

ESTUDO DE PARÂMETROS RELEVANTES NA OBTENÇÃO DE TERMOGRAMAS PARA DIAGNÓSTICO DE PROBLEMAS PATOLÓGICOS

Study of relevant parameters in obtaining thermograms for diagnosis of pathological problems

Camila Akemi Sakamoto¹, Cesar Fabiano Fioriti²

Recebido em 29 de dezembro de 2016; recebido para revisão em 06 de março de 2017; aceito em 03 de abril de 2017; disponível on-line em 15 de abril de 2017.



PALAVRAS CHAVE:

Manifestações
patológicas;
Termografia;
Infravermelhos;
Parâmetros relevantes.

KEYWORDS:

Pathological
manifestation;
Thermography;
Infrareds;
Relevant parameters.

RESUMO: Esse trabalho trata do estudo de sensibilidade de um equipamento de termografia, em que foram avaliados os seguintes parâmetros relevantes na obtenção de termogramas: (1) influência das reflexões (superfície refletante e obstáculos), (2) influência do gradiente de temperatura, (3) influência da cor (temperatura ambiente e radiação solar) e (4) influência da distância da câmera infravermelha ao objeto. Dessa maneira, de caráter experimental, foi realizada em ambiente de laboratório uma análise e interpretação da avaliação dos parâmetros relevantes na obtenção de termogramas, sendo que foi possível avaliar as potencialidades da termografia infravermelha conseguindo com os diferentes ensaios a determinação da temperatura superficial dos materiais e componentes, bem como pode ser verificado a importância do conhecimento da sensibilidade das técnicas de ensaio utilizadas em medições para a avaliação do desempenho físico de corpos de prova. Por meio dos parâmetros estudados foi possível concluir que há muitas influências, como por exemplo, a refletividade e a atenuação atmosférica, que podem produzir uma análise incorreta ou até mesmo incapacitar a visualização de algum problema patológico presente. É preciso então, além de conhecimento do assunto, ter atenção a todos os fatores externos de forma a serem detectados e eliminados, ou ainda levados em consideração na hora da execução da técnica da termografia infravermelha para que sejam minimizados.

ABSTRACT: This paper presents a sensitivity study of a thermography equipment, in which evaluated the following parameters relevant to the achievement of thermographs: (1) influence of reflections (reflectant surface and obstacles), (2) influence of temperature gradient, (3) influence of color (ambient temperature and solar radiation) and (4) influence of distance from infrared camera to the object. In this way, a laboratory analysis and interpretation of the evaluation of the relevant parameters in the obtaining of thermograms was carried out in a laboratory environment, and it was possible to evaluate the potentialities of the infrared thermography, obtaining with the different tests the determination of the surface temperature of the materials and Components as well as the importance of knowledge of the sensitivity of the test techniques used in measurements for the evaluation of the physical performance of test specimens can be verified. Through the studied parameters it was possible to conclude that there are many influences, such as reflectivity and atmospheric attenuation, which can produce an incorrect analysis or even incapacitate the visualization of some present pathological problem. It is necessary, in addition to knowledge of the subject, to pay attention to all external factors in order to be detected and eliminated, or even taken into account when performing the technique of infrared thermography so that they are minimized.

* Contato com os autores:

¹e-mail: sakamotocamila@hotmail.com (C. A. Sakamoto)

Graduada em Arquitetura e Urbanismo, Bolsista FAPESP, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Presidente Prudente, Universidade Estadual Paulista (UNESP).

²e-mail: fioriti@fct.unesp.br (C. F. Fioriti)

Doutor, Professor Adjunto, Faculdade de Ciências e Tecnologia - Presidente Prudente, Universidade Estadual Paulista (UNESP).

1. INTRODUÇÃO

O conhecimento científico evoluiu de uma forma muito rápida e os equipamentos termográficos têm acompanhado esta evolução no que diz respeito aos procedimentos adotados para os ensaios. As câmaras termográficas têm um formato semelhante a câmaras de vídeo ou a câmaras fotográficas, diferindo destas apenas porque operam na banda espectral de infravermelhos. São de fácil utilização e possibilita uma medição em tempo real, permitindo localizar o problema e guardar uma imagem para fornecer um histórico completo.

As câmaras termográficas captam imagens por infravermelhos obtendo padrões de calor ou mudanças de temperatura em objetos. Permitem ao utilizador efetuar medidas e análise sobre a própria imagem, sendo possível detectar falhas imperceptíveis ao olho humano e monitorizar a progressão das variações de temperaturas no objeto em estudo (BARREIRA, 2007).

O processo de utilização destes equipamentos consiste em recolher a radiação da superfície de um objeto, que será convertida numa imagem que posteriormente pode ser tratada num computador.

As câmaras termográficas são capazes de detectar variações de temperatura numa superfície tanto qualitativamente como quantitativamente, dependendo do tipo de análise desejado (HART, 1991).

A termografia qualitativa passa por uma análise simples da imagem térmica, registrando apenas diferença local da temperatura superficial na superfície, através da diferença de cores registrada, indicando assim a existência de uma anomalia.

Apesar da simplicidade aparente, 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.

Para evitar erros de interpretação é aconselhável que, sempre que possível, sejam efetuados termogramas de referência de zonas não afetadas do objeto em estudo ou de outro

semelhante. Desde que as condições de ensaio e da envolvente sejam idênticas, a avaliação da imagem térmica da anomalia pode ser feita por comparação com o termograma de referência (PRAKASH RAO, 2008; HART, 1991).

Na termografia quantitativa, a análise da imagem térmica passa por quantificar as variações de temperatura superficial existentes que poderão indicar uma anomalia na superfície, sendo necessário registrar e introduzir uma série de parâmetros, tais como, a temperatura ambiente, umidade relativa, distância à superfície e emissividade. Como se verifica este tipo de abordagem requer mais detalhe e condições de ensaio mais rígidas, sendo por isso mais demorado. No entanto, como técnica de medição é mais eficaz que a abordagem qualitativa, uma vez que permite medir temperaturas.

Geralmente os resultados da análise quantitativa não são avaliados in situ, as imagens são gravadas e posteriormente tratadas em um computador, e só depois poderá ser interpretada.

2. BREVE RELATO SOBRE ERROS E INCERTEZAS NA MEDIÇÃO DE TEMPERATURAS ATRAVÉS DA TERMOGRAFIA

Existem diversos fatores que podem distorcer o resultado na medição de temperatura por infravermelhos, sendo que os mesmos serão relatados na sequência do texto.

Ajuste incorreto de emissividade, pois conforme Barreira (2004) a emissividade de um material varia com o comprimento de onda da radiação, com a temperatura superficial do material, com o ângulo de observação e com a superfície do objeto.

Imagem térmica desfocada, que de acordo com Avdelidis e Moropoulou (2003) é importante uma focagem correta no início da medição, uma vez que esta característica não pode ser alterada posteriormente. É necessário ter em atenção se a leitura está a ser feita com uma lente adequada, pois uma lente inadequada não permitirá uma focagem com qualidade.

Distância de medição muito longa ou

muito curta, sendo que segundo Chew (1998) a resolução dos termogramas diminui com o afastamento entre o equipamento e o objeto, logo deve manter-se a menor distância de medição possível em relação ao objeto a medir. A cada ponto do termograma corresponde uma área específica da superfície do objeto. Com o aumento da distância, cada ponto corresponde a uma área maior dessa superfície e a radiação captada pelo equipamento passa a ser uma média da radiação emitida, perdendo-se o detalhe.

Efeito da sujidade superficial, que para Silva (2012) a temperatura medida pelo equipamento de infravermelho é sempre a temperatura da superfície. Se o objeto a medir apresentar alguma sujidade na sua superfície as temperaturas obtidas podem estar relacionadas com a sujidade e não com a temperatura superficial real do objeto. Para as variações de temperatura efetuadas nos ensaios não é possível aplicar estas conclusões.

Efeito de fontes externas de radiação (exemplo luzes, aquecedores, etc.), sendo que a gravidade das interferências causadas por estas fontes depende do seu poder radiativo e da reflexão da superfície em estudo. A radiação emitida por pessoas geralmente não constitui problema, ao contrário dos radiadores, das luzes e de máquinas, que devem ser desligados antes do início do ensaio ou então têm que ser tidos em consideração na análise de resultados (GRINZATO et al., 1998).

Refletividade dos materiais, na qual Barreira (2004) estabelece que a imagem do objeto apresentada pelo equipamento de infravermelhos resulta da soma da radiação proveniente da emissão do próprio objeto com a reflexão da radiação emitida por outros objetos, nas bandas espectrais estabelecidas. Por esse motivo, para uma análise quantitativa de temperatura é necessário avaliar a reflexão pelo objeto ou limitar a influência de fontes externas de radiação.

Atenuação atmosférica, pois conforme Silva (2012) a presença da atmosfera entre a fonte emissora e o sensor origina perturbações na medição. Além da atenuação resultante da propagação na atmosfera, os gradientes térmicos e

a turbulência criam heterogeneidades no índice de refração do ar, que provocam a degradação da qualidade da imagem. A atenuação atmosférica é, contudo, a que causa maiores problemas durante a medição porque acarreta um erro sistemático, que é função da gama espectral utilizada, da distância de observação e das condições meteorológicas. Por este motivo, as medições efetuadas a distâncias superiores a 10 metros devem ser corrigidas.

O vento, que de acordo com Chew (1998) o vento tem uma velocidade significativa que afeta as imagens térmicas, não sendo necessário que o ar atravesse completamente a envolvente do edifício para afetar as temperaturas superficiais, uma vez que o fluxo de ar na superfície exterior da fachada reduz a sua resistência térmica superficial, arrefecendo-a. Este efeito é diferencial, uma vez que o arrefecimento é maior junto aos cantos.

Precipitação e umidade, pois segundo ainda Chew (1998) a água, gelo e neve tem alta emissividade e são impermeáveis à radiação infravermelha. A umidade resultante das condensações superficiais também tem um efeito considerável na temperatura do elemento em estudo, alterando a transmissão local de calor e provocando o arrefecimento por evaporação. Este fenómeno torna-se mais grave em zonas onde existam efeitos de construção, tais como pontes térmicas ou falta de isolamento, sendo essencial ter em conta a sua existência numa análise posterior.

A poluição do ar possui materiais suspensos no ar, como poeira, fuligem e fumo, têm elevada emissividade e são maus transmissores de radiação infravermelha, podendo interferir na medição (SILVA, 2012).

Com relação à luz solar, para Labat et al. (2011) trata-se de uma fonte de calor estranha, e talvez a mais relevante proveniente do exterior. Em dias limpos, o calor irradiado pelo sol para a fachada do edifício encobre completamente os resultados das transferências de calor através da envolvente. A informação obtida pelo interior também pode ser alterada, não só devido ao aquecimento da fachada exterior, que altera o fluxo normal de calor do interior para o exterior, como também devido à incidência direta dos raios solares na superfície em

estudo, através das janelas. Para evitar esta interferência, as janelas devem ser tapadas algum tempo antes do início do ensaio. Mesmo em um dia nublado, a radiação solar difusa pode afetar os padrões térmicos do exterior do edifício. Por estas razões, os ensaios exteriores são efetuados normalmente durante a noite, enquanto os ensaios interiores ou são efetuados a noite ou em dias encobertos.

Um ensaio termográfico não deve começar imediatamente após o pôr-do-sol, uma vez que as superfícies expostas à radiação solar armazenam calor durante certo período de tempo, mesmo depois de ter sido removida a fonte. O tempo necessário para que o calor armazenado se dissipe depende da inércia térmica da envolvente e da diferença de temperatura entre a superfície e o ambiente exterior (SILVA, 2012).

Dependendo do tipo de ensaio, a radiação solar pode ser benéfica e utilizada num método de ensaio ativo, pois este método implica a utilização de uma fonte de calor aplicando um impulso térmico no material.

Diante do exposto, a termografia infravermelha é efetivamente utilizada para análise de problemas em edifícios, pois o diagnóstico é realizado de forma não destrutiva e sem a necessidade de proximidade entre o objeto e a câmara. Atualmente as câmaras termográficas são pequenas e portáteis, sendo mais prática a sua utilização em ensaios in situ. Porém, neste tipo de análise é fundamental a calibração do equipamento, uma vez que se pretende obter os valores reais da temperatura para o objeto em estudo. Por fim, o conhecimento das principais características da câmara termográfica é fundamental para que possa ser aplicada a futuras pesquisas.

3. OBJETIVO

Esse trabalho trata do estudo de sensibilidade de um equipamento de termografia em que foram avaliados alguns parâmetros relevantes que podem provocar distorções na temperatura superficial do elemento construtivo, são eles: (1) influência das reflexões (superfície

refletante e obstáculos), (2) influência do gradiente de temperatura, (3) influência da cor (temperatura ambiente e radiação solar) e (4) influência da distância da câmara infravermelha ao objeto.

4. METODOLOGIA

4.1 CARACTERIZAÇÃO DO OBJETO DE ESTUDO E EQUIPAMENTO

O programa experimental foi realizado no Laboratório de Tecnologia das Construções – LTC da Faculdade de Ciências e Tecnologia – FCT da Universidade Estadual Paulista – UNESP, de Presidente Prudente. Foi efetuado um conjunto de ensaios com base na metodologia utilizada por Silva (2012), que permitiram o estudo da sensibilidade do equipamento de termografia existente no LTC, avaliando alguns parâmetros relevantes na obtenção de termogramas.

A câmara termográfica Flir Série E40, utilizada neste estudo, possui as seguintes especificações técnicas: faixa de temperatura: -20°C a 650°C; precisão: 2%; sensibilidade térmica (NETD): <0,05°C; tamanho do display colorido: 3.5" LCD touchscreen; resolução detector (pixels): 160 x 120; foco: manual; mira laser; iluminador de alvo; resolução câmara visual: 3.1 MP; 60 Hz; peso: 825 g. Trata-se de um equipamento de alta sensibilidade radiométrica, que capta a energia infravermelha emitida pela superfície de um objeto e converte-a em sinais elétricos, através do detector em matriz bidimensional não arrefecida, sendo o sinal de temperatura analógico amplificado e convertido em um sinal digital. O sinal digital é exibido como imagens térmicas coloridas ou monocromáticas.

4.2 CRITÉRIOS E PROCEDIMENTOS ADOTADOS PARA A REALIZAÇÃO DOS ENSAIOS

A obtenção de termogramas exige o conhecimento de diversos parâmetros que, se não forem considerados, podem afetar significativamente as medições e os seus resultados.

Sendo assim, no laboratório com temperatura ambiente e luz natural, conforme critérios estabelecidos por Silva (2012) foi estudada a influência das reflexões, do gradiente de

temperatura, a influência da cor nos termogramas e a influência da distância da câmera infravermelha ao objeto.

Cabe mencionar que em todos os ensaios realizados neste estudo a câmera termográfica ficou posicionada a 1 m de distância dos corpos de prova e objetos estudados, com auxílio de um tripé fotográfico universal, sendo também que todos os corpos de prova e objetos ficaram posicionados perpendicularmente ao equipamento termográfico. Também convém informar que a dimensão dos corpos de prova utilizados, confeccionados tanto de argamassa como de XPS (poliestireno extrudido), foram respectivamente de 40 cm x 30 cm x 4 cm.

4.2.1 Influências das reflexões

As reflexões são um problema comum na análise termográfica, os metais, principalmente os de superfície brilhante. Nestes materiais a utilização da termografia de infravermelho pode ser problemática, resultando em imagens termográficas com temperaturas incorretas, devido às reflexões. Desta forma foi estudado o impacto de superfícies refletantes nos termogramas, bem como o impacto dos obstáculos na termografia de infravermelhos, por meio da realização de dois ensaios.

4.2.1.1 Superfície refletante

O ensaio na superfície refletante foi realizado em uma superfície metálica: a parte externa vertical de uma estante de aço existente no LTC.

4.1.1.2 Obstáculos

Foi utilizado um corpo de prova de argamassa pintado com tinta acrílica de seis cores diferentes, em retângulos da mesma dimensão em uma das faces do corpo de prova, e foi verificado se os movimentos do operador atrás e afastado da câmera termográfica fazem variar as temperaturas dos retângulos pintados.

4.2.2 Influência do gradiente de temperatura na qualidade dos termogramas

O gradiente de temperatura é fundamental na qualidade das imagens térmicas,

desta maneira neste ensaio o corpo de prova de argamassa se encontrava em equilíbrio térmico com o meio ambiente, não havendo, no corpo de prova, diferenças de temperatura. O gradiente de temperatura foi observado após o aquecimento do corpo de prova. Tal aquecimento foi realizado por meio de uma fonte de calor infravermelha com uma potência de 500 W, posicionada a uma distância de 10 cm do corpo de prova, pelo período de 10 minutos.

4.2.3 Influência da cor nos termogramas

As distintas cores emitem radiações infravermelhas com diferentes intensidades e absorvem diferentemente a radiação com o conseqüente aquecimento. Deste fato resultam variações de temperatura superficial visualizadas nos termogramas, assim foram realizados dois tipos de ensaios.

4.2.3.1 Temperatura ambiente

Para determinar a influência da cor nos termogramas foram realizados dois ensaios: um com pedaços de cartolinas de cor amarela e preta e outro com fitas adesivas das mesmas cores (amarela e preta), estando ambos colados nas faces de corpos de prova de argamassa.

4.2.3.2 Radiação solar

Para avaliar a importância da radiação solar na identificação das cores nos termogramas também foram realizados ensaios com dois tipos de materiais distintos.

O primeiro material estudado foi um corpo de prova de argamassa pintado com tinta acrílica em retângulos de mesma dimensão com seis diferentes cores (amarelo, azul, preto, branco, vermelho e verde), em uma das faces do corpo de prova, sendo que o mesmo foi colocado por 15 minutos no exterior, em um local onde incidia a radiação solar, e que em seguida foi submetido ao ensaio termográfico.

O segundo corpo de prova foi composto por quatro quadrados com mesma dimensão de cartolinas coloridas coladas com fita adesiva transparente na superfície de um corpo de prova de XPS. O corpo de prova também foi colocado no

exterior, em um local onde incidia a radiação solar, durante o período de 5 horas, e na sequência foi submetido ao ensaio termográfico.

4.2.4 Influência da distância da câmera infravermelha ao objeto

Foi avaliada a influência das distâncias de 1 m, 2 m, 5 m e 10 m entre a câmera termográfica e o corpo de prova de argamassa, com o intuito de verificar a ocorrência de variações de temperatura superficial do elemento construtivo em análise.

4.3 PROCEDIMENTOS ADOTADOS PARA A ANÁLISE DOS DADOS COLETADOS E OBSERVADOS

A imagem termográfica obtida, termograma, pode ser considerada de fácil interpretação qualitativa, uma vez que as diferentes temperaturas são representadas por cores sendo possível o diagnóstico de defeitos. O equipamento termográfico apresenta uma capacidade de detecção de pequenas flutuações de temperatura, até valores inferiores à décimo de grau. Dessa maneira, a análise dos dados coletados e observados envolveu os procedimentos utilizados por Silva (2012).

4.3.1 Reflexões

No ensaio de superfície refletante foi apresentado como resultado a imagem real e seu respectivo termograma, em que pode ser identificado qualquer tipo de reflexão nas imagens.

Para o ensaio de obstáculos foi apresentado como resultado a imagem real e dois termogramas: o primeiro em que o operador se encontrou afastado da câmera e o segundo na qual o operador se encontrou no local de trabalho (atrás da câmera); sendo que em ambos puderam ser identificados qualquer tipo de reflexão do operador da câmera.

4.3.2 Gradiente de temperatura

Foi apresentado como resultado a imagem real e dois termogramas: o primeiro com o corpo de prova antes do aquecimento (em equilíbrio térmico com o ambiente) e o segundo após o corpo de prova sofrer o aquecimento (com diferença de

temperatura entre o corpo de prova e o ambiente), de maneira que pode ser verificada uma melhor qualidade da imagem térmica, ou seja, a verificação da distribuição de temperaturas no corpo de prova aquecido.

4.3.3 Cor

No ensaio com a temperatura ambiente foi apresentado como resultado as duas imagens reais e seus respectivos termogramas, em que foram observadas as diferentes cores dos elementos fixados em cada corpo de prova, uma vez que estes se encontravam em equilíbrio térmico.

Quanto ao ensaio envolvendo a radiação solar foi apresentado como resultado as duas imagens reais e seus respectivos termogramas, sendo que o primeiro corpo de prova (argamassa) se encontrava em um ambiente externo não controlado e permitiu verificar que as cores têm influência nos resultados obtidos, e o segundo corpo de prova (XPS) pode corroborar os resultados obtidos no primeiro corpo de prova.

4.3.4 Distância da câmera ao objeto

Foi apresentado como resultado a imagem real e o respectivo termograma do corpo de prova para cada diferente distância estudada entre a câmera termográfica e o corpo de prova.

5. RESULTADO E ANÁLISE

Como os termogramas podem variar de acordo com os parâmetros apresentados no item 2 deste estudo, devemos conhecer e analisar suas reais influências. Os estudos experimentais se constituíram na avaliação da influência das reflexões, do gradiente de temperatura, da cor e da distância da câmera ao objeto. São métodos de medições qualitativos, ou seja, foi registrada a diferença local da temperatura superficial no objeto, através da diferença de cores nos termogramas.

5.1 REFLEXÕES

Pelo fato de que corpos reais não são corpos negros, ou seja, emitem radiação e refletem a radiação emitida por corpos vizinhos, os metais de

superfície brilhantes são grandes refletores de radiação infravermelha por conter baixo valor de emissividade. Logo, a utilização da termografia nesses materiais podem ser dificultadas e até mesmo incorretas, devido às reflexões.

5.1.1 Superfície refletante

Pode ser notado na Figura 1 que, por mais que não se detecte qualquer reflexão na imagem real, o termograma apresenta nitidamente elementos refletidos na superfície. Neste caso, observa-se em especial o operador que se encontrava atrás da câmera termográfica, com uma temperatura maior que o restante, resultado da reflexão.

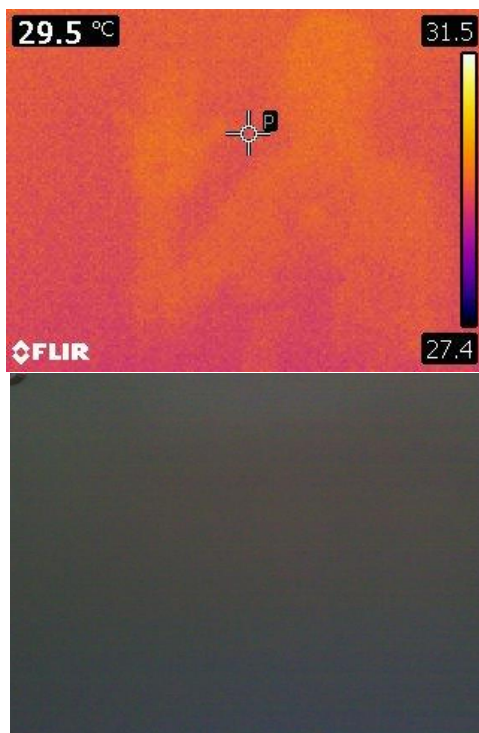


FIGURA 1: Termograma e imagem real de uma estante metálica.

FONTE: Autoria Própria.

5.1.2 Obstáculos

O objetivo deste ensaio foi o de verificar a influência do operador atrás da câmera termográfica nos termogramas. Logo, temos um termograma em que o operador se apresenta logo atrás da câmera e em outro, o mesmo se encontra afastado da câmera, acionando o equipamento (Figuras 2 e 3).

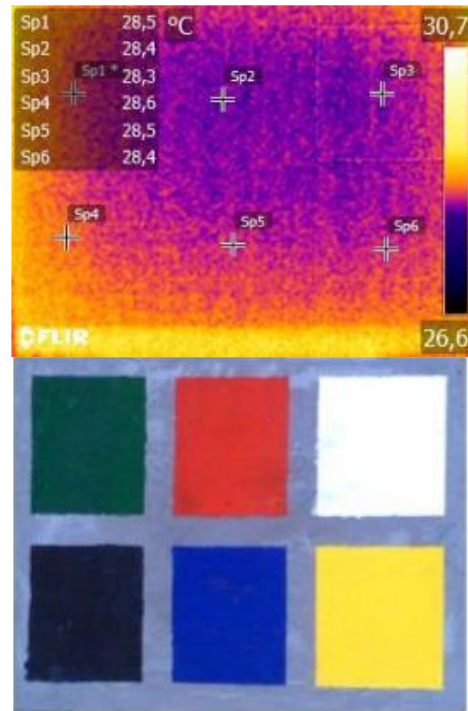


FIGURA 2: Termograma e imagem real do corpo de prova, com o operador atrás da câmera.

FONTE: Autoria Própria.

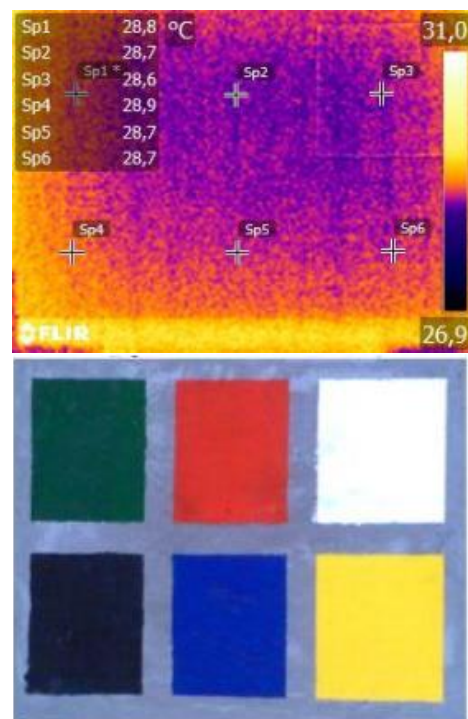


FIGURA 3: Termograma e imagem real do corpo de prova, sem o operador atrás da câmera.

FONTE: Autoria Própria.

O que se notou, comparando os termogramas das Figuras 2 e 3, é uma diferença nas temperaturas. Sem o operador, ou seja, com ele

longe da câmera, as temperaturas nas diversas cores do corpo de prova aumentaram. Um outro aspecto analisado foi com relação às cores, sendo que o retângulo de cor branca, nos dois termogramas apresentou uma temperatura menor do que todas as outras cores, em contrapartida, o de cor preta a de maior temperatura, comprovando também a influência das cores na temperatura superficial dos elementos.

5.2 GRADIENTE DE TEMPERATURA

Foi observado em comparação com a Figura 6, que a Figura 4 não apresenta diferença significativa de temperatura por estar em equilíbrio com o ambiente em questão. A Figura 6, por ter sido aquecida (conforme o aparato visualizado na Figura 5), apresenta maior gradiente de cores ocasionado pelo fato de ter aumentado a diferença de temperatura entre o corpo de prova e o ambiente.

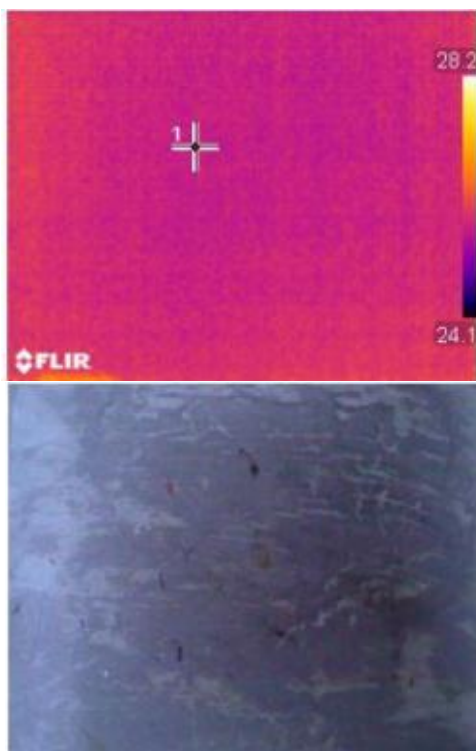


FIGURA 4: Corpo de prova de argamassa antes de aquecer.

FONTE: Autoria Própria.



FIGURA 5: Corpo de prova durante o aquecimento.

FONTE: Autoria Própria.

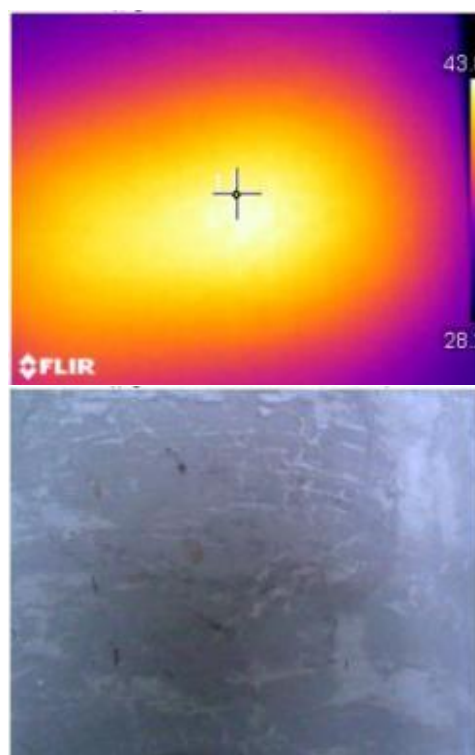


FIGURA 6: Corpo de prova de argamassa depois de aquecer.

FONTE: Autoria Própria.

Além disso, também pode ser notado que o ponto mais claro no termograma, ou seja, seu ponto com maior temperatura (Figura 6) é o local de foco da fonte de luz. Logo, esse ponto se apresentou mais quente e a distribuição de temperatura foi diminuindo radialmente com relação a esse ponto central. Assim, ficou notória uma melhor qualidade no termograma, com maior visualização da distribuição de temperaturas no corpo de prova de argamassa.

5.3 COR

Distintas cores emitem intensidades de radiações infravermelhas diferentes, pois apresentam valores de emissividades distintas e absorvem diferentemente a radiação conforme o aquecimento. Logo, se espera que as temperaturas superficiais visualizadas nos termogramas variem de acordo com as cores distintas. Entretanto, esse fato pode proporcionar dificuldades ao analisar possíveis problemas patológicos, por camuflar eventuais defeitos. Assim, realizaram-se ensaios para buscar perceber a influência da cor nos termogramas.

5.3.1 Temperatura ambiente

Na Figura 7 pode ser visualizado o termograma do corpo de prova de argamassa com as fitas de diferentes cores (amarela e preta) sobre ele. O ponto 1 (Sp1) está sobre o corpo de prova, o ponto 2 (Sp2) está localizado sobre o pedaço de fita amarela e o 3 (Sp3) sobre a fita preta. O que se notou é que as temperaturas nos três pontos são iguais (19,5°C), pois ambas se apresentam em equilíbrio térmico.

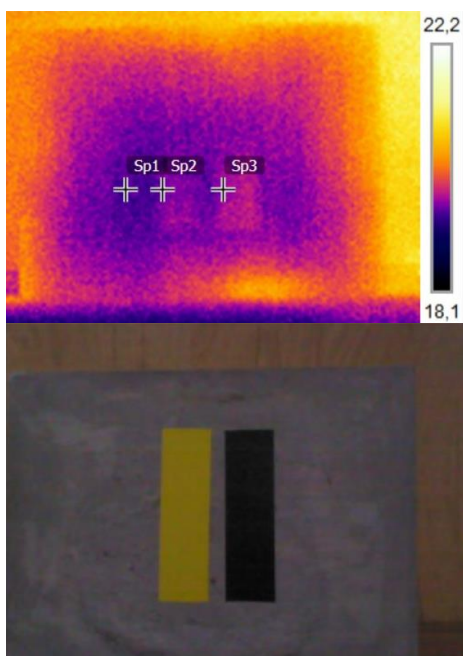


FIGURA 7: Imagem termográfica e real do corpo de prova com fita amarela e preta sobre a face.

FONTE: Autoria Própria.

O mesmo aconteceu com o ensaio

utilizando ao invés da fita isolante, a cartolina de cores amarela e preta (Figura 8), sendo que os três pontos (Sp1, Sp2 e Sp3) apresentaram temperatura de 20°C.

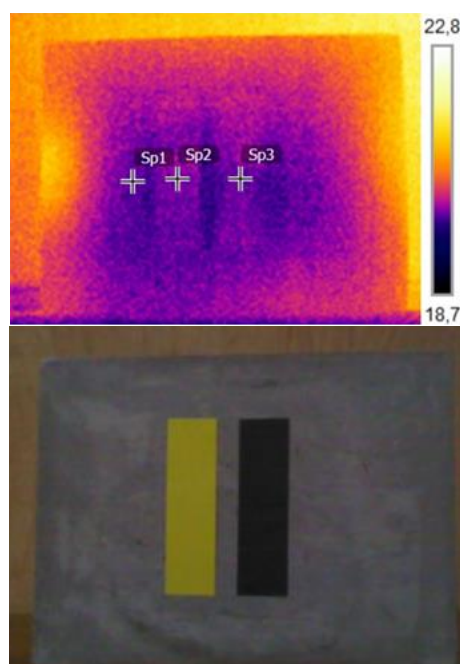


FIGURA 8: Imagem termográfica e real do corpo de prova com cartolina amarela e preta sobre a face.

FONTE: Autoria Própria.

5.3.2 Radiação solar

Pode ser notado a partir das imagens térmicas que em todos os termogramas as cores influenciaram nas temperaturas. As cores mais escuras foram as que apresentaram maiores valores, em alguns casos chegando a 7°C de diferença se comparado com as cores mais claras (Sp1=30°C, Sp2=31,2°C, Sp3=33,6°C, Sp4=26,3°C, Sp5=28,9°C e Sp6=30,7°C). Logo após a retirada do corpo de prova do sol (Figura 9) e realização dos ensaios pode ser notado, com maior intensidade, a influência direta das cores e suas diferentes absorções.

À medida que o corpo de prova foi entrando em equilíbrio térmico e perdendo calor para meio (Figura 10) as cores reduziram suas temperaturas, mas ainda foi possível ser notada as diferenças entre elas (Sp1=24,9°C, Sp2=25,1°C, Sp3=26,3°C, Sp4=23,6°C, Sp5=24,4°C e Sp6=25,3°C).

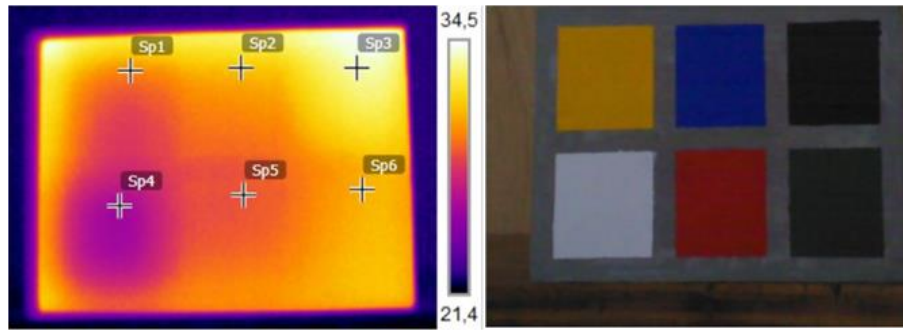


FIGURA 9: Imagem termográfica e real do corpo de prova pintado com as seis diferentes cores logo após ter sido exposto a radiação solar por 15 minutos.

FONTE: Autoria Própria.

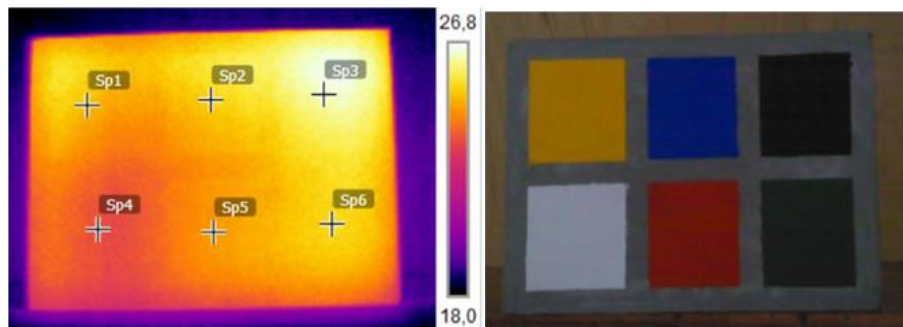


FIGURA 10: Imagem termográfica e real do corpo de prova pintado com as seis diferentes cores 30 minutos após ter sido retirado da exposição à radiação solar.

FONTE: Autoria Própria.

5.4 DISTÂNCIA DA CÂMERA AO OBJETO

O estudo desse parâmetro é de extrema importância, tendo em vista a aplicabilidade da técnica de ensaio não destrutivo, por exemplo, em fachadas de difícil acesso e de grande altura. O operador deve entender como a câmera se comporta com diferentes distâncias do seu objeto de estudo. Assim, a câmera foi sendo afastada do corpo de prova de argamassa de acordo com as distâncias de 1 m, 2 m, 5 m e 10 m (Figuras 11 a 14).

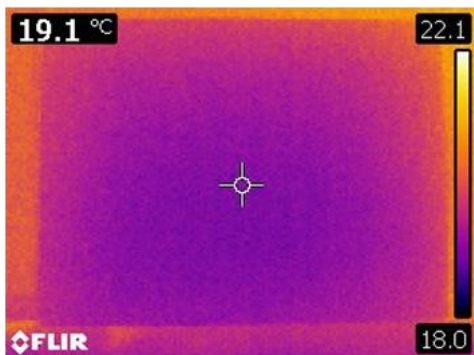


FIGURA 11: Termograma do ensaio da distância de 1 metro.

FONTE: Autoria Própria.

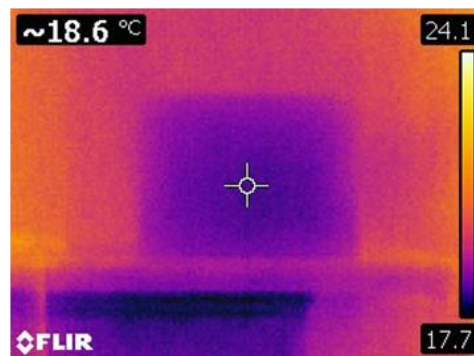


FIGURA 12: Termograma do ensaio da distância de 2 metros.

FONTE: Autoria Própria.



FIGURA 13: Termograma do ensaio da distância de 5 metros.

FONTE: Autoria Própria.



FIGURA 14: Termograma do ensaio da distância de 10 metros.

FONTE: Autoria Própria.

Com relação às temperaturas, obteve-se pouca variação, como se nota nas Figuras 11 a 14. As temperaturas variaram $0,5^{\circ}\text{C}$ ($18,6^{\circ}\text{C}$ a $19,1^{\circ}\text{C}$), em que a temperatura ambiente se encontrava em torno de $20,3^{\circ}\text{C}$ e a umidade relativa do ar estava em 35%.

Pode ser relatado que a resolução dos termogramas é reduzida com o afastamento da câmera. Dessa maneira, deve-se buscar sempre a menor distância possível do objeto a ser analisado. Isso acontece já que o equipamento capta pontos de radiação, e quanto maior à distância cada ponto corresponde a uma área de superfície maior que passa a apresentar uma média da radiação emitida, perdendo os detalhes.

5.5 ANÁLISE CRÍTICA E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

A termografia baseia-se no princípio de que todos os corpos emitem radiação infravermelha, invisível a olho nu, mas passível de ser medida e registrada com uma câmera termográfica. Essa radiação é posteriormente convertida em uma imagem codificada em cores de acordo com uma gama de temperatura. Estas imagens coloridas, termogramas, mostram a temperatura em cada pixel, o branco representa a temperatura mais alta e o preto a mais baixa.

Cabe também mencionar que a termografia infravermelha utiliza a transmissão de calor por radiação como variável relacionada com a temperatura, não sendo necessário o contato físico com o elemento a ensaiar e nem tempo de estabilidade de temperaturas, o que permite a

realização de medidas em situações onde não seria possível realizar com técnicas convencionais. Atualmente permite a obtenção em tempo real de imagens térmicas em que as cores representam a distribuição de temperaturas do objeto a ser ensaiado.

Este trabalho contribuiu para o conhecimento do equipamento termográfico existente no LTC da FCT/UNESP. O manuseio da câmera termográfica é bastante simples, uma vez que se assemelha ao uso de uma câmera fotográfica comum. No entanto, a elaboração de um correto termograma é bastante complexa, pois a termografia é influenciada por diversos parâmetros. As principais considerações retiradas deste trabalho foram:

(a) Deve ser levada em consideração a influência das reflexões ao se aplicar a termografia em elementos metálicos ou muito refletivos, pois esses podem trazer resultados com a influência do operador do equipamento termográfico. Caso seja necessária sua utilização em uma situação assim, o operador deve entender sua influência para não ter diagnóstico errôneo do termograma;

(b) No experimento do obstáculo, foi notada pouca interferência nos resultados finais. Não ocorreu nenhuma melhora na visualização das cores pintadas no corpo de prova, mas sim, apenas uma pequena mudança nos valores das temperaturas. Logo, caso se necessite de valores extremamente precisos, o operador deve saber de sua influência para o termograma;

(c) Quanto ao objeto de estudo em uma temperatura mais elevada do que o meio em que se encontra, isso faz com que se torne o termograma mais nítido e com isso mais fácil de detectar possíveis anomalias. Logo, o gradiente de cores é uma influência positiva no resultado final e podemos afirmar ser uma técnica fácil de ser aplicada tanto em laboratório quanto in situ, para utilização da termografia;

(d) Com relação à influência da cor nos termogramas, os ensaios mostraram que quando o corpo de prova se encontra em equilíbrio térmico com o meio, as cores não apresentaram variações

térmicas. Já na aplicação da radiação solar, as cores apresentaram diferenças térmicas, pois possuem diferentes emissividades, ou seja, emitem e absorvem diferentemente radiações infravermelhas. Diante disso, o corpo de prova exposto a radiação solar fez com que as cores influenciassem o resultado obtido. Dessa maneira, em uma fachada, por exemplo, o operador deve entender essa emissão e absorção das diferentes cores, para não obter resultados errôneos das análises termográficas;

(e) No estudo da influência da distância da câmera termográfica ao objeto, foi constatado que a partir do aumento da distância do corpo de prova da câmera, a qualidade visual da imagem térmica diminui consideravelmente. Dessa forma, foi verificado que não existem distorções na temperatura superficial em distâncias de até 10 m, mas a aplicação da termografia em locais distantes da câmera pode ser prejudicial, uma vez que a tornam menos nítidas. Cabe mencionar que utilizando uma câmera com maior precisão, seus resultados poderão ser mais satisfatórios nesse quesito.

Em síntese, pode ser relatado que é fácil fazer um termograma, no entanto é considerada um tanto complexa a sua correta interpretação.

6. CONCLUSÕES

Por mais simples que os termogramas possam parecer, se igualando a tirar meramente uma fotografia, o operador da câmera termográfica aponta para o local de estudo e detecta a anomalia analisando o termograma obtido, levando em consideração influências e limitações desse processo, que podem falsear ou mascarar um diagnóstico preciso.

Sendo a termografia uma técnica rápida e não destrutiva, tem sido bastante aplicada em edifícios. Esta técnica pode ser utilizada para a detecção de causas de problemas patológicos verificados visualmente, tal como pode ser empregada como instrumento de engenharia preventiva, descobrindo anomalias ainda não aparentes, mas já embrionárias, ou ainda para

realizar a análise das condições de isolamento térmico da envolvente. Após a realização dos termogramas, os dados recolhidos são analisados e interpretados de forma a indicar qual a medida preventiva ou corretiva adequada.

A câmera termográfica Flir Série E40 é o equipamento que atualmente existe no LTC da FCT/UNESP, tem como característica principal a sua portabilidade, no entanto para ensaios precisos é aconselhável o uso de tripé. Este equipamento é bastante sensível a variações de temperatura, $0,05^{\circ}\text{C}$, no entanto a sua precisão é de $\pm 2^{\circ}\text{C}$ ou $\pm 2\%$. A sua precisão é um valor comum em equipamentos atuais, porém pode ser uma condicionante quando se pretende avaliar diferenças de temperaturas menores.

Por fim, pelos parâmetros estudados foi possível concluir que as influências e limitações referentes a reflexões, gradiente de temperatura, cor e distância da câmera ao objeto, podem produzir uma análise incorreta ou mesmo incapacitar a visualização de algum problema patológico presente. Como contribuição principal deste trabalho, ressalta-se que é preciso, além de conhecimento do assunto, ter atenção a todos os fatores externos de forma a serem detectados e eliminados, ou ainda levados em consideração na hora da execução da técnica para que sejam minimizados.

7. AGRADECIMENTOS

À FAPESP – Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado de São Paulo, pela concessão da bolsa de iniciação científica a autora.

À CAPES – Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior, pelo auxílio financeiro para aquisição do equipamento termográfico.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AVDELIDIS, N. P.; MOROPOULOU, A. **Emissivity considerations in building thermography**. Energy and Buildings, vol.35, 2003, 663–667p.

CHEW, M. Y. L. **Assessing building façades using infra-red thermography**. Structural Survey, vol.16, 1998, 81–86p.

BARREIRA, E. **Aplicação da termografia ao estudo do comportamento higrotérmico dos edifícios**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2004, 196p.

BARREIRA, E.; FREITAS, V. P. **Evaluation of building materials using infrared thermography**. Construction and Building Materials, vol.21, n.1, 2007, 218-224p.

GRINZATO, E.; VAVILOV, V.; KAUPPINEN, T. **Quantitative infrared thermography in buildings**. Energy and Buildings, vol.29, 1998, 1-9p.

HART, J. M. **A practical guide for infra-red termography for building surveys**. Garston, Watford, BRE, 1991.

LABAT, M.; GARNIER G.; WOLOSZYN; M.; ROUX, J. J. **Infrared measurements on ventilated cladding for assessing its surface temperature and insulated part of the envelope using a simulation tool**. NBS 2011 – 9th Nordic Symposium on Building Physics, Tampere, Finland 29May-2June 2011 – Volume 1 – Hygrothermal performance of envelope assemblies and air tightness of building. Session A7 – Walls in field measurements, 2011, 315-322p.

PRAKASH RAO, D. S. **Infrared termography and its applications in civil engineering**. The Indian Concrete Journal, 2008, 41–50p.

SILVA, D. D. S. **Diagnóstico de patologias em fachadas utilizando termografia**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2012, 82p.