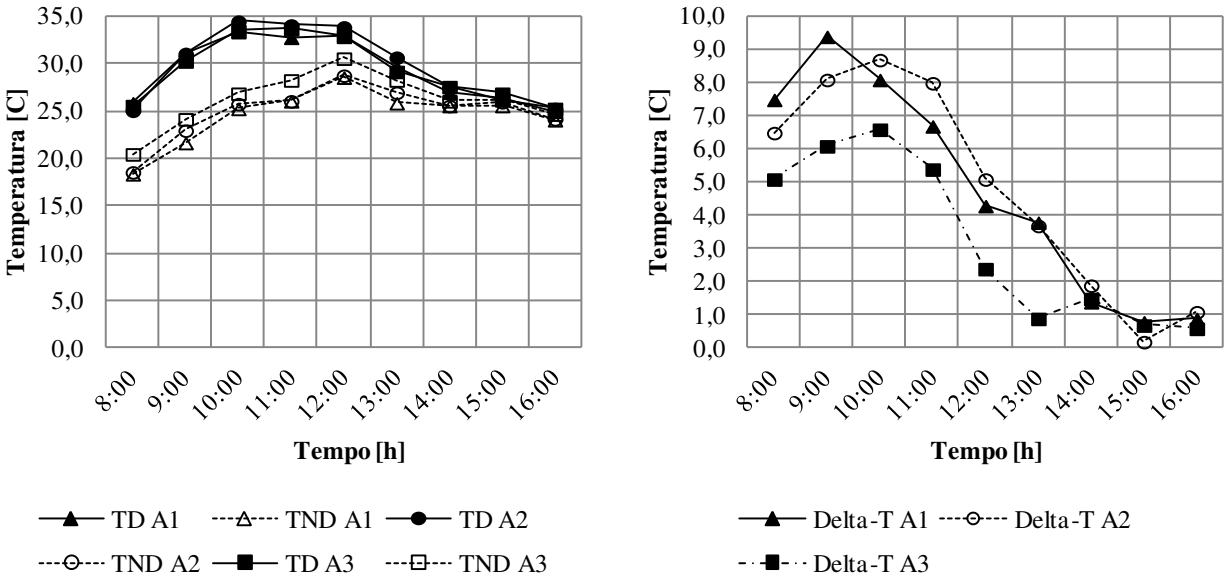
defeitos. Nessa situação, em função da ausência da incidência solar, a temperatura da fachada está caindo, e consequentemente o fluxo térmico é menor, podendo inclusive inverter de sentido (fluxo inverso). É importante observar a grande dependência da observação termográfica quanto a magnitude e do sentido do fluxo térmico[10]. Seguramente existem situações em que a visibilidade dos defeitos se modifica, sendo muito importante que o termografista conheça as principais variáveis que definem essas condições [11].




(a) (b) (c)

Figura 3 – Termogramas capturados na inspeção. (a) Inspeção 8:00; (b) Inspeção 10:00; (c) Inspeção 15:00

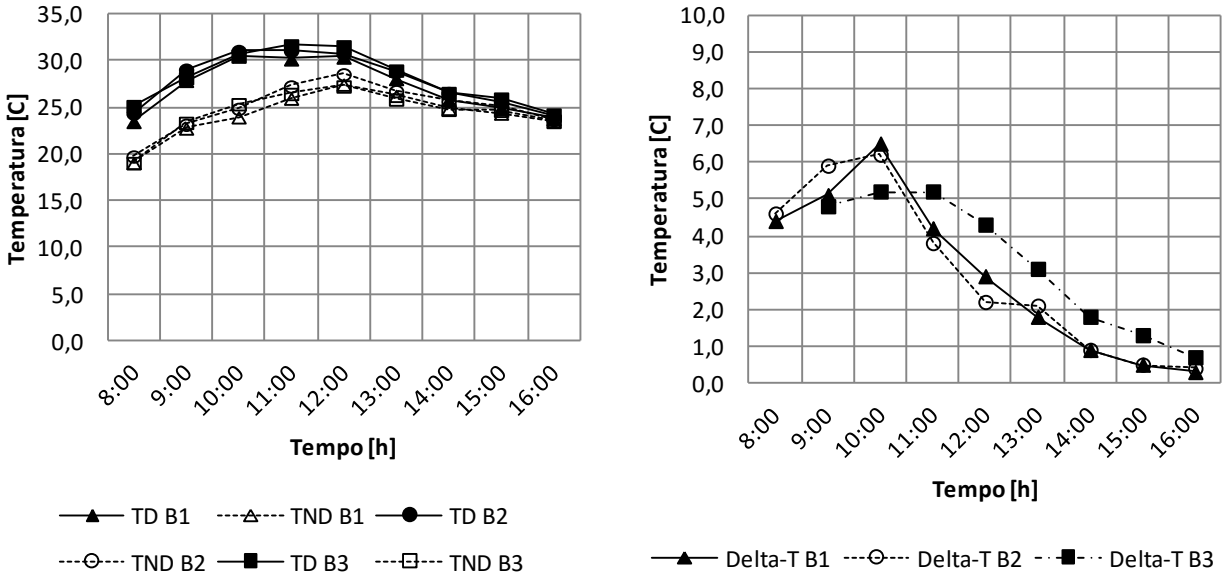
O estudo quantitativo das temperaturas é importante tanto na identificação dos defeitos e sua extensão como numa inferência preliminar de sua gravidade. Deve ser lembrado que a termografia se propõe a ser uma técnica de diagnóstico à distância, ou seja, em condições em que possivelmente não se tenha acesso físico aos defeitos[2]. Duas avaliações são correntemente aplicadas, sendo uma delas a evolução de $T_D$ e $T_{ND}$, e outra, a evolução do Delta-T (entre $T_D$ e $T_{ND}$). A Figura 4 apresenta os 3 pontos observados na região A (Figura 1-a). Primeiramente observa-se um crescimento das temperaturas durante a fase de incidência solar (Figura 4-a), tanto para $T_D$ como para $T_{ND}$. No caso das temperaturas na região do defeito ($T_D$), os valores observados (para A1, A2, e A3) são muito próximos em toda a evolução do experimento (tanto na fase de aquecimento como na de resfriamento), sendo que o valor máximo ocorreu as 12:00 horas como sugere a simulação efetuada (Figura 2). Nas temperaturas nas regiões sem defeito, o ponto A3 apresentou valores mais altos do que os outros 2 estudados, o que identifica um padrão diferenciado da fissura naquele ponto. Também se observou o valor máximo de $T_{ND}$ no horário das 12:00 horas. Com a evolução do resfriamento (após as 12:00 horas), a tendência é a de que ocorra convergência de todas as temperaturas, o que ocorre no termograma de 16:00 horas em que tanto $T_D$ como $T_{ND}$ dos 3 pontos estudados se aproximam de 25ºC. Para o Delta-T máximo (Figura 4-b), todos os 3 pontos são muito nítidos, apresentando valores de: 9,4ºC, 8,7ºC, e 6,6ºC, respectivamente para A1, A2 e A3. Em termos de análise termográfica esses valores são muito representativos para anomalias [3]. O Delta-T é máximo nos horários de 9:00 e 10:00 horas, caindo fortemente até as 14:00 horas onde estabilizam próximos de 1ºC. De forma direta pode se afirmar que a visualização é otimizada nesses momentos de máximo Delta-T.




(a) (b)

Figura 4 – Região A: (a) Evolução de $T_D$ e $T_{ND}$; (b) Evolução de Delta-T

Na região B, cujo comportamento está apresentado na Figura 5, as fissuras B1 e B2 são fissuras lineares. A fissura B3 na verdade é um conjunto de fissuras ramificadas. Na evolução de $T_D$ se observa um comportamento similar para as 3 fissuras, atingindo o pico máximo entre 11:00 e 12:00 horas. $T_{ND}$ cresce também de forma homogênea entre as fissuras estudadas, atingindo o pico máximo as 12:00 horas. No resfriamento a estabilização dos valores ocorre a partir das 14:00 horas alcançando em torno de 25ºC as 16:00 horas para todas as temperaturas. Em relação ao Delta-T os valores também foram expressivos, alcançando valores de: 6,5ºC, 6,2ºC, e 5,2ºC, respectivamente para B1, B2 e B3. Esses valors de pico máximo ocorrem no intervalo das 9:00 até as 11:00 horas. Deve ser destacado o comportamento diferenciado do conjunto de fissuras ramificadas B3, o qual além de apresentar menor Delta-T, possui uma evolução distinta, com menor velocidade de queda ao longo do tempo. Isso pode ser atribuído a diferença da tipologia da fissuração ramificada, a qual apresenta danos de menor dimensão, mas dispersos na área de estudo. Isso enseja a necessidade de se ater a critérios diferenciados quando do estudo desse tipo de fissuração.

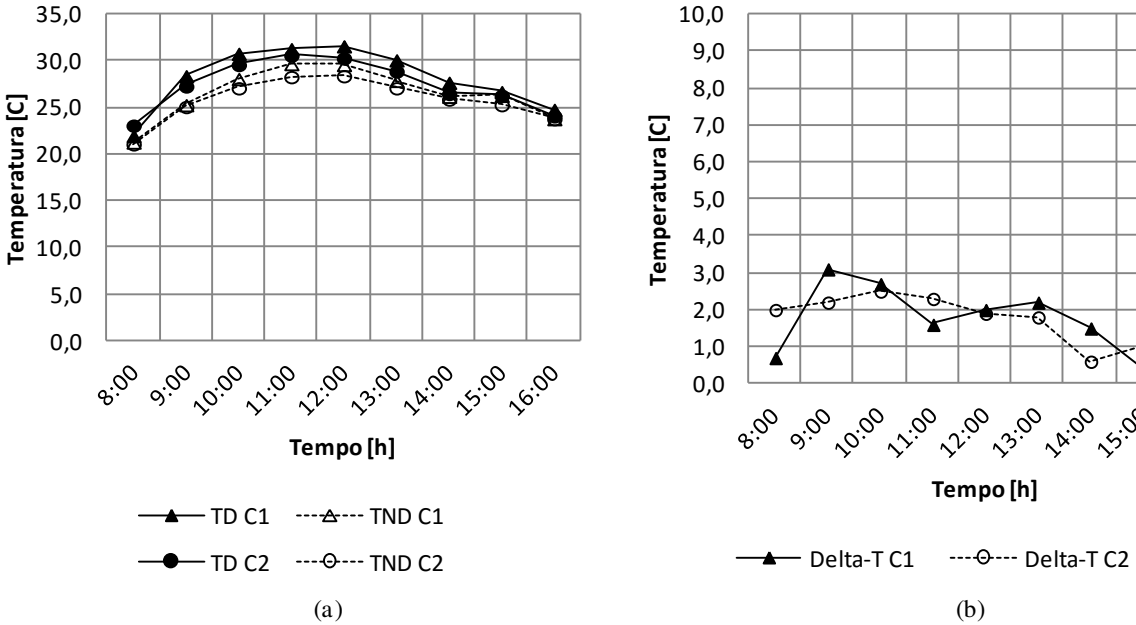



(a) (b)

Figura 5 – Região B: (a) Evolução de $T_D$ e $T_{ND}$; (b) Evolução de Delta-T

Para a região C, no caso de estudo de 2 fisuras ramificadas, observou-se a evolução das temperaturas com o aquecimento ($T_D$ e $T_{ND}$), atingindo também o pico máximo as 12:00 horas, conforme mostra a Figura 6. Para essas fissuras em específico, observou-se uma proximidade grande entre as temperaturas $T_D$ e $T_{ND}$. Assim, embora essas fissuras sejam visíveis nos termogramas (Figura 3), os valores de Delta-T foram bem menores (inferiores a 3ºC). Isso pode ser atribuído a possíveis características das fissuras, em que as mesmas sejam mais superficiais. Além disso, é importante levar em consideração que a medição da temperatura no termograma, fica mais difícil neste tipo de fissuras por sua geometria desuniforme. Novamente se vê a necessidade de critérios mais específicos para análise dessa tipologia de fissuração.

Abril de 2016
ISSN 2448-1459




(a) (b)

Figura 6 – Região C: (a) Evolução de $T_D$ e $T_{ND}$; (b) Evolução de Delta-T

Pelos estudos efetuados, pode-se afirmar que a análise visual dos termogramas pode nos dar informações simples, as quais são aprofundadas pela análise quantitativa. Comparativamente as anomalias podem ser classificadas pelo Delta-T quanto a sua tipologia, e de uma forma preliminar, quanto a sua severidade. Na região A, com fissuras lineares observamos os maiores valores de Delta-T. Olhando-se os termogramas, observa-se que a região "mais quente" na verdade é uma faixa que acompanha a fissura. Isso nos permite pensar que possivelmente essa patologia tenha surgido como uma fissura inicial, e que com a evolução do tempo, pela ação da chuva e temperatura, tenha se propagado inclusive como falhas de aderência ao longo da fissura. Isso é corroborado pelos altos valores de Delta-T observados. Na região B, na fissura estudada nos pontos B1 e B2 se identifica já uma faixa de menor largura (em relação à região A), e com menores valores de Delta-T. Muito provavelmente, nesses casos, o dano é de menor ordem de grandeza em relação ao anterior.

Observando as fissuras ramificadas, as mesmas são nítidas nos termogramas. A fissura B3 mostrou um comportamento coerente em sua região de análise. Já as fissuras C1 e C2 não apresentaram significativas evoluções do Delta-T. Obviamente poderia se questionar sobre a possível superficialidade dessas fissuras. Todavia, parece evidente que outra forma de análise deva ser aplicada. Talvez uma definição do grau de ramificação das fissuras, ou o emprego de outros intrumentos, como por exemplo, as funções de contraste térmico [12][3][10] permitam uma análise mais conclusiva.

## 4. CONCLUSÕES

Do estudo efetuado, em que se buscou avaliar o comportamento da fissuração em fachada, com o emprego da termografia passiva quantitativa, pode se enumerar as seguintes conclusões principais:

- Quando se emprega a termografia passiva em campo é fundamental conhecer a evolução da temperatura do elemento objeto de estudo. Nesse caso a simulação higrotérmica é uma ferramenta de grande aplicabilidade.
- Os valores máximos de temperatura ocorreram próximos as 12:00 horas decaindo em sequência pela falta de incidência do sol. Assim, o melhor período para a inspeção termográfica corresponde ao período da manhã, em que foram registrados os maiores valores de Delta-T.
- As fissuras lineares nas regiões A e B apresentaram os maiores valores de Delta-T, possivelmente identificando degradações associadas a sua faixa circunvizinha.
- As fissuras ramificadas são difíceis de analisar quantitativamente, mas podem ser identificadas visualmentre nos maiores valores de Delta-T. São sugeridas outras abordagens, como as funções de contraste térmico para melhor entender e quantificar o grau de degradação dos elementos.

- As análises em campo são complexas, quer pela variabilidade da ação climática, quer pelas variações construtivas e de degradação dos elementos estudados. A inspeção termográfica é uma ferramenta auxiliar de grande potencial de aplicação, mas deve ser empregada com os cuidados adequados pelo termografista, tanto pelos cuidados na tomada das imagens, como na análise subsequente.

## 5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Laboratório de Ensaio de Materiais da Universidade de Brasília pela disponibilização dos equipamentos e apoio ao presente estudo.

## 6. REFERÊNCIAS

[1] Barreira, E,; de Freitas, V.P." Evaluation of building materials using infrared thermography". Constr Build Mater 2007;21:218–224.

[2] Bauer, E.; Castro, E.K.; Hildenberg, A.; Pavon, E. "Critérios para a aplicaçao da termografia de infravermelho passiva como tecnica auxiliar ao diagnóstico de patologias em fachadas de edifícios". Rev Politec (Instituto Politécnica da Bahia) 2014;26:266–277.

[3] Maldague X. Theory and Practice of Infrared Technology for Nondestructive Testing. Wiley. NY, USA: 2001.

[4] Paoletti, D.; Ambrosini, D. Sfarra, S.; Bisegna, F. "Preventive thermographic diagnosis of historical buildings for consolidation". J Cult Herit 2013;14:116–121.

[5] Bauer, E.; de Freitas, V.P.; Mustelier, N.; Barreira, E. "Infrared thermography – evaluation of the results reproducibility". Struct Surv 2015;31:181–193.

[6] De Freitas, S.S.; de Freitas, V.P.; Barreira, E. "Detection of façade plaster detachments using infrared thermography – A nondestructive technique". Constr Build Mater 2014;70:80–87.

[7] Edis,E,.;Flores-Colen, I.; de Brito, J. "Passive thermographic detection of moisture problems in façades with adhered ceramic cladding". Constr Build Mater 2014;51:187–197.

[8] ASTM E1862-97 (2010). Standard Test Methods for Measuring and Compensating for Reflected Temperature Using Infrared Imaging Radiometers. vol. 97. West Conshohocken, Pennsylvania, United States: 2010.

[9] ASTM 1933-99. Standard Test Methods for Measuring and Compensating for Emissivity Using Infrared. West Conshohocken, Pennsylvania, United States: 1999.

[10] Bauer E, Castro EK, Pavon E, Oliveira AHS. "Criteria for application and identification of anomalies on the facades of buildings with the use of passive infrared thermography". In: Freitas VP, editor. 1st Int. Symp. Build. Pathol., Porto, Portugal: 2015.

[11] Bauer E, Pavón E. "Termografia de infravermelho na identificação e avaliação de manifestações patológicas em edifícios". Concreto & Construções 2015:93–98.

[12] Vavilov V. "Noise-limited thermal/infrared nondestructive testing". NDT E Int 2014;61:16–23.