

POTENCIAL DA TERMOGRAFIA INFRAVERMELHA NA DETECÇÃO DE MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS OCULTAS OCACIONADAS PELA UMIDADE ACIDENTAL EM PAREDES DE ALVENARIAS CERÂMICAS COM REVESTIMENTO DE ARGAMASSA E PINTURA

Fernando Wulff Al Alam

Arquiteto e Urbanista, mestrando do Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo,
Universidade Federal de Pelotas. E-mail: <fernandowalam@hotmail.com>.

Francielli Priebbernow Pinz

Acadêmica em Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Pelotas.
E-mail: <franciellipinz@gmail.com>.

Ariela da Silva Torres

Doutora, Engenheira Civil, Profa. do Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo,
Universidade Federal de Pelotas. E-mail: <arielatorres@gmail.com>.

Charlei Marcelo Paliga

Doutor, Engenheiro Civil, Prof. da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo,
Universidade Federal de Pelotas. E-mail: <charlei.paliga@ufpel.edu.br>.

RESUMO

Atualmente, existem métodos que não danificam os elementos da construção ao serem aplicados, os chamados métodos não destrutivos. Estes métodos não necessitam extração de testemunhos ou qualquer outra danificação aos elementos construtivos e utilizam equipamentos com tecnologia para avaliar características das superfícies analisadas não visíveis ao olho humano. Dentre os métodos não destrutivos pode-se citar a esclerometria, o ultrassom e a termografia como os ensaios mais utilizados na avaliação da Patologia das Construções, sendo o último citado como o menos desenvolvido por pesquisadores brasileiros. Silva (2012) classifica o método da termografia como uma técnica simples e rápida de análise não destrutiva. Através da câmera termográfica é possível detectar diversos problemas como defeitos em isolamentos térmicos, fugas de ar, condições de funcionamento de equipamento de difícil acesso e umidade por infiltrações ou fugas de água. Neste trabalho fizeram-se simulações de condições reais de umidade accidental. Foram elaborados protótipos de diferentes conformações, revestidos por reboco argamassado e pintura com tinta à base d'água e inserida uma tubulação danificada em seu interior. Para verificação do potencial da termografia foram capturadas imagens de luz visível e termogramas de todos os protótipos sem água na canalização e, posterior ao procedimento, foi inserida água em todos os canos a fim de monitorar o comportamento dos elementos. Considerando os resultados dos quatro tipos de parede desenvolvidos, foi possível afirmar que o método da termografia apresenta grande potencial

para a análise de elementos ocultos causadores de manifestações patológicas. Analisando os protótipos de alvenaria de tijolos cerâmicos rebocados e pintados – sejam maciços ou furados – foi possível concluir que a termografia é um método capaz e eficaz na detecção de infiltrações nas edificações ainda no seu estado oculto, ou seja, sem alteração nas superfícies rebocadas e pintadas.

Palavras chave: Métodos não destrutivos. Termografia. Umidade accidental.

1 INTRODUÇÃO

A partir da metade do século XX, os processos construtivos sofreram diversas alterações. A máxima economia tornou-se obsessão pelos construtores e as obras começaram a ser conduzidas com velocidade cada vez maior e, como consequência, ocorreu à redução do controle de qualidade. Esta falta de controle aumenta a probabilidade de ocorrência de problemas nas edificações e, por isso, o conhecimento sobre Patologia torna-se indispensável para qualquer profissional da construção civil (TERRA, 2001).

O termo Patologia, vindo dos dicionários, é a parte da Medicina que estuda as doenças. Assim como o corpo humano, as edificações também apresentam doenças – chamadas manifestações patológicas – como fissuras, manchas, descolamentos, rupturas, deformações, etc. Por isso convencionou-se intitular de Patologia das Edificações o estudo destes efeitos (HELENE, 1988; VERÇOZA, 1991; PERES, 2001).

Dal Molin (1988) realizou um estudo, no estado do Rio Grande do Sul, para identificação das causas das manifestações patológicas em diversas fachadas, afim de classificá-las em grandes grupos para o desenvolvimento de novas e mais profundas pesquisas. A autora constatou um grande número de incidências relativas à fissuração, seguido de umidade e descolamentos.

A umidade é um grupo de extrema importância, pois gera inúmeras manifestações patológicas e danos as construções, além de ter um grau de dificuldade muito grande para identificar suas causas. Dentre as manifestações patológicas oriundas de umidades citamos:

- ♦ **Eflorescência:** são depósitos salinos – alcalinos e alcalinos terrosos – na superfície de alvenarias ou revestimentos, provenientes da migração de sais solúveis presentes nos materiais e componentes da alvenaria. São caracterizadas por manchas de umidade e pó branco sobre a superfície (CINCOTTO, 1988). Este fenômeno está diretamente ligado às propriedades de absorção e permeabilidade das argamassas. Este tipo de manifestação patológica apresenta vazios em

seu interior decorrentes da presença de água destinada a promover trabalhabilidade ao material e necessária às reações de hidratação do cimento. Nestes vazios, pode ocorrer o fluxo da água por pressão ou capilaridade, introduzindo substâncias agressivas presentes no substrato ou dissolver e transportar sais solúveis presentes no próprio material (BARROS et al., 1997);

- ♦ **Fungos:** são os principais agentes da degradação dos revestimentos superficiais nas fachadas e possuem grande adaptabilidade a meios com baixa umidade e altas variações de temperatura (UEMOTO, 1988). Quando formados em colônias, os fungos têm uma textura parecida com de uma esponja, de tonalidades escuras. Esta textura favorece a retenção de água e sua cor absorve o calor pela sua tonalidade escura, fatores que auxiliam a manutenção do ambiente adequado a seu crescimento como a umidade e temperaturas elevadas. Em relação à umidade, Guerra (2012, p. 92) afirma “a água é um elemento essencial para manutenção de qualquer forma de vida. Quando é absorvida e passa, então, a estar contida dentro dos poros dos materiais, manifesta-se como fenômeno de umidade”. Além de umidade e temperatura, as condições de substrato também influenciam no desenvolvimento dos fungos. Viitanen et al. (2010) afirmam que os nutrientes, o pH, permeabilidade à água, dentre outros aspectos relacionados ao substrato, são significativos para o crescimento destes organismos;
- ♦ **Descolamento com empolamento:** essa anomalia ocorre oriunda da presença de umidade que pode causar o esfarelamento da argamassa até o descolamento da superfície. O empolamento presente consiste na formação de bolhas originadas pela evaporação da água infiltrada nas paredes e que geralmente ocasiona o descolamento (PERES, 2004). A forma mais visível de identificar o empolamento no descolamento dá-se ao observar a desagregação do reboco com o emboço em forma de bolhas, cujos diâmetros aumentam progressivamente.

Cortizo (2007) afirma que a identificação visual das manifestações patológicas restringe as alternativas de correção e de minimização do problema, pois algumas anomalias estão presentes de forma latente na edificação. Logo, a necessidade de apoio através de métodos de pesquisa mais ágeis e completos faz-se imprescindível para o aprofundamento e aumento da assertividade dos estudos da Patologia das Construções a fim de garantir o sucesso ou a minimização do insucesso no diagnóstico.

No estudo da Patologia das Construções, técnicas não destrutivas têm-se mostrado bastante úteis na detecção e caracterização de problemas ocorridos nos materiais, elementos de construção e soluções estruturais, tornando-se importantes para o estudo das manifestações patológicas que as edificações apresentam nos dias de hoje.

Os ensaios categorizados por não destrutivos são aqueles que não causam danos algum ao objeto analisado, ou deixam pequenos danos possíveis de recuperação pós-ensaio, e não provocam a perda na capacidade resistente do elemento. Não há restrição da idade da edificação para esta modalidade de métodos. Eles podem ser empregados para levantamento e identificação das manifestações patológicas, monitoramento da sua evolução e instrumento para qualificar o diagnóstico das anomalias encontradas (EVANGELISTA, 2002).

Sahuinco (2011) afirma que os métodos de ensaios não destrutivos são utilizados para obter-se informações que possam contribuir no processo de tomada de decisão relativa às manifestações patológicas quando as mesmas não se apresentam deterioradas a luz visível, ou ainda, quando se mostra externa ou não esteja desempenhando seu papel estrutural satisfatoriamente. Sendo os mais utilizados o método da esclerometria, o método do ultrassom e a termografia.

Segundo Silva (2012), trata-se de uma técnica simples e consiste no princípio da capacidade de todos os materiais emitirem energia, sob a forma de calor, na zona de radiação infravermelha do espectro eletromagnético. Os detectores infravermelhos identificam a radiação e a transformam num sinal elétrico que é o responsável por gerar uma imagem térmica colorida que representa a distribuição das temperaturas superficiais do corpo, correspondendo a cada cor um determinado intervalo de temperatura.

A termografia tem grande valia para a detecção de problemas ocultos, ou seja, problemas que não podem ser percebidos apenas com análise

visual. Dentre as causas de manifestações patológicas destacam-se as umidades ocasionadas por vazamentos de tubulações – chamadas umidades acidentais. Estas umidades podem provocar sérios danos às edificações, e geralmente só são identificadas quando atingem o revestimento, ou seja, já estão em estado avançado. Neste contexto, prova-se a importância do desenvolvimento de metodologias que possibilitem o monitoramento do comportamento das canalizações prediais, para que as anomalias possam ser identificadas antes mesmo de danificarem os revestimentos.

Levando em consideração as colocações feitas, é pertinente afirmar a importância de estudos mais aprofundados sobre o método da termografia, a fim de viabilizar os potenciais do mesmo. Para que isto fosse feito buscando a maior aproximação possível com as situações reais de surgimento de manifestações patológicas, foram utilizados neste estudo, protótipos de alvenarias.

A partir do exposto, o objetivo deste trabalho é avaliar a potencialidade do uso da termografia na detecção das causas de manifestações patológicas associadas à umidade acidental em modelos de edificações que possuam paredes de alvenarias, com tijolos maciços e furados, e acabamento argamassado e pintado.

2 REVISÃO DE LITERATURA

Segundo Silva (2012), a termografia trata-se de uma técnica simples que consiste no princípio da capacidade de todos os materiais emitirem energia, sob a forma de calor, na zona de radiação infravermelha do espectro eletromagnético. Os detectores infravermelhos identificam a radiação e a transformam em um sinal elétrico. Este sinal, por sua vez, é o responsável por gerar uma imagem térmica colorida que representa a distribuição das temperaturas superficiais do corpo, sendo que cada cor corresponde a um determinado intervalo de temperatura.

Quando se utiliza a técnica da termografia para a análise qualitativa de fachadas de edificações, é feita uma leitura simples da imagem térmica, que leva em consideração apenas a diferença local da temperatura superficial, através da variação de cores registrada pelo aparelho, indicando assim a existência ou não de uma anomalia. Como ressaltado por Silva (2012), a análise qualitativa é dotada de uma relativa simplicidade, porém, salienta que é de “extrema importância que

quem efetua os ensaios e interpreta os resultados tenha alguma experiência, para saber qual o tipo de imagem que seria de esperar caso não existisse qualquer anomalia”. Neste contexto, podem ser citados os estudos de Cortizo (2007), Freitas et al. (2014) e Moresco et al. (2015) por terem característica qualitativa.

Já no caso da termografia quantitativa, é necessário registrar e introduzir uma série de parâmetros, tais como a temperatura ambiente, umidade relativa do ar, distância à superfície e emissividade, para que então, a análise da imagem possa quantificar as variações de temperatura superficial. Este tipo de abordagem requer um detalhamento mais específico das condições de ensaio se tornando, portanto, mais demorado (SILVA, 2012).

Por todo o mundo, já foram realizados ensaios comprovando a potencialidade do uso da termografia. Wild (2007), após breve revisão sobre os conceitos de radiação infravermelha e emissividade, aplicou a termografia em edifícios de diversas prefeituras de cidades da Alemanha como forma de experimentar o método na detecção de manifestações patológicas nas edificações e tubulações de piso e parede. Após a aplicação do método não destrutivo, concluiu através dos termogramas que a técnica aponta manifestações patológicas como manchas de umidade e sujidade, além de apontar a maior parte das canalizações de calefação das edificações.

Já no Brasil, Cortizo et al. (2008) aplicaram a termografia voltada ao diagnóstico de manifestações patológicas das edificações, e o objeto de estudo foi uma edificação do Patrimônio Histórico Nacional: a Capela São Sebastião de Águas Claras. Após o diagnóstico das anomalias através dos resultados termográficos, os autores concluíram que o ensaio não destrutivo é uma realidade e representa um salto qualitativo na preservação e conservação de bens imóveis, sejam elas com relevância cultural ou não.

Barreira et al. (2012) executaram diversos testes com o termovisor, desde a aplicação da metodologia no corpo humano até a utilização aplicada a modelos de concreto celular. Primeiramente testaram a termografia na sola do pé humano após o contato com diversos materiais (granito, cerâmica, concreto, dentre outros) por um e dois minutos. Por fim, verificou-se que a termocâmera seria capaz de captar diferenças de temperatura instantânea e com precisão. Após a submissão dos testes, os autores afirmaram que o

método tem precisão de variação de temperatura e a curto prazo. Ainda, aplicaram o método com valores distintos de emissividade. O objetivo do estudo foi verificar se este parâmetro seria capaz de alterar ou distorcer os resultados do imageamento. Como conclusão, os autores afirmaram que há diferença de imagem quando alterados os parâmetros de emissividade do aparelho, porém, as variações de temperatura da superfície analisada mantêm-se constantes. Por isso, concluem que a termografia pode ser um método eficaz para análises qualitativas dos objetos.

Moresco et al. (2015) testaram o método para detecção de manifestações patológicas em fachadas com revestimento argamassado e concluíram que o método possibilitou a detecção de áreas com as seguintes manifestações patológicas: fissuras, biodeterioração e manchas causadas por umidade. Dentre todos os fatores analisados, recomendam que se tenha cuidado com a incidência solar nos locais analisados, pois este pode alterar o comportamento das manifestações patológicas, porém sem influência na detecção das mesmas. Neste mesmo trabalho, os autores excluíram preocupações relacionadas ao vento, ângulo da visada e distanciamento do aparelho em relação às fachadas analisadas. Porém, deve-se ter cuidado com os parâmetros de emissividade do aparelho, fazendo com que seja necessária revisão sobre o que é emissividade e o conceito de radiação infravermelha.

3 METODOLOGIA

Para o desenvolvimento deste trabalho, identificou-se inicialmente a necessidade de simular condições reais de umidade acidental em um modelo de alvenaria. Andolfato (2002) descreve que um modelo é qualquer representação física de uma estrutura ou porção dela. O modelo é usualmente construído em escala reduzida e frequentemente representa uma parte de uma estrutura específica.

Foram elaborados protótipos de diferentes conformações, revestidos por reboco argamassado e pintura com tinta à base d'água. A escolha das características dos elementos deu-se em função de serem os tipos mais comuns de paredes encontradas no Brasil, de acordo com Costa (2013). As características das mesmas encontram-se na Tabela 1.

Tabela 1 - Protótipos construídos

	Espessura da parede	Foto	Tipo tijolo
Protótipo 1	24cm	Figura 1a	Maciço
Protótipo 2	14cm	Figura 1b	Maciço
Protótipo 3	19cm	Figura 2a	Furado
Protótipo 4	14cm	Figura 2b	Furado

Para construção dos protótipos 1, 2, 3 e 4 foram necessárias as etapas de assentamento dos tijolos, chapisco, reboco e pintura. Os materiais utilizados para assentamento dos tijolos, chapisco e pintura foram os mesmos para todos os protótipos, a fim de evitar distorção de resultados.

A coleta de dados foi realizada através de 12 medições, sendo que a primeira delas foi feita com os protótipos secos, antes da inserção da água no cano para o início do processo de avaliação, que está representada na Figura 1. Passados 10 minutos desta inserção, foi realizada a segunda medição, e em seguida as próximas 5 leituras, mantendo o intervalo de 10 minutos entre cada uma delas, até completar a primeira hora de ensaio. A partir daí, aumentou-se gradativamente o intervalo entre as medições, tendo sido realizadas respectivamente com 24 horas, 48 horas, 72 horas, 1 semana e 2 semanas após a aplicação da água.



Figura 1 - Inserção de água no protótipo de parede.



Figura 2 - Protótipo 1 seco.

Em cada uma das medições foi realizada uma fotografia de luz visível e uma imagem termográfica para análise do comportamento das temperaturas superficiais dos protótipos sujeitos à ação de umidade accidental.

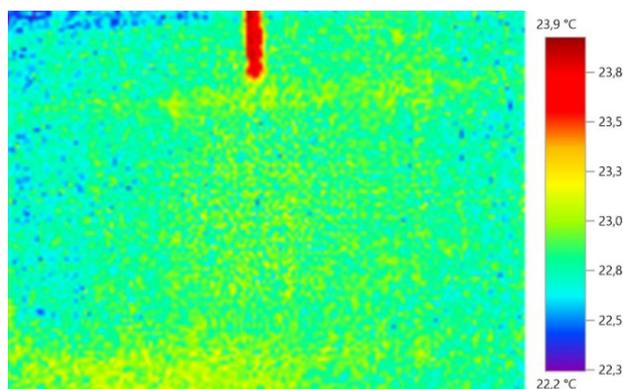
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A Figura 2 ilustra o protótipo 1 na primeira medição realizada, ou seja, em seu estado seco. O protótipo apresenta temperatura uniforme, em torno de 23,2°C, confirmando que está seco, sem infiltração de água. Para o melhor entendimento, em todas as figuras de fotografia a luz visível há um ponto vermelho indicando o local onde está localizada a perfuração do cano. Em todos os protótipos foram realizados este procedimento inicial, antes da colocação da água e em todos a temperatura se apresentou uniforme, confirmando o estado seco.

Após terem sido feitas as fotografias do protótipo seco, o cano perfurado instalado foi cheio d'água para que, a partir de então, o local fosse monitorado de acordo com o processo de medição definido e já exposto.

(a) Protótipo 1 - 24cm de espessura – tijolo maciço 5x9x19cm

Analisando primeiro protótipo, dez minutos após a inserção de água, a primeira imagem termográfica feita não apresentou sinais de infil-

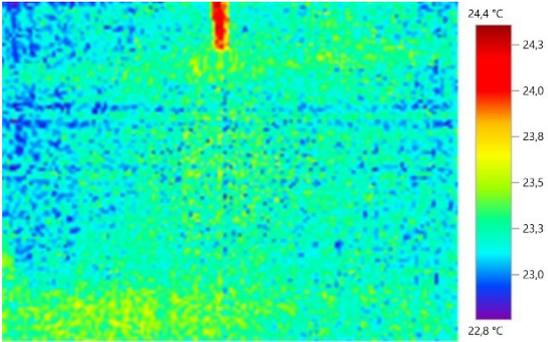
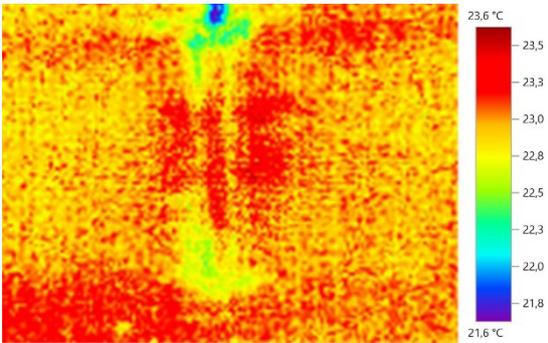
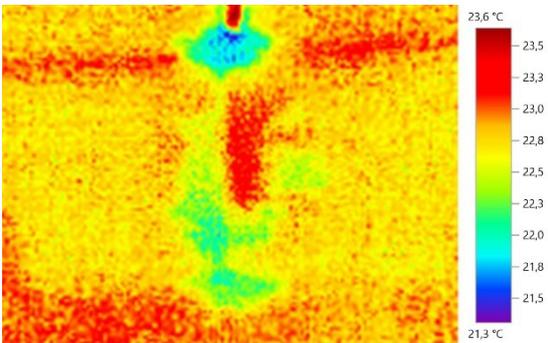


tração. Mantendo a sequência definida, as 2ª, 3ª e 4ª medições intermediárias, que foram feitas com intervalo de 10 min, não apresentaram diferença significativa nas imagens. A partir da 5ª medição, com 40 minutos de infiltração no protótipo, a imagem termográfica começa a sofrer alterações em relação à primeira medição. Enquanto isso, o tronco de parede não apresenta nenhuma manifestação patológica oriunda de umidade acidental detectável a luz visível. Estas e as demais observações podem ser verificadas na Tabela 2, que contém as imagens reais e termográficas de todas as medições feitas para o protótipo 1.

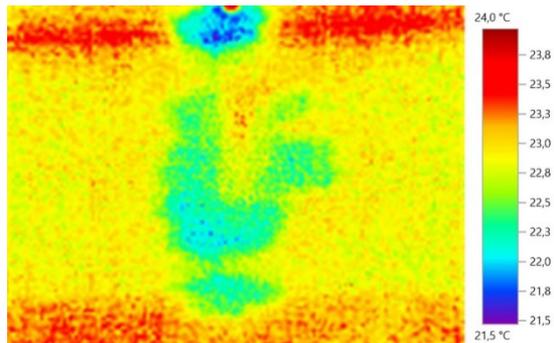
A 7ª medição, última da escalada de dez em dez minutos, e realizada 60 minutos depois da infiltração proposital, já apresenta uma evolu-

ção perceptível do comportamento do protótipo 1. Pode-se notar que a mancha azul aos 60 minutos de infiltração se apresenta um pouco maior e mais uniforme, ilustrando a evolução da água infiltrada no tronco de parede. É válido ressaltar também que, mesmo percebendo-se evolução da ação da água no modelo através da termografia, não há nenhum indício de tal comportamento quando a análise é feita apenas através da fotografia tradicional. Também vale a discussão de que a diferença de temperatura entre os materiais começa a se tornar visível e de fácil identificação da área onde o cano (material PVC) cheio de água está localizado.

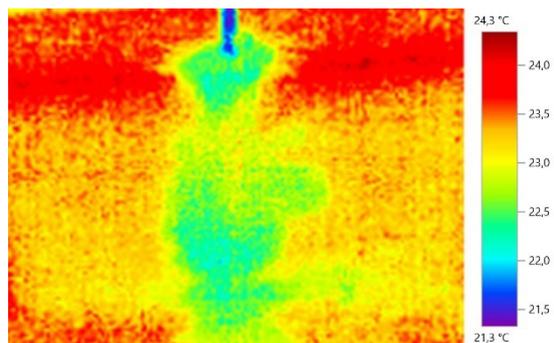
Tabela 2 – Leituras de todas as medições do protótipo 1

Tempo de leitura	Protótipo 1	
	Luz visível	Termografia
10 min		
20 min		
30 min		

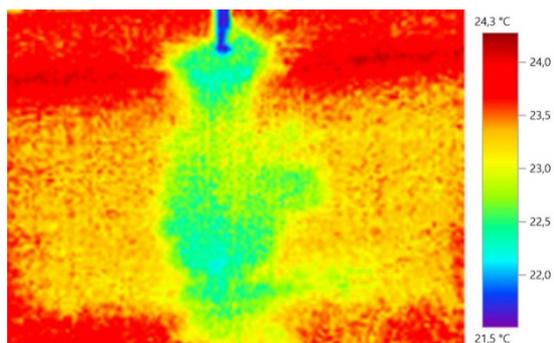
40 min



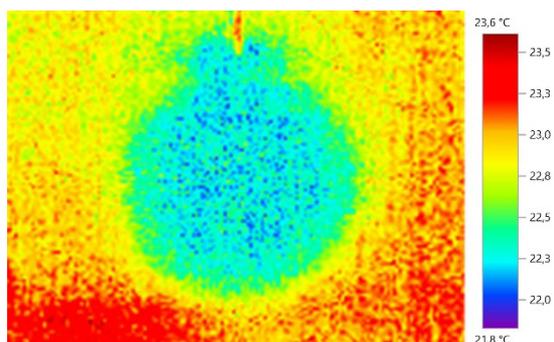
50 min



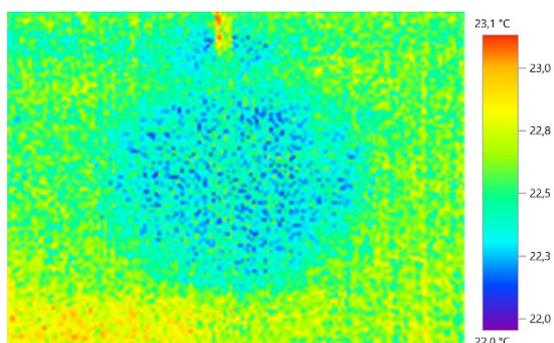
60 min

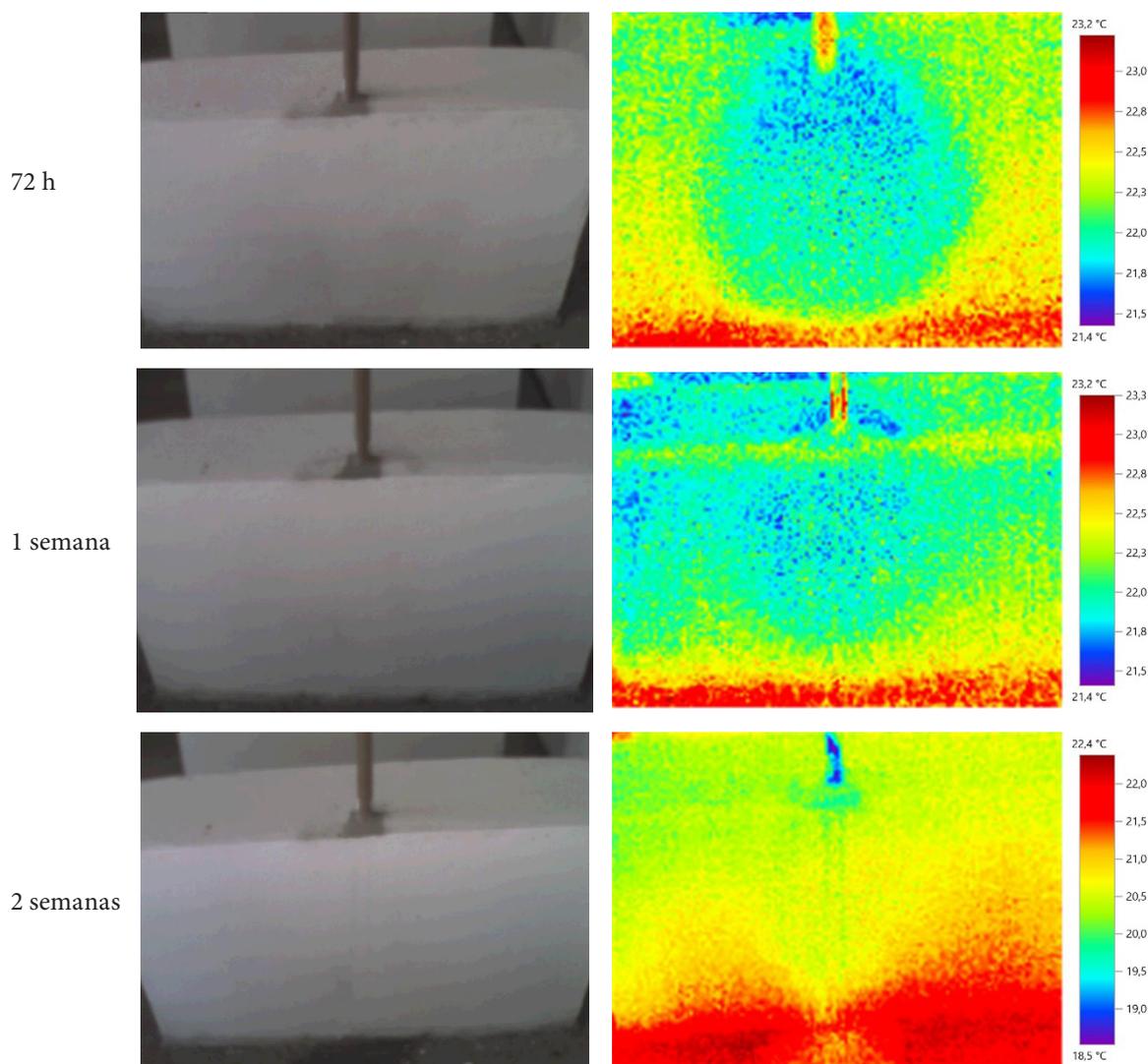


24 h



48 h



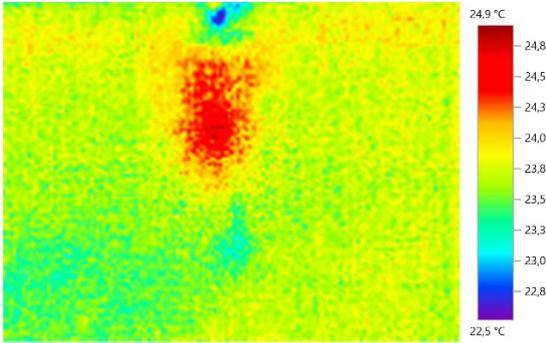
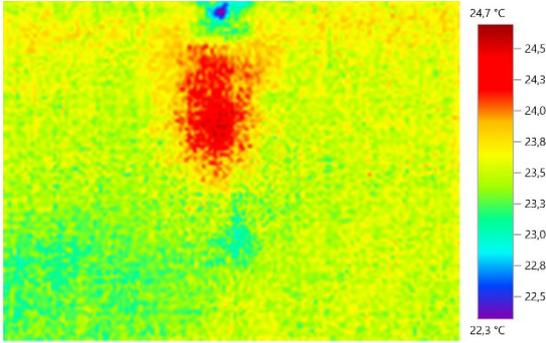
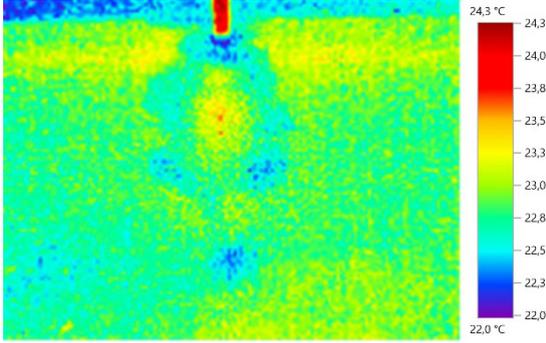
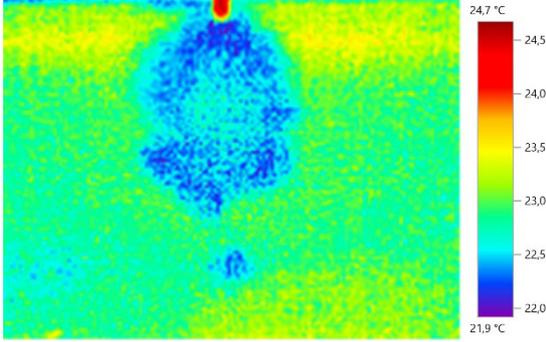


Na leitura das 24h de experimento já se pode identificar um bulbo que delimita a diferença de temperatura e de localização do furo no cano, enquanto que uma semana após o início, a variação de temperatura já está distribuída de forma mais uniforme. Após duas semanas do início do processo de medição, observou-se que o método da termografia foi capaz de identificar vazamentos ocultos em parede com esse tipo de conformação e composição. Desde o início da infiltração até o final do processo, nada pode-se observar na parede fotografada a luz visível, pois a pintura permaneceu da mesma forma, diferentemente das imagens termográficas que apresentaram os locais onde a umidade agiu no protótipo de forma oculta.

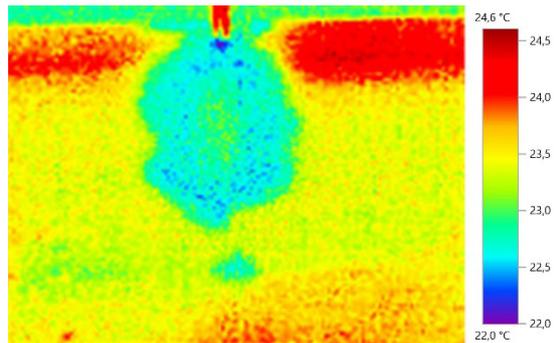
(b) Protótipo 2 - 14cm de espessura – tijolo maciço 5x9x19cm

A Tabela 3 apresenta todas as medições deste protótipo. Analisando primeiramente as seis primeiras medições, realizadas na primeira hora de infiltração, pode-se observar que diferentemente do protótipo 1, o protótipo 2 marcou uma elevação de temperatura já na primeira leitura de 10 min, onde marca um trecho do cano. Segundo Holst (2000), este fato ocorre, pois, a parede está em processo de aquecimento, fazendo com que áreas úmidas gerem imagens quentes e áreas secas com imagem de áreas frias. Isto acontece quando há um processo de aquecimento das paredes, porque a região com água se aquece mais rapidamente que a alvenaria seca.

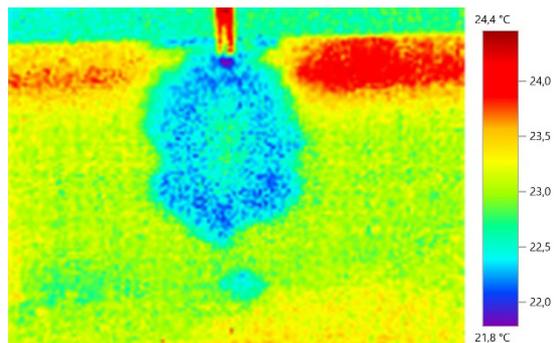
Tabela 3– Leituras completas do protótipo 2

Tempo de leitura	Protótipo 2	
	Luz visível	Termografia
10 min		
20 min		
30 min		
40 min		

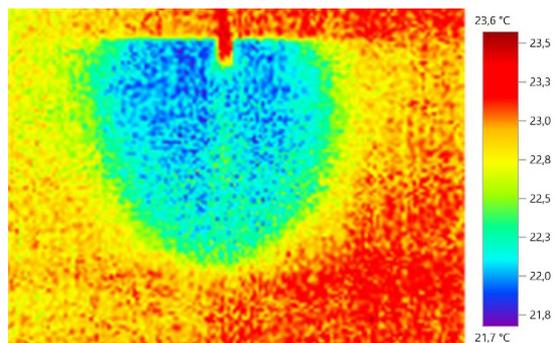
50 min



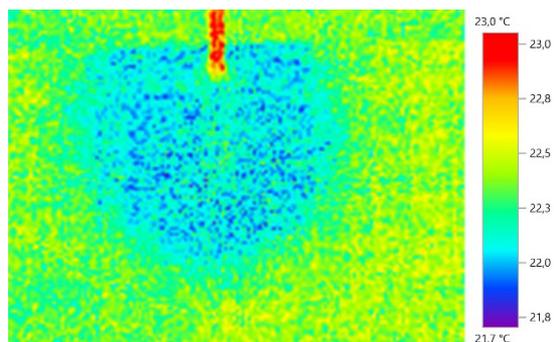
60 min



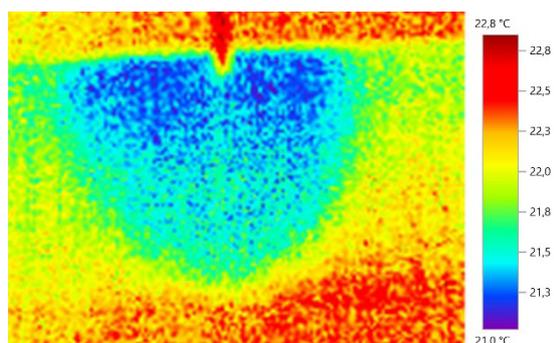
24 h

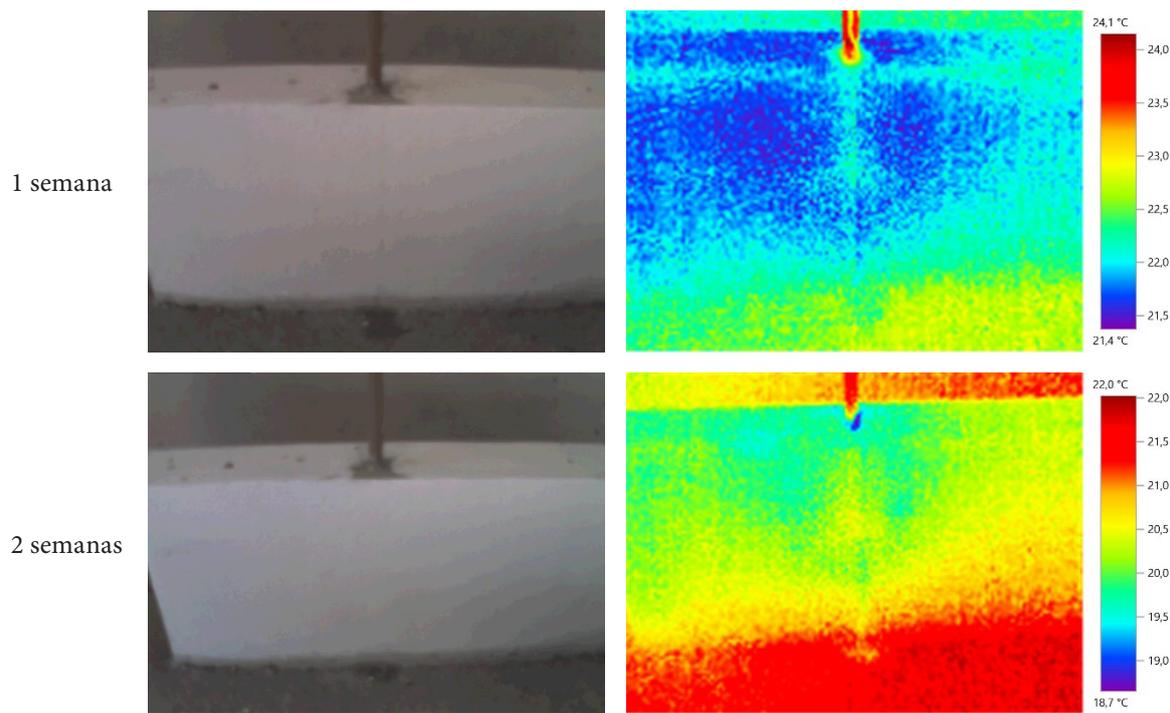


48 h



72 h





Ressalta-se que no protótipo 1 o bulbo que se forma surgiu após 24h, enquanto que no protótipo 2 já é possível identificá-lo na leitura de 40min.

Ainda na Tabela 3, pode-se observar analisando a imagem termográfica da medição feita transcorridas 24 horas da injeção de água, que a infiltração começa a evoluir, pois a imagem já registra um maior contraste de temperatura, em uma maior área do protótipo, se comparada com a medição de 1h. No entanto, esta evolução permanece oculta, sem que a parede apresente qualquer sinal de manifestação patológica. Observa-se que a mancha colorida se expandiu de forma uniforme pelo protótipo 2 e ao redor do local em que o cano foi danificado, já na medição de 48 horas, com aumento da área de temperaturas mais baixas. Nas leituras de 1 e 2 semanas o comportamento foi muito semelhante ao protótipo 1, sendo que em uma semana se generaliza a diferença de temperatura mais baixa e em 2 semanas a temperatura sobe.

Para esta conformação de parede, a termografia foi capaz de identificar elementos causadores de manifestações patológicas oriundas de umidade acidental antes das mesmas manifestarem-se causando danos nos elementos construtivos atingidos por vazamentos.

É importante ressaltar que os dois protótipos já analisados foram executados com o mesmo tijolo (maciço), no mesmo dia e as leituras nos mesmos horários e, enquanto o protótipo 1

acusou infiltração através da imagem termográfica passados 40 minutos, o protótipo 2 mostrou a ação da umidade na medição, aos 30 minutos. Enquanto o resultado da termografia não apresentou uniformidade para os dois protótipos, não se pode afirmar o mesmo ao se analisar as fotografias de luz visível. Nenhuma das duas paredes sofreu alteração em sua superfície em momento algum do processo de medição.

(c) Protótipo 3 - 19cm de espessura - tijolo 6 furos 9x14x19cm

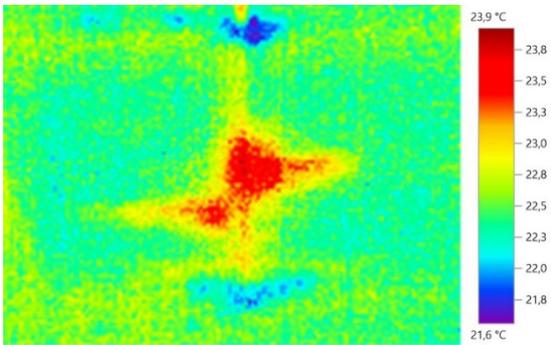
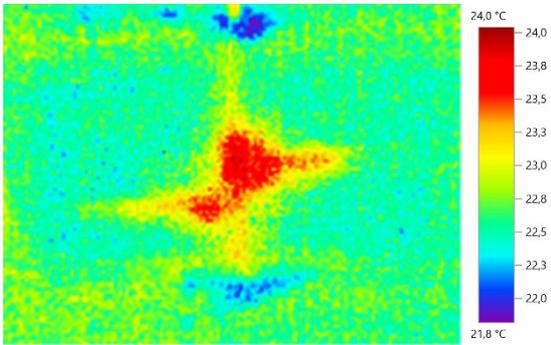
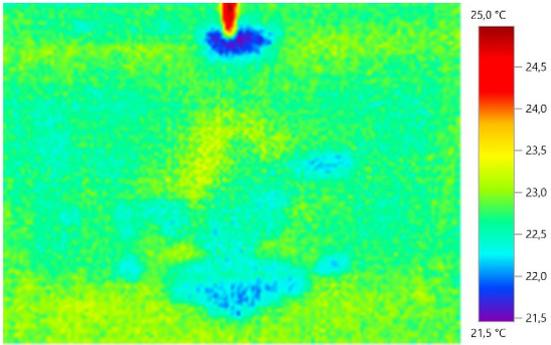
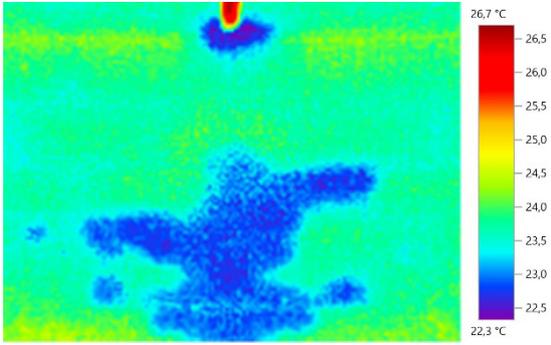
Na Tabela 4, a primeira medição, fica bastante clara a ação da infiltração sobre o protótipo 3, na imagem termográfica. No caso desta conformação de parede, com tijolo furado, o resultado aparece imediatamente. Com apenas 10 minutos de infiltração o registro termográfico já aponta claramente o local onde o cano foi perfurado e o caminho da água espalhando-se pela alvenaria. A diferença de temperatura entre a superfície da alvenaria e o local onde a água está agindo é de aproximadamente 2°C. Diferentemente do protótipo 2, que apresentou alteração na primeira leitura, na parte superior do cano, onde não foram realizadas perfurações que pudessem justificar a diferença na temperatura.

É possível observar que a leitura de 20 min manteve o comportamento da leitura de 10 min., porém aos 30 min há uma redução de temperatura, e aos 40 min uma uniformização desta redução e uma baixa ainda maior na região onde foi perfu-

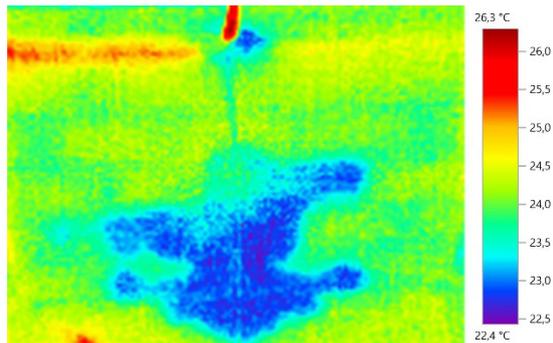
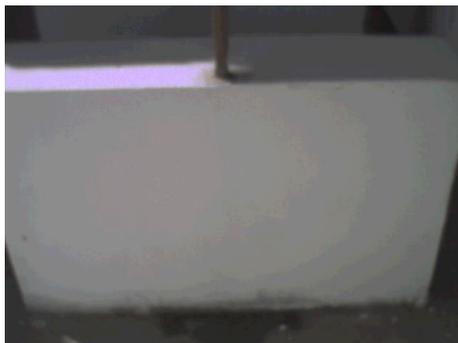
rado o cano. O padrão da leitura de 40 min manteve-se nas duas próximas leituras que ocorreram aos 50 e 60 minutos respectivamente, mas chama-se atenção que não houve a formação da figura tipo

bulbo ao redor do furo do cano. Esta mudança está associada, provavelmente, ao fato de tratar-se agora de uma parede de tijolos furados.

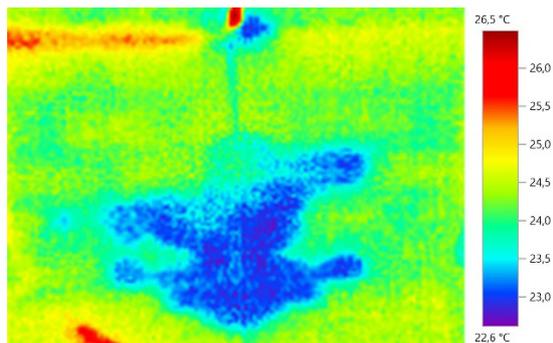
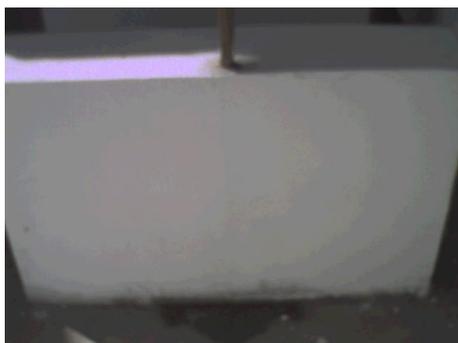
Tabela 4 - Leituras do protótipo 3

Tempo de leitura	Protótipo 3	
	Luz visível	Termografia
10 min		
20 min		
30 min		
40 min		

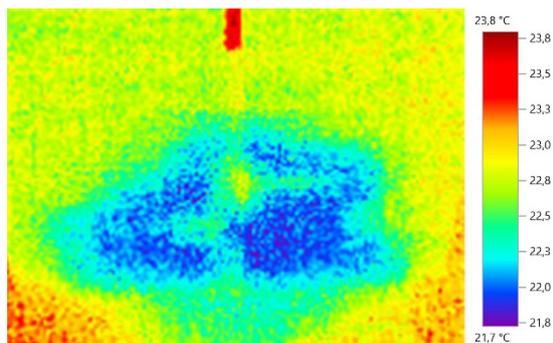
50 min



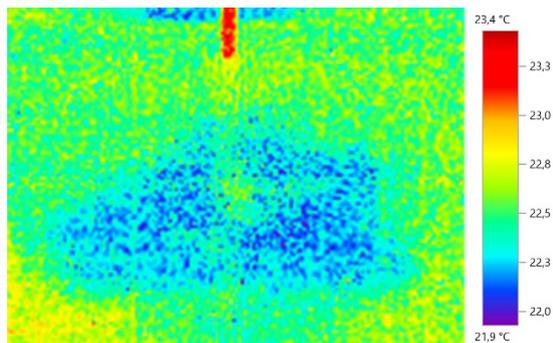
60 min



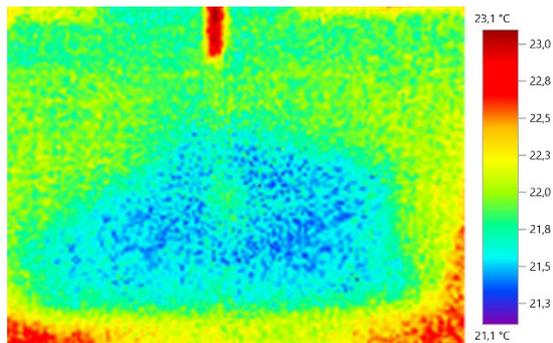
24 h

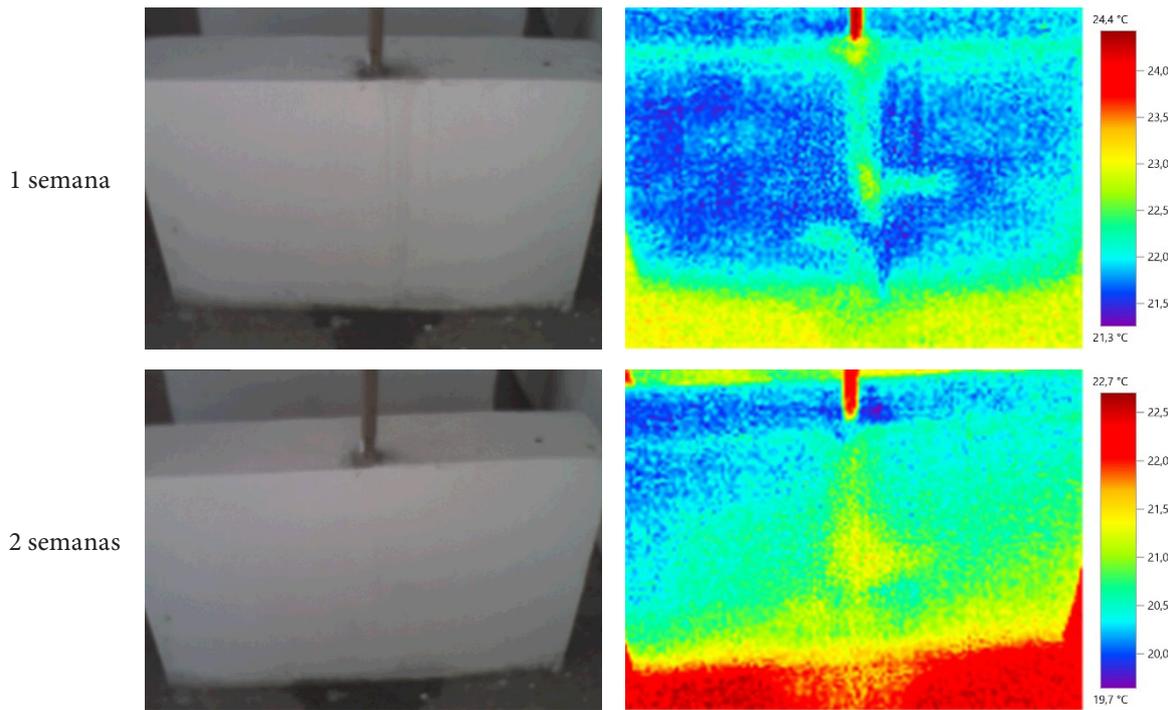


48 h



72 h





Passadas 24, 48 e 72 horas de exposição ao cano danificado, e com água, a mancha de umidade nas imagens termográficas seguiu apontando a presença de infiltração no mesmo local. Também é possível notar um aumento na temperatura do protótipo. Novamente na leitura de uma semana houve um espalhamento da mancha com temperatura mais baixa e em duas semanas o início do aumento da temperatura.

Da mesma forma que ocorreu com os outros protótipos, o método da termografia apresentou-se eficaz na detecção das causas de umidade accidental nas edificações e conseqüentemente o surgimento de manifestações patológicas. Durante todo o intervalo de tempo dos ensaios em nenhum momento a estética do tronco de parede sofreu alteração, seja de tonalidade de sua cor original (branca), surgimento de bolor ou descolamento da pintura. Enquanto que as imagens termográficas apontaram significativa diferença de temperatura.

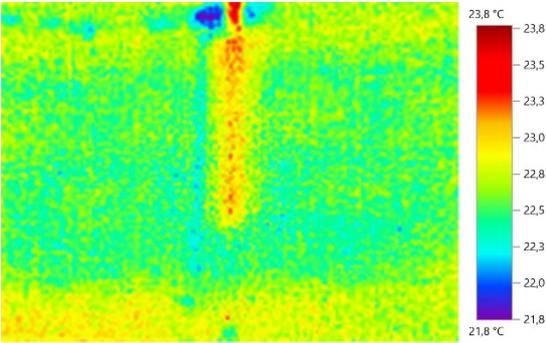
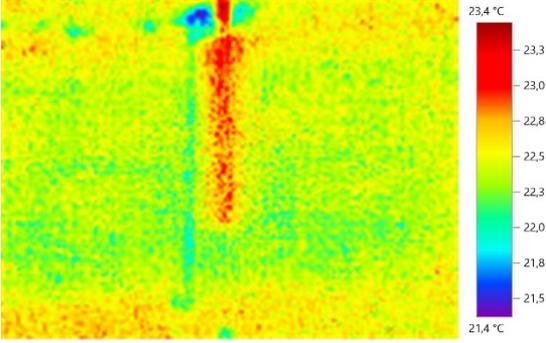
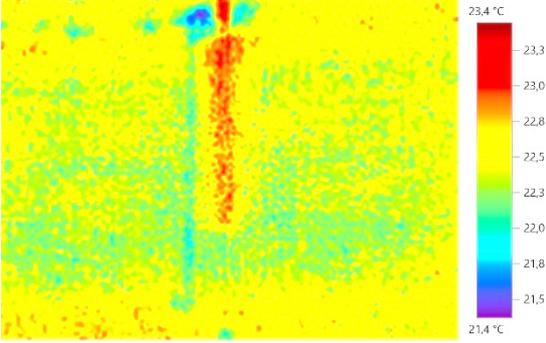
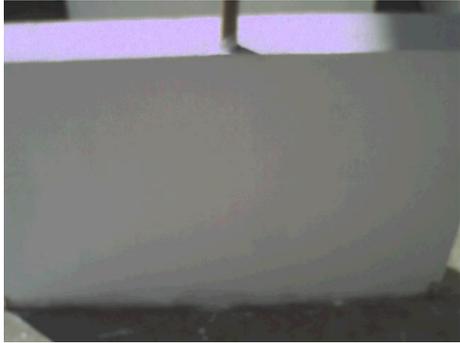
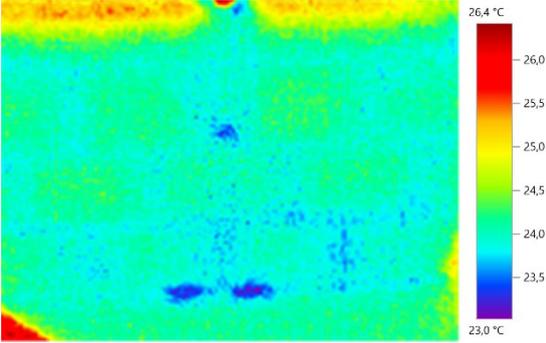
(d) Protótipo 4 - 14cm de espessura - tijolo 6 furos 9x14x19cm

A primeira medição com o cano cheio deu-se após 10 minutos da inserção de água e pode-se notar alterações na temperatura superficial do protótipo 4, conforme tabela 5. Nesta primeira leitura houve um leve aumento de temperatura (inferior ao que ocorreu no protótipo 2) porém marcou a região do cano. Nas leituras de 20 e 30 min iniciou-se um aumento da temperatura interna no

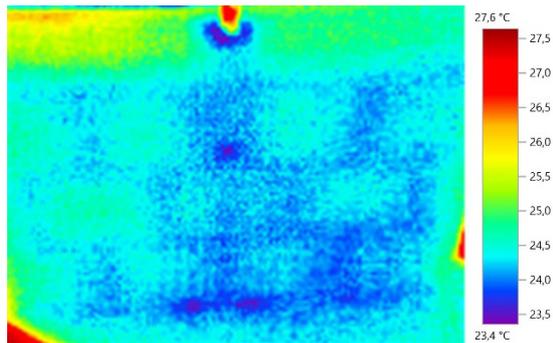
cano. Na fotografia com a câmera tradicional não há indícios de manifestações patológicas, a parede permanece idêntica ao seu estado original. Porém, na imagem termográfica a presença de água no cano já pode ser identificada. Tal identificação dá-se pelo cano com água apresentar variação de temperatura significativa para a escala de cores do aparelho – aproximadamente 1°C.

Nos primeiros 30 minutos de medições, os termogramas apresentam variação de temperatura entre o cano de PVC e a alvenaria cerâmica após a inserção de água na canalização. Já nas leituras de 40, 50 e 60 min, o comportamento do protótipo 4 foi bastante semelhante aos primeiros, mostrando uma redução significativa da temperatura em praticamente todo o protótipo, mas sem a marcação do local do vazamento.

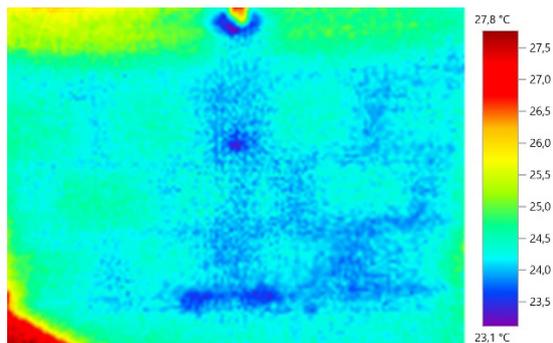
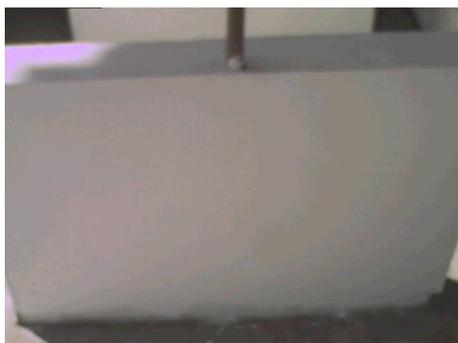
Tabela 5 - Leituras do protótipo 4 na primeira hora

Tempo de leitura	Protótipo 4	
	Luz visível	Termografia
10 min		
20 min		
30 min		
40 min		

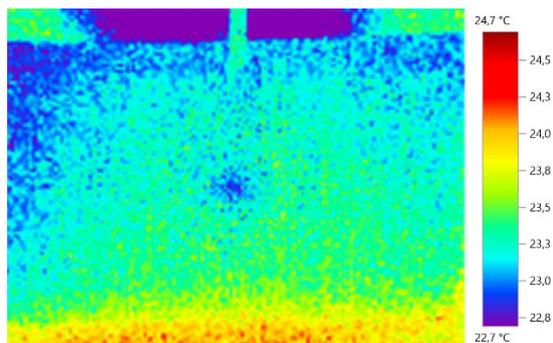
50 min



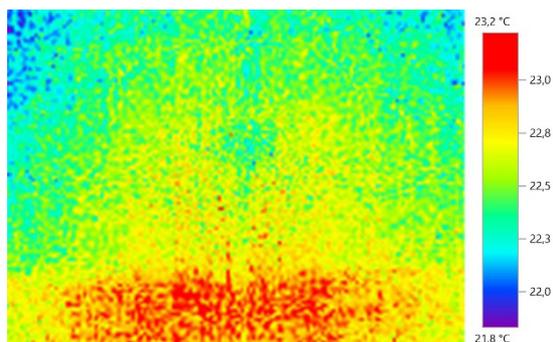
60 min



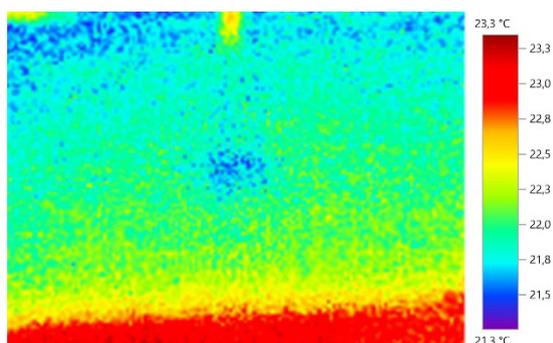
24 h

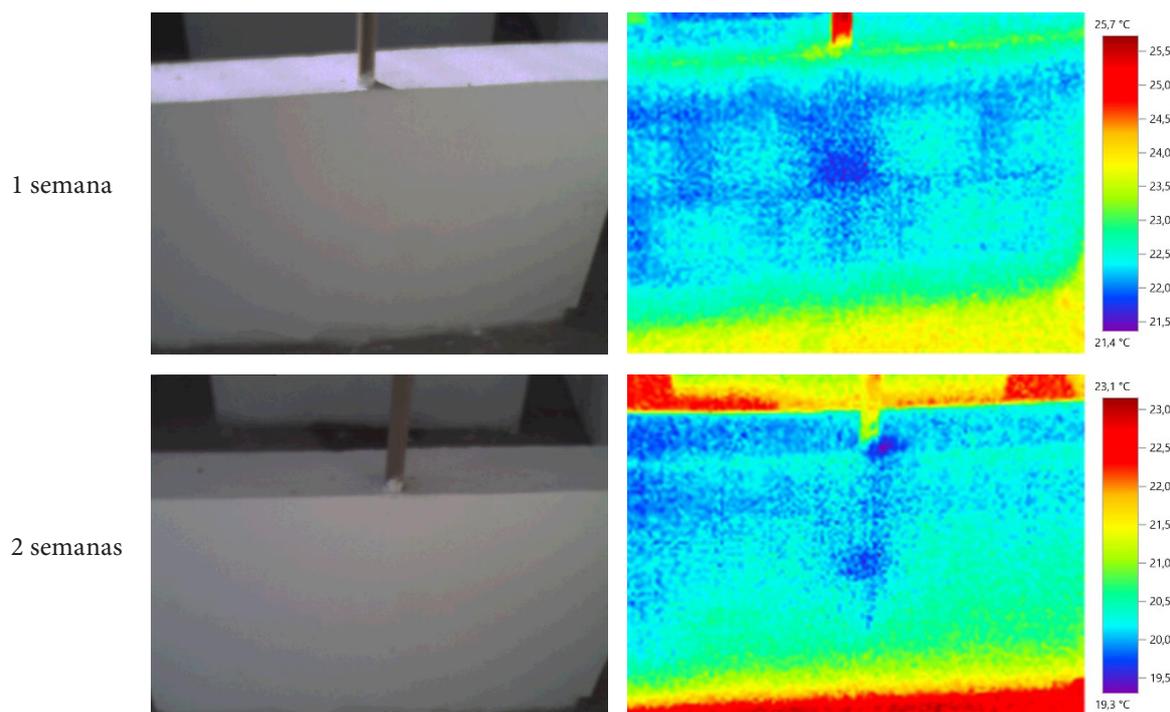


48 h



72 h





A sétima medição do protótipo 4, 24 horas depois do início do processo de medição, começou a apresentar alterações de comportamento devido à infiltração. Pode-se observar o local aproximado do vazamento de água através da imagem termográfica. Com uma e duas semanas o protótipo 4 submetido à infiltração constante apresentou mais alterações. Decorridas duas semanas de infiltração, foi possível observar que a mancha do local onde o cano foi perfurado começa a espalhar-se pelo modelo, porém sempre ficando claramente marcado o local da mesma.

Desde o início da infiltração até o final do processo (2 semanas), nada alterou no compor-

tamento da parede fotografada a luz visível, pois a pintura permaneceu intacta. Diferentemente do comportamento das imagens capturadas pela câmera termográfica, onde identificou-se primeiramente alteração de temperatura superficial com presença de água no encanamento e posteriormente o local onde a infiltração estava agindo juntamente da sua evolução constante.

Conforme os dados obtidos e as análises realizadas, pode-se concluir preliminarmente, para os protótipos verticais (Tabela 6):

Tabela 6 - Resultados preliminares dos protótipos verticais

Protótipo	Tamanho do tijolo	Tempo que termografia acusou infiltração	Tempo que fotografia acusou infiltração	Possível localizar furos pela termografia
1	Tijolo maciço 5x9x19cm	40 min		Sim
2	Tijolo maciço 5x9x19cm	40 min		Sim
3	Tijolo furado 6 furos 9x14x19cm	10 min	Não acusou	Sim
4	Tijolo furado 6 furos 9x14x19cm	10 min		Sim

Apesar de apresentarem-se em todos os protótipos, o surgimento das manchas de umidade não possui a mesma forma, tamanho ou diferença de temperatura entre si, mesmo tendo sido utilizados o mesmo cano, mesmo diâmetro do furo e posição nos protótipos. Tal fator reforça as afirmações de Verçoza (1991) de que a umidade deve ser uma das principais preocupações do campo

da Patologia das Construções exatamente por não apresentar regra de aparição e não ser só um elemento causador de uma manifestação patológica, mas também em virtude de agir como meio necessário para que grande parte dos problemas patológicos surjam.

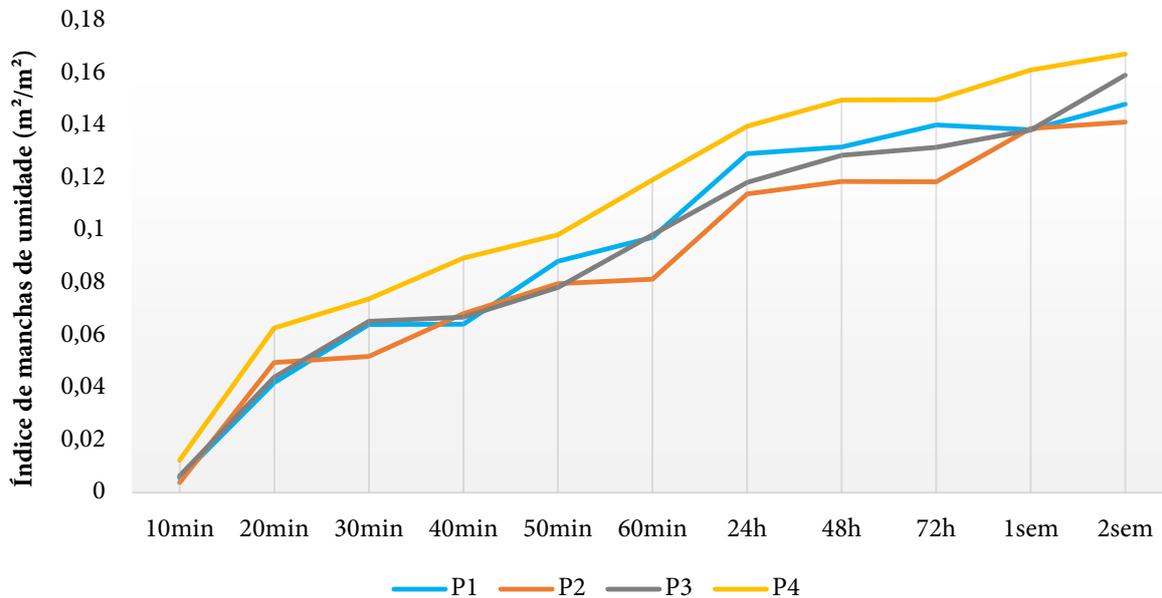
Posterior a análise individual das imagens termográficas dos protótipos em cada uma das

medições indicadas, fez-se necessário o levantamento das áreas afetadas pelas manchas de umidade com o intuito de se verificar relação entre a dimensão das mesmas em relação ao tempo decorrido de infiltração.

Para a elaboração do gráfico, foi medida a área (m²) da mancha de cada termograma e de-

pois dividida pela área total de cada protótipo. Os resultados apresentados abaixo tornam-se bastante conclusivos acerca da evolução da umidade accidental na experiência proposta, como mostrado na Figura 3.

Figura 3 - Índice de manchas de umidade



Além de já ter-se registrado que a termografia é capaz de identificar manifestações patológicas ocultas oriundas de umidade accidental, pode-se concluir que as manchas tendem a aumentar ao passar do tempo, comportamento, este, facilmente compreensível e esperado devido à natureza porosa dos materiais utilizados nos protótipos.

Pode-se observar também que entre os protótipos, o que apresentou o maior índice de umidade é o P4, que foi construído de tijolos furados e assentados a cutelo. O valor deste índice justifica-se pelo fato deste tipo de tijolo apresentar maior índice de absorção em relação ao tijolo maciço. Além disso, o fato de estarem assentados a cutelo e apresentarem maior área de cerâmica em relação ao P3 – constituído também de tijolo furado – reforça e justifica os resultados obtidos.

Considerando o traçado das retas e suas variações, o gráfico mostra que as manchas tendem a aumentar com maior significância nos primeiros dez minutos de infiltração. Ao longo do processo de medição, a evolução foi contínua para todos os casos, ocorrendo algumas pequenas variações. Porém, considerando a curva final, observa-se que as manchas de umidade resultantes da infiltração simulada tendem a crescer com o passar do tempo.

5 CONCLUSÕES

Considerando os resultados dos protótipos desenvolvidos, foi possível afirmar que o método da termografia apresenta grande potencial para a análise de elementos ocultos e causadores de manifestações patológicas.

Durante as duas semanas do processo de medição em que os protótipos foram submetidos à ação de umidade accidental através da infiltração projetada pelo furo na canalização inserida, não foi registrada nenhuma alteração visível nas fotografias convencionais. Não houve mancha de umidade, criação de bolor, descolamento da tinta ou do reboco e nenhum sinal sequer de início de manifestação patológica oriunda da infiltração nos protótipos.

No entanto, os resultados registrados pela termocâmera mostraram com clareza a ação da água nos protótipos desde as primeiras medições até o final do processo. Como pôde-se observar no gráfico dos índices de manchas de umidade, estas – de forma geral – aumentam com o passar do tempo, fazendo com que seja possível concluir que ao aplicar o método em situações reais, o tamanho da mancha de umidade captada pode ser relacionado com o tempo em que a mesma está agindo no elemento.

Com base nos resultados registrados e suas análises, faz-se possível a conclusão de que o método da termografia apresenta potencial para a área de manifestações patológicas nas edificações, concordando com estudos semelhantes realizados por outros pesquisadores, como Silva (2012) e Cortizo (2007).

BIBLIOGRAFIA

- ANDOLFATO, R. P. *Desenvolvimento das técnicas de produção de blocos de concreto para alvenaria estrutural na escala (1:4)*. Dissertação de mestrado em Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista, 2002.
- BARREIRA, E.; FREITAS, V. P.; DELGADO, J. M. P. Q.; RAMOS, N. M. M. *Thermography Applications in the Study of Buildings Hygrothermal-Behaviour*. LFC – Building Physics Laboratory, Civil Engineering Department, Faculty of Engineering, University of Porto, 8. 171-182. Portugal, 2012.
- BARROS, M. M. B.; TANIGUTI, E. K.; RUIZ, L. B.; SABBATINI, F. H. *Tecnologia construtivaracionalizada para produção de revestimentos cerâmicos verticais*. Notas de aula. São Paulo: USP, 1997. Disponível em: <<http://pcc2436.pcc.usp.br/Textostecnicos/patologia/ApostilaPatologiaPC-C436ano2000.pdf>>. Acesso em: 28 nov. 2014.
- CINCOTTO, M. A. *Patologia das argamassas de revestimento: análise e recomendações*. In: 1º Simpósio de Desempenho de Materiais e Componentes de Construção Civil. Florianópolis, 1988.
- CORTIZO, E. C. *Avaliação da técnica da termografia infravermelha para identificação de estruturas ocultas e diagnóstico de anomalias em edificações: ênfase em edificações do patrimônio histórico*. Tese de Doutorado (Faculdade de Engenharia Mecânica), Universidade Federal de Minas Gerais, 2007.
- CORTIZO, E. C.; BARBOSA, M. P.; SOUZA, L. A. C. Estado da Arte da Termografia. *Revista Ambiente Construído*. v. 2, n. 2, p. 158-193, Belo Horizonte, 2008.
- COSTA, P. L. d'A. *Patologias no processo executivo de revestimentos de fachada de edifícios*. Trabalho de Conclusão de Curso. Escola Politécnica. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2013.
- DAL MOLIN, D. C. C. *Fissuras em estruturas de concreto armado: análise das manifestações típicas e levantamento de casos ocorridos no Estado do Rio Grande do Sul*. Dissertação de mestrado em Engenharia. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1988.
- EVANGELISTA, A. C. J. *Avaliação da resistência do concreto usando diferentes ensaios não destrutivos*. Tese de Doutorado em Engenharia Civil. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2002.
- FREITAS, J. G., CARASEK, H., CASCUDO, O. Utilização de termografia infravermelha para avaliação de fissuras em fachadas com revestimento de argamassa e pintura. *Revista Ambiente Construído*. v. 14, n. 1, p. 57-73, Porto Alegre, 2014.
- GUERRA, F. L. *Biodeterioração de conjuntos histórico do século XIX em Pelotas/RS: fungos filamentosos*. Dissertação de mestrado em Arquitetura e Urbanismo. Faculdade de Arquitetura e Urbanismo. Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Pelotas. Pelotas, 2012.
- HELENE, P. R. L. *Manual para reparo, reforço e proteção de estruturas de concreto*. São Paulo: Pini, 1988.
- HOLST, Gerald C. *Common Sense approach to thermalimaging*. Winter Park (FL): JCD Publishing, 2000. 377p.
- MORESCO, J., BORDIN, F., VERONEZ, M. R., KULAKOWSKI, M. P. Termografia infravermelha na detecção de manifestações patológicas em fachadas com revestimento argamassado. In: XI CONGRESSO INTERNACIONAL SOBRE PATOLOGIA E RECUPERAÇÃO DE ESTRUTURAS, 2015, São Leopoldo, *Anais...* São Leopoldo: ALCONPAT, 2015.
- PERES, R. M. *Levantamento e identificação de manifestações patológicas em prédio histórico – um estudo de caso*. Dissertação de mestrado em Engenharia Civil. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.
- PERES, R. M. *Manifestações patológicas em edificações*. Pelotas: Editora da Universidade Federal de Pelotas, 2004. 87p.
- SAHUINCO, M. H. C. *Utilização de métodos não destrutivos e semi-destrutivos na avaliação de pontes de concreto*. Dissertação de mestrado em Engenharia Civil. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.
- SILVA, D. D. S. *Diagnóstico de patologias em fachadas utilizando termografia*. Dissertação de mestrado em Engenharia Civil. Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto, Porto, 2012.
- TERRA, R. C. *Levantamento de manifestações patológicas em revestimentos de fachadas das edificações da cidade de Pelotas*. Dissertação de mestrado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.

UEMOTO, K. L. Patologia: danos causados por eflorescência. In: TECNOLOGIA em edificações. São Paulo: IPT; Pini, 1988.

VERÇOZA, E. J. *Patologia das Edificações*. Porto Alegre, Editora Sagra, 1991. 172p.

VIITANEN, H.; VINHA, J.; SALMINEN, K.; OJANEN, T.; PEUHKURI, R.; PAAJANEN, L.; LÄHDESMÄKI, K. Moisture and bio-deterioration risk of building materials and structures. *Journal of Building Physics*, v. 33, n. 3, 2010.

WILD, Walter. Application of infrared thermography in civil engineering. *Proc. Estonian Acad. Sci. Eng.*, v. 13, n. 4, p. 436-437, 2007. Disponível em: <http://www.kirj.ee/public/Engineering/2007/issue_4/eng-2007-4-15.pdf>. Acesso em: 02 fev. 2016.

Infrared thermography potential in detection of hidden pathological manifestations occasioned by accidental moisture in mortar and painted ceramic masonry walls

ABSTRACT

Currently, there are methods that do not damage the construction elements to be applied, the so-called non-destructive methods. These methods do not require extraction of testimonies or any other damage to the constructive elements and use equipment to evaluate characteristics of the analyzed areas not visible to the human eye. Among the non-destructive methods exists concrete testing hammer, the ultrasound and thermography as the most used in the assessment of the condition of buildings, being the last cited as the least developed by Brazilian researchers. Silva (2012) classifies the method of thermography as a simple and fast technique of non-destructive analysis. Through the thermographic camera is possible to detect different problems such as thermal insulation defects, air leaks, equipment operating conditions that are difficult to access and humidity. Simulations of real conditions of accidental moisture were made in this work. Different prototypes were made: plaster with mortar and painted with ink water base and inserted a pipe damaged. To check the potential of thermography were captured visible light images and thermograms of all prototypes without water in the conduit and, subsequent to the procedure; water was included in all the pipes in order to monitor the behavior of the elements. Considering the results of the four types of wall developed, it was possible to say that the method of thermography shows great potential for the causing hidden elements of pathological manifestations analysis. Analyzing the masonry prototype plastered and painted ceramic bricks - are solid or stuck - it was concluded that thermography is a capable and effective method for the detection of infiltrations in buildings still in its hidden state without changing the plastered surfaces and painted.

Keywords: Non-destructive methods. Thermography. Accidental moisture.