

O uso da termografia infravermelha para o estudo do desempenho térmico de paredes: revisão bibliográfica

G. P. Silva^{1*} , P. I. B. Batista¹ , Y. V. Povóas¹ 

* Autor de Contato: graziela.ps04@gmail.com

DOI: <http://dx.doi.org/10.21041/ra.v9i2.341>

Recepção: 05/08/2018 | Aceitação: 09/11/2018 | Publicação: 30/04/2019

Editor Associado Responsável: Dr. Paulo Helene

RESUMO

Este artigo tem por objetivo apresentar a utilização da termografia infravermelha em paredes de alvenaria no auxílio do desempenho térmico. Foi realizado uma revisão sistemática através de pesquisa com busca automática e snow-balling, seleção e peneiramento dos artigos para restringir os artigos ao tema desejado. Após isto, foi estudado sobre a termografia infravermelha nas manifestações patológicas, as propriedades térmicas e seu comportamento, pontes térmicas, diferença de temperatura e infiltrações de ar. De uma forma geral é necessário ter alguns cuidados durante a execução dos experimentos e medições. Ademais foi mostrado que a termografia infravermelha é uma técnica complexa e precisa de ser utilizada.

Palavras-chave: termografia infravermelha; desempenho térmico; manifestações patológicas; propriedades térmicas; vazamentos de ar.

Citar como: Silva, G. P., Batista, P. I. B., Povóas, Y. V. (2019), "*O uso da termografia infravermelha para o estudo do desempenho térmico de paredes: revisão bibliográfica*", Revista ALCONPAT, 9 (2), pp. 117 – 129, DOI: <http://dx.doi.org/10.21041/ra.v9i2.341>

¹ Universidade de Pernambuco, Brasil.

Informações legais

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

Editor responsável: Dr. Pedro Castro Borges. Reserva de direitos de uso exclusivo, No.04-2013-011717330300-203, eISSN 2007-6835, ambos concedidos pelo Instituto Nacional de Direitos Autorais. Responsável pela última atualização deste número, Unidade de Informática ALCONPAT, Eng. Elizabeth Sabido Maldonado, Km. 6, antiga estrada para Progreso, Mérida, Yucatán, C.P. 97310.

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

É totalmente proibida a reprodução total ou parcial dos conteúdos e imagens da publicação sem autorização prévia do ALCONPAT International A.C.

Qualquer discussão, incluindo a resposta dos autores, será publicada no primeiro número do ano 2020, desde que a informação seja recebida antes do fechamento do terceiro número do ano de 2019.

The usage of infrared thermography to study thermal performance of walls: a bibliographic review

ABSTRACT

This article aims to present the influence of infrared thermography on masonry walls to detect pathological manifestations. A systematic review was carried out through research with automatic search and snow-balling, selection and sifting of articles to restrict them to the desired theme. After that, infrared thermography in the pathological manifestations was studied along with the thermal properties and their behavior, thermal bridges, temperature difference and air infiltrations. In general, some care must be taken during the execution of experiments and measurements. It has also been shown that infrared thermography is a complex technique and should be used.

Keywords: infrared thermography; thermal performance; pathological manifestations; thermal properties; air leakage.

Uso de termografía infrarroja para estudiar el desempeño térmico de paredes: una revisión bibliográfica

RESUMEN

Este artículo tiene por objetivo presentar la influencia de la termografía infrarroja en paredes de albañilería para detectar manifestaciones patológicas. Se realizó una revisión sistemática a través de investigación con búsqueda automática y snow-balling, selección y cribado de los artículos para restringir los artículos al tema deseado. Después de esto, fue estudiado sobre la termografía infrarroja en las manifestaciones patológicas, las propiedades térmicas y su comportamiento, puentes térmicos, diferencia de temperatura e infiltraciones de aire. En general es necesario tener algunos cuidados durante la ejecución de los experimentos y mediciones. Además, se ha demostrado que la termografía infrarroja es una técnica compleja y precisa de ser utilizada.

Palabras clave: termografía infrarroja; rendimiento térmico; manifestaciones patológicas; propiedades térmicas; fugas de aire

1. INTRODUÇÃO

As paredes podem ser avaliadas a fim de verificar uma melhor qualidade para o desempenho térmico. Há diversas formas de medição de acordo com a funcionalidade ou parâmetro que deseja ser observado, dentre elas: resistência mecânica, absorção de água, capilaridade, desempenho térmico, características geométricas etc., são alguns aspectos que podem ser avaliados para obtenção de um desempenho satisfatório das paredes de uma edificação.

A Norma de Desempenho 15575 (ABNT, 2013) e a norma base sobre Desempenho térmico 15220 (ABNT, 2005) se complementam, pois, a primeira define desempenho como “comportamento em uso de uma edificação e de seus sistemas” e a segunda os conceitos térmicos, propriedades e seus cálculos.

A termografia infravermelha é uma técnica de vistoria não invasiva e não destrutiva. Sua captura é feita através de aparelhos que mostram a radiação infravermelha, através de mecanismos de fácil utilização, rápida e de forma complexa. A utilização da técnica tem se tornado mais comum graças à sua natureza rápida, precisa e sem contato que permite ser utilizada em uma ampla gama de casos (Kylili et al., 2014). A termógrafa infravermelha utiliza uma câmera para medir a radiação infravermelha emitida de um objeto e converter em um padrão de radiação térmica, que é invisível ao olho humano, em uma imagem visível (Clark et al., 2003).

Muitos pesquisadores têm usado as técnicas da termografia infravermelha para diversas utilizações (Bagavathiappan et al., 2013) como por exemplo, medição de emissividade, determinação do

coeficiente global de transferência de calor, entre outras aplicações, demonstrando assim que isto tem potencial positivo (Porras-Amores et al., 2013). O’Grady (2017a) traz um dado importante em sua pesquisa: cerca de 40% da energia consumida na Europa advém de edificações. O estudo prévio do comportamento térmico das paredes evita erros na fase de construção. Depois de construído, sua verificação *in loco* possibilita encontrar possíveis patologias e/ou deficiências de projeto que levam a uma redução de seu desempenho térmico.

Na Argentina, cerca de um terço da energia produzida é para o gerenciamento dos edifícios, sendo que metade desta é direcionada para aquecimento e resfriamento e mais de 30% restante é perdido por isolamento térmico insuficiente ou telhados e paredes que tem uma propensão a apresentar superaquecimento no verão e vazamentos de calor no inverno (Marino et al., 2016).

De acordo com a Green Building Council Brasil (2015) tomando como base o balanço energético nacional de 2015, de toda a energia elétrica demandada, cerca de 50% era para edificações. Além disto, o consumo de energia elétrica no Brasil, excluindo as perdas, chega a 516,6 TWh, deste valor 258 TWh, ou o equivalente a R\$ 60 bilhões são consumidos apenas pelas edificações. Segundo a EIA (2018) os Estados Unidos em 2017, por volta de 39% da energia total produzida foi consumida por residências e setores comerciais. Nos países da União Européia, o setor terciário e residencial consome cerca de 41% de toda energia produzida, sendo que 55% é calor. Similarmente na Sérvia, onde cerca de 50% da energia total consumida vai para as edificações, só que 60% dela é calor (Tanic et al., 2015). Diante dessas informações, nota-se a grande importância do estudo do comportamento térmico de paredes.

As edificações rurais na China consomem muita energia e tem um desempenho térmico pobre devido ao tipo e estado dos materiais de construção (Diao et al., 2018). Então, a detecção e quantificação das perdas de calor através das edificações se tornam relevantes por ser um tema de extrema importância para a sociedade.

Ainda há uma carência de estudos sobre o assunto, dificultando a pesquisa e um melhor entendimento sobre a abrangência da termografia infravermelha. Por ser um assunto que tem mais de 25 anos de pesquisas relevantes, pesquisadores estão investindo neste tema intencionalmente para explorar toda a extensão da utilização da termografia infravermelha. Devido a isto, este trabalho tem por objetivo realizar uma revisão sistemática dos trabalhos existentes sobre a utilização da termografia infravermelha para o conhecimento dos parâmetros, suas propriedades e a sua influência no desempenho térmico de paredes.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Histórico da termografia infravermelha

A termografia infravermelha começou a ser utilizada para outros fins e não para a construção civil. Os seus princípios foram descobertos por acaso enquanto se tentava solucionar um problema astronômico, por volta de 1800, pelo cientista William Herchel (Barr, 1961), sendo aperfeiçoado para sua utilização em diversos setores ao longo dos anos (Lucchi, 2018). Por volta de 1830, o investigador italiano, Melloni, descobriu que o sal (NaCl) em cristais naturais grandes o suficiente para ser transformado em lentes e prismas, tornou-se o principal infravermelho até a década de 1930, quando chegou a era do cristal sintético (Flir, 2017). O primeiro detector quântico foi desenvolvido entre 1870 e 1920 e foi baseado nas interações entre as radiações, aumentando a precisão e reduzindo consideravelmente o tempo de resposta (Smith et al., 1958). A termografia foi muito aperfeiçoada durante a segunda guerra mundial, mostrando a importância da tecnologia principalmente à noite e a sua ampliação do uso das imagens infravermelhas no setor da construção se deu por volta dos anos 2000, com o emprego de titânio de bário-estrôncio e micro bolômetro (Lucchi, 2018). O seu uso aumentou drasticamente nos últimos anos principalmente em obras de restauração, construção de edifícios e vistorias (Kylili et al., 2014; Bianchi et al., 2014) devido às melhorias físicas e tecnológicas como redução no tamanho do equipamento, redução de custos e

melhorias na resolução, sensibilidade e precisão, operacionalidade e portabilidade (Meola, 2012). A utilização tem crescido bastante nos últimos 15 anos, principalmente para a engenharia civil e restaurações de prédios históricos, facilitando assim uma difusão das legislações europeias não só para eficiência energética, mas também para auditoria energética das edificações (Lucchi, 2018). Muito se tem aprendido com a termografia infravermelha, mas mesmo depois de se passarem 30 anos desde o início de sua utilização ela ainda não teve sua extensão inteiramente explorada (Grinzato et al., 2002; Albatici e Tonelli, 2010).

2.2 Normatização da termografia infravermelha no Brasil e no mundo

Ao redor do mundo, a utilização da termografia infravermelha vem sendo difundida há alguns anos. Tanto que já existe normas como as da ASTM, ISO e da União Europeia, que regulamentam a utilização da termografia infravermelha em edificações, suas propriedades e sua utilização é amplamente recomendada (ASTM, 2013a; ASTM, 2015a; ASTM, 2013b, ASTM, 2015b; ISO, 2008; ISO, 2015; EN, 1999).

No Brasil não há uma norma que regule a sua utilização tendo que, muitas vezes, se recorrer às normas internacionais ou até a adaptações de utilizações em outras áreas.

A norma brasileira que tem algum aspecto com a utilização da termografia infravermelha é a NBR 15575 – Norma de Desempenho (ABNT, 2013a), na qual é dividida em 6 partes e fala sobre os aspectos para um bom desempenho da edificação, inclusive o térmico. Porém não faz referência a nenhum ensaio de campo para verificação deste desempenho. Algumas normas brasileiras que fazem referência à termografia infravermelha, dentre elas destacam-se a NBR 15572 (ABNT, 2013b), NBR 15763 (ABNT, 2009) e NBR 15866 (ABNT, 2010), que abrangem as técnicas para a sua utilização.

Segundo Marques e Chavatal, (2013) o comportamento térmico da casa depende substancialmente da atividade interativa entre as paredes externas, teto e piso. Hoje em dia, ao redor do mundo, as paredes são construídas com inúmeros materiais em diversas camadas (Robinson et al., 2017). No Brasil, grande parte das edificações ainda utilizam os materiais tradicionais, como concreto, blocos cerâmicos e gesso. Todavia, atualmente, pesquisadores estão explorando outros materiais como EVA (Silva et al., 2012) e fibras vegetais (Savastano Junior e Pimentel, 2000), em diferentes percentuais inseridos nos materiais tradicionais, para o auxílio em seu comportamento sem retirar suas características.

2.3 Metodologia

De acordo com Maldague (2001), a termografia infravermelha é dividida em duas técnicas principais, a ativa e a passiva. Lerma et al. (2018) dizem que as técnicas não entram em contato com o substrato a fim de evitar danos ou recuperações futuras.

A técnica passiva é aquela na qual a medição da temperatura é feita em condições normais, objetos que tem energia térmica própria ou de alguma forma armazenam energia por uma fonte natural de calor, existindo uma diferença de temperatura entre o objeto estudado e o meio (Kylili et al., 2014; Viégas, 2015). Na técnica de termografia infravermelha ativa, é necessária uma fonte externa de energia artificial, gerando uma variação de temperatura sobre o objeto (Viégas, 2015). A utilização da termografia passiva irá depender da energia disponível na natureza, podendo muitas vezes sofrer inerência do vento, sombra, condições climáticas e ambientais. Como o princípio da termografia ativa é a utilização de fontes de calor artificial, a utilização de lâmpadas no ambiente pode ser considerada uma alternativa.

Dentro da termografia ativa existem algumas técnicas que se diferenciam pela natureza dos estímulos aplicados sendo por lâmpadas de aquecimento ou ondas elásticas, também chamadas de ultrassom (Kylili et al., 2014), sendo assim chamadas de *Pulsed*, *Lock-in*, *Pulsed-Phase* (Maldague, 2001 apud Rocha, Póvoas, 2017), *Laser Spot Array Thermography* (Pei et al., 2016), *Principal Component Thermography* (Milovanovic et al., 2016; Rajic, 2002), entre outros.

Desde o início da utilização da termografia infravermelha na construção civil, ela tem sido

utilizada no monitoramento de edificações tanto de forma quantitativa quanto qualitativa (Grinzato e al., 2002). A análise qualitativa é considerada uma técnica da termografia infravermelha que fornece laudos instantâneos, pois o enfoque dela é o perfil e não os valores (ITC, 2014 apud Viégas, 2015), sendo uma comparação do valor relativo ao acesso local em relação a um ponto de referência (Bagavathiappan et al., 2013).

Na termografia quantitativa é possível definir a seriedade da situação do objeto estudado, sendo sempre a segunda análise a ser feita, pois a primeira deve ser a qualitativa, visto que a análise quantitativa possibilita a quantificação numérica dos parâmetros que estão sendo avaliados. Se não for feito desta forma, está sendo feita somente uma análise comparativa (ITC, 2014 apud Viégas, 2015). A análise quantitativa dos dados permite uma determinação precisa da temperatura de um ponto ou de uma região (Bagavathiappan et al., 2013).

Dentro do tipo de análise feita, diversos métodos são utilizados para medir o desempenho térmico das edificações como o Laser spot thermography (LST) (PEI et al., 2016), heat flux meters (HFM) (Danielsky e Fröling, 2015), técnica de termo visão infravermelha (Albatici e Tonelli, 2010), entre outros.

Essas técnicas são utilizadas para a medição de pontes térmicas (O'grady, 2017a; Bianchi et al., 2014; Brás et al., 2014), infiltração de ar (Lerma et al., 2018), transmitância térmica (Simões et al., 2014; Donatelli et al. 2016), emissividade térmica (Abatici et al., 2013; Ciocia e Marinetti, 2012), e outras propriedades.

A diferença dos materiais e da umidade presente neles, das emissividades a ser analisada, os ruídos causados pelas leituras de temperatura reflexivas, são alguns dos fatores que interferem na análise da termografia infravermelha.

3. DESEMPENHO TÉRMICO DE PAREDES

O aquecimento global tem trazido um crescente aumento na temperatura. Ao observar este fato, o setor da construção civil busca melhorias na eficiência energética através de alternativas que evitem o desconforto térmico das edificações (Cani et al., 2012). A Diretiva Europeia 2010/31/ UE (European Parliament and of the Council, 2010) traz uma descrição sobre como a eficiência energética dos edifícios exerce um papel planejado na obtenção do consumo quase zero. Aversa et al. (2017) diz que “para isto ocorrer, análise ou auditoria energética é uma ferramenta eficaz e rápida para novas construções, projetos e na tomada de medidas sobre a renovação energética dos edifícios existentes que geralmente são caracterizados por ineficiência que levam ao desperdício de energia”. Devido ao lançamento da Norma de Desempenho no Brasil, a NBR 15575 (ABNT, 2013), cada vez mais tem se pensado em conforto térmico. O conforto térmico é definido como a condição da mente que expressa a satisfação do usuário com um ambiente (Ghahramani et al., 2018).

3.1 Vazamentos de ar

Lerma et al. (2018) realizaram um trabalho com o objetivo de promover um discussão sobre as oportunidades e restrições de usar a termografia infravermelha ativa para detectar vazamentos de ar. O potencial é avaliado tanto em uma abordagem qualitativa, comparando os termogramas da termografia infravermelha passiva com a ativa. Além da abordagem quantitativa, testando métodos de interpretar numericamente os termogramas. Foi realizado experimento em um quarto de uma construção de 1980, no Noroeste de Portugal. O experimento foi realizado em 8 dias com condições climáticas diferentes e a medição foi feita tanto do lado interno quanto externo. Na análise qualitativa foi detectado, na abordagem ativa, que as infiltrações de ar começam a ser visíveis quando a diferença de pressão é de 25 Pa, e na abordagem passiva, a diferença de pressão precisa ser maior para haver vazamentos. Na análise quantitativa foram utilizadas duas diferentes posições da câmera para detecção dos vazamentos de ar, a câmera perpendicular (PP) e a câmera paralela

(PL) ao rolo do obturador de mão. A primeira técnica detectou os vazamentos de ar através da diferença de pressão e a segunda detectou os locais com a temperatura mais fria como pontos de fuga de ar. Os resultados mostraram que na análise quantitativa o cenário PP permitiu um discurso mais detalhada. Na análise qualitativa, a termografia ativa, mostrou mais claramente os resultados. Grinzato et al. (1998) utilizaram uma metodologia que resultou em um discurso da detecção e avaliação das falhas em edifícios. Para detecção dos vazamentos de ar, foi verificado em uma parede maciça com defeito em gesso a termografia infravermelha quantitativa, produzindo imagens antes e depois dos vazamentos para verificação. Verificou-se que um estímulo térmico, seja irradiação solar, fluxo de ar ou fluxo radiante de uma fonte artificial, seria útil na detecção de defeitos. A principal desvantagem da análise transiente é o aumento considerável do tempo de processamento, dificilmente alcançado sem equipamento exclusivo.

3.2 Pontes térmicas

As pontes térmicas são definidas como “todas e quaisquer zonas da envolvente de um edifício nas quais a resistência térmica é significativamente alterada relativamente à zona corrente da envolvente” (ISO, 2008 apud Castro, 2010). As alterações ocorridas na resistência térmica podem ser provocadas pela total ou parcial inserção de materiais com diferente condutividade térmica, pela variação da sua espessura e/ou pela desigualdade das suas áreas interna e externa, como acontece no caso das ligações entre paredes e pavimentos (Castro, 2010).

Asdrubali et al. (2012) trazem em seu trabalho, uma análise quantitativa, através da utilização da termografia infravermelha, com um experimento comparativo de uma ponte térmica isolada e outra não. O artigo propõe uma metodologia para realizar uma análise quantitativa de alguns tipos de pontes térmicas, através de levantamentos termográficos simples e posterior processamento analítico. A ponte térmica selecionada foi dada através da diferença da estrutura e do vidro da janela posta. Esta parede foi colocada entre 2 salas, com diferença de temperatura de 20°C. Foram consideradas 2 análises. A diferença entre o fator de incidência de pontes térmicas em relação às duas comparações é igual a 1606 para o isolado e 2000 para o não isolado. O fator de influência calculado in situ, é igual a 2,111 e o fator de incidência das pontes térmicas calculado pelo programa FLUENT é igual a 1,262. Portanto, há uma redução na perda de calor da ponte térmica de cerca de 40%. Para um melhor desempenho foram realizadas simulações para uma perda de calor global no inverno e achou-se perda de calor de 4684 W, 13,4% dos quais devido à ponte térmica. A correção desta ponte térmica reduziria a perda de calor para um valor de 4307 W e a incidência da ponte térmica para 8,8%.

Bianchi et al. (2014) utilizaram uma análise quantitativa da termografia infravermelha na medição em campo com o objetivo de avaliar as perdas de energia através de uma edificação de 10m² no qual foram avaliados as paredes externas, o teto e o piso. Para isto, foi feito um comparativo entre 9 fatores incidentes de pontes térmicas calculados e identificados. No geral a análise traz que as pontes térmicas aumentam a perda de calor através da edificação em 9%. Os principais resultados mostram que o procedimento é uma ferramenta confiável para quantificar a incidência de pontes térmicas. O’Grady et al. (2017a e 2017b), em seus dois trabalhos, trazem uma abordagem quantitativa e mostram a perda de calor pelas pontes térmicas através da diferença de temperatura e da transmitância térmica. Grinzato et al. (1998) trouxeram em sua pesquisa experimentos em três diferentes tipos de paredes: concreto, lã de rocha e painel sanduiche de concreto com uma barra cruzando a camada de isolamento. A finalidade foi a verificação do comportamento da ponte térmica na utilização da termografia infravermelha quantitativa. Veja a tabela 1 para obter mais informações.

Quadro 1. Resumo dos estudos sobre pontes térmicas

Autor	Metodologia	Principais Conclusões
Asdrubali, Baldinelli, Bianchi (2012)	Comparação dos resultados da termografia infravermelha quantitativa com dados obtidos por medidores de fluxo de calor e os resultados de uma análise de volume finito.	O fator de incidência da ponte térmica descreve corretamente o grau de dispersão da singularidade, quantificando o resultado da térmica correção de ponte.
Bianchi et al. (2014)	Utilização da termografia infravermelha quantitativa no monitoramento da área a ser estudada.	Aumento das perdas de calor de aproximadamente 9%
O'Grady, Lechowska, Harte (2017a)	Utilização da termografia infravermelha quantitativa sobre o estudo as pontes térmicas através da diferença de temperatura e transmissância térmica; metodologia experimental proposta pelo autor.	Vento impacta na perda de calor pela ponte térmica na parte plana. Para pontes térmicas com velocidades do vento entre 0,5 m/s e 4 m/s, o desvio relativo variaram entre + 5% e -9%.
O'Grady Lechowska, Harte (2017b)	Utilização da termografia infravermelha quantitativa sobre o estudo as pontes térmicas através da diferença de temperatura e transmissância térmica; metodologia experimental proposta pelo autor.	Funciona bem em laboratório. Depois de testada em condições reais, a metodologia pode ser aplicada em qualquer ponte térmica.

3.3 Propriedades térmicas

Jorge (2011) mostra que as paredes são elementos construídos visando separar os ambientes e quando a energia térmica é considerada, pode-se observar e quantificar através das propriedades térmicas. Como todo o objeto, as paredes têm propriedades mecânicas, químicas e térmicas. Nas propriedades térmicas, se destacam a transmitância térmica, difusividade térmica, resistência térmica, capacidade térmica, coeficiente de transferência de calor e da condutividade.

Aversa et al. (2017) propõe o estudo experimental do comportamento térmico de paredes opacas utilizando termografia ativa estimulada com o objetivo de avaliar a eficácia deste método em um comportamento dinâmico em paredes protótipos e verificação do seu sucesso para aplicação *in situ*. Ele compara uma parede de tijolos com um protótipo de parede com fibras de cânhamo. Notou-se claramente que as fibras de cânhamo implicaram em um aumento no fator de decréscimo (razão entre a transmitância térmica periódica e a transmitância térmica) de 0,87 para 0,92 para as paredes com as fibras. E também no aumento da diferença de tempo estimado. Conclui-se que diferentes resultados foram encontrados, sendo o próximo passo a medição *in situ*.

Grinzato et al. (2002) utilizaram termografia infravermelha e calcularam a difusividade térmica de uma amostra de tijolo de uma edificação antiga em alvenaria maciça, localizado no Arsenal Histórico de Veneza, realizando seis testes para auxiliar no mapeamento da umidade. Foi realizada primeiramente uma análise quantitativa com monitoramento contínuo e em seguida uma análise qualitativa para mapear a distribuição de umidade devido ao efeito de resfriamento da água por evaporação. O maior valor encontrado da difusividade térmica foi de $5.2800 \times 10^7 \text{ m}^2/\text{s}$ e o menor foi de $5,1288 \cdot 10^7 \text{ m}^2/\text{s}$. Os resultados mostraram que a aplicação para o mapeamento da umidade, na ligação entre as paredes e no conhecimento da difusividade térmica de tijolos e gesso foi um sucesso.

Robinson et al. (2017) tem por finalidade estudar um método simples e de baixo custo para estimar a difusividade térmica efetiva em paredes estruturais de edificações. Para isto, utilizaram a termografia infravermelha como um método experimental e de baixo custo para o cálculo da difusividade térmica da parede de concreto sob condições controladas. A maior dificuldade

encontrada neste trabalho foi o controle da perda de calor pelos limites laterais da seção, sendo calculado in situ, visto que em ambiente controlado, os limites laterais foram isolados. Este experimento barato e combinado com um modelo matemático resultou em uma difusividade do concreto de $7,2 \text{ m}^2/\text{s} \pm 0,27 \text{ m}^2/\text{s}$, que é suficientemente preciso. Para este experimento os limites laterais foram isolados, mas concluiu-se que há uma grande perda de calor para esses limites.

Danielsky e Fröling (2015) investigaram uma metodologia quantitativa para analisar o desempenho térmico da envoltória de uma edificação em uma condição de estado não estacionária, incluindo duas fases. Eles fizeram experimentos com parede de madeira exposta a condições externas para calcular o coeficiente de transferência de calor por convecção, achando-se o valor de $2,63 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$. Os parâmetros externos utilizados foram velocidade do vento, umidade e a queda da neve, além do fluxo de calor através da parede foi assumido para obter condição de estado estável apenas esparsamente e durante períodos curtos, se em tudo. Foi utilizado o HFM e a termografia infravermelha para o cálculo do coeficiente de transferência de calor e da condutividade. Os resultados acharam-se compatíveis com diferenças entre os métodos de 4% e 3%, respectivamente para a condutividade e o coeficiente de transferência global, sugerindo que o método da termografia é mais precisa.

Donatelli et al. (2016) utilizaram termografia ativa para duas paredes protótipos em condições ambientais controladas e calcularam a transmitância térmica in situ, comparando com a transmitância térmica calculada por um programa de computador. Os resultados mostraram que as medições de temperatura feitas no software (FEA) são idênticas às de uma parede real e que o procedimento permite a medição da temperatura em paredes protótipo ao longo do ano, sem interferência climática.

O'Grady et al. (2017a) tiveram o intuito de elaborar um estudo com um método eficiente, não destrutivo, baseado em um levantamento termográfico infravermelho ao ar live, para determinar o desempenho da ponte térmica. Para isto, eles compararam os valores das propriedades térmicas, principalmente da transmitância térmica, obtidos pela termografia infravermelha quantitativa, com os valores de uma caixa quente e por um programa de computador para ajuste dos resultados. Foi calculada a transmitância térmica destes 2 métodos com 3 velocidades de ventos diferentes e feita a comparação entre eles. Para o cálculo da transmitância térmica, o coeficiente convectivo externo foi determinado usando a aproximação de Jürges e o número de Nusselt. Os resultados deste estudo demonstraram a adequação de ambas as abordagens para o cálculo do valor da transmitância térmica, enquanto a aproximação de Jürges é menos demorada. A termografia infravermelha é uma ferramenta efetiva para a determinação da transmitância térmica.

O'Grady et al. (2017b) propõem a utilização de um método não invasivo e fácil de usar para fornecer medições quantitativas do desempenho térmico real da ponte térmica. Estudaram as propriedades térmicas e utilizaram a termografia infravermelha quantitativa além de um programa experimental feito para quantificar as pontes térmicas e testado em uma caixa quente calibrada e controlada. Eles utilizaram o cálculo da transmitância térmica e da variação de temperatura. Foram realizadas 3 amostras, e o maior valor encontrado pela medição foi tanto pela hot box, quanto pela termografia. A amostra 1 com, respectivamente, $0,441 \text{ W}/(\text{mK})$ e $0,436 \text{ W}/(\text{mK})$. Pode-se concluir que depois de testada em laboratório e com excelentes resultados para as condições externas, as observações serão um desafio para a precisão das medições pela termografia infravermelha.

3.4 Medição de temperatura

Datcu et al. (2005) utilizaram a termografia infravermelha quantitativa para a medição de paredes com o objetivo de melhorar a medição da temperatura ambiente, tanto interna quanto externa. Os autores utilizaram um espelho infravermelho, que permite grandes medidas de temperatura superficial por termografia infravermelha sob condições próximas do ambiente com maior precisão. Para validar o método, um estudo experimental foi realizado em uma parede de multicamadas, que simulou um padrão de isolamento. A metodologia abordada no trabalho, permitiu quantificar a radiação média ao redor do objeto usando um espelho de alumínio altamente

reflexivo e difusivo. Então foram utilizadas duas fontes de calor, uma com 24 e outra com 48 W/m^2 e os resultados encontrados foram comparados com os resultados do programa FLUENT para o ambiente interno, e no ambiente externo, foram comparados a temperatura da parede, com a da janela e com o do receptor de calor.

Lai et al. (2015) utilizaram termografia infravermelha passiva quantitativa para análise da parede externa de um arranha-céu. Foram utilizadas quatro paredes de concreto com diferentes revestimentos. A metodologia foi utilizada quando houve mudanças de fluxo de calor e intensidade solar. Eles utilizaram câmeras termográficas e um programa computacional para a análise. Porras-Amores et al. (2013) utilizaram a medição da parede e superfície a fim de localizar a temperatura do ar no interior da edificação. O estudo realizado enfoca no design do sistema, sua caracterização e quantificação da sua precisão em diferentes configurações. Eles desenvolveram ao logo do trabalho uma termografia quantitativa que visa desenvolver uma técnica precisa de medição. Foi feito experimento na garagem e no subsolo. Notaram-se pequenas variações de temperatura, longitudinalmente.

4. CONCLUSÃO

A termografia infravermelha, como mostrado, pode ser utilizada combinada com outros métodos para efeito de comparação de valores e estruturas.

Observou-se uma grande aplicabilidade que a termografia infravermelha traz na identificação dos pontos de vazamentos de ar. A utilização da termografia ativa ou passiva vai gerar diferentes resultados e a técnica ativa mostra mais claramente os vazamentos de ar. As vantagens destacadas na utilização da termografia infravermelha para a detecção dos vazamentos de ar é que os estímulos externos auxiliam nesta detecção. As incertezas identificadas foram as dificuldades no maior tempo de processamento da análise transiente, que necessita de um equipamento exclusivo para isto, e a interpretação dos dados dos gráficos e histogramas de pressão versus temperatura. Para pesquisas futuras, a comparação entre as imagens térmicas da termografia infravermelha passiva com a ativa em uma abordagem quantitativa seria de grande utilidade.

As vantagens encontradas nas pontes térmicas são avaliações de forma simples e eficaz do efeito da ponte térmica na construção do comportamento da energia térmica. Simplicidade da geometria da edificação facilita para valores medidos e calculados. Em particular, a incerteza do consumo de energia na configuração com pontes térmicas deve ser levada em conta o erro singular devido à análise de cada ponte térmica. O fator de incidência da ponte térmica, analiticamente definido, depende da temperatura interna do ar e da temperatura interna da parede para que a câmera termográfica infravermelha possa ler. As aplicabilidades sobre pontes térmicas identificadas através das medições são possível fazer as intervenções para a melhoria dos isolamentos. Além disto, é um meio útil para analisar, aperfeiçoar e validar as ferramentas de simulação 3D especialmente projetadas para a avaliação do desempenho energético em edifícios, uma vez que elas são capazes de avaliar campos térmicos de paredes internas e externas.

Em relação às propriedades térmicas, o que mais se abordou foi o cálculo da transmitância térmica, havendo vários métodos para calcular e comparar os resultados, sendo que há diferenças significativas entre a transmitância térmica calculada e a medida *in situ*. Além do mais, alguns trabalhos enfatizaram que a medição *in situ* das propriedades térmicas seria mais bem executada no inverno. Há um estudo feito em laboratório, indicando que o procedimento implementado visa a medição em paredes protótipos durante o ano todo, sem preocupações com mudanças climáticas. As vantagens encontradas da termografia infravermelha são a multidisciplinariedade e integração dos resultados. Dentre a incerteza, que se repetiu em alguns trabalhos foi, como a metodologia aplicada se comportaria ou qual seria o seu resultado em condições normais, ou seja, sem ser controladas em laboratório. As dificuldades encontradas foram bastante pontuais, tanto em relação a utilização da termografia infravermelha em prédios históricos devido à diversos fatores ambientais, quanto às perdas de calor não controladas pelos limites laterais da seção sob teste. E

não houve restrições quanto à aplicabilidade para este tópico.

Muito utilizado também foi a abordagem da termografia infravermelha para a medição de temperatura, a qual apresentou um alto poder comparativo. A termografia infravermelha tem a vantagem de mostrar imagens com diferentes identificações, para medir a temperatura da superfície em uma grande área de um elemento em construção, fornecendo assim, dados mais representativos em relação às medições pontuais. As dificuldades encontradas foram no monitoramento quantitativo através da termografia convencional apresenta problemas na medição da temperatura de superfície e condições de ar no interior da edificação. Além disto, pode ser feita a sua aplicação em diversas superfícies.

De uma forma geral, a maior parte dos trabalhos sobre a termografia infravermelha trouxe a análise quantitativa. A abordagem ativa também é bastante explorada. Percebeu-se que há uma multidisciplinariedade entre os tópicos abordados, visto que alguns autores, em seus trabalhos, utilizaram a termografia infravermelha para falar sobre mais de um assunto, enriquecendo e complementando o estudo feito.

Alguns autores utilizaram programas computacionais, principalmente para a medição das propriedades térmicas, quando havia estudos experimentais facilitando a comparação entre valores experimentais e teóricos. Os trabalhos que utilizaram experimentos com protótipos e condições controladas e obtiveram sucessos, deixaram uma importante consideração de que o próximo passo seria a medição in situ. Então espera-se que a termografia infravermelha seja cada vez mais explorada e possa trazer melhores desempenhos e economia energética nas edificações.

5. REFERENCIAS

ABNT - Associação brasileira de normas técnicas. (2013a). “*NBR 15575: Edificações habitacionais – Desempenho Parte 1 – 6*”. Rio de Janeiro.

ABNT - Associação brasileira de normas técnicas. (2013b). “*NBR 15572: Ensaio não destrutivo – Termografia Infravermelha – Guia para inspeção de equipamentos elétricos e mecânicos*”. Rio de Janeiro.

ABNT - Associação brasileira de normas técnicas. (2005). “*NBR 15220: Desempenho térmico das edificações Parte 1 – 5*”. Rio de Janeiro.

ABNT - Associação brasileira de normas técnicas. (2010). “*NBR 15866: Ensaio não destrutivo – Termografia - Metodologia de avaliação de temperatura de trabalho de equipamentos em sistemas elétricos*”. Rio de Janeiro.

ABNT - Associação brasileira de normas técnicas. (2009). “*NBR 15763: Ensaio não destrutivo – Termografia – Critérios de definição de periodicidade de inspeção em sistemas elétricos de potência*”. Rio de Janeiro.

Albatici, R., Passerini, F., Tonelli, A. M., Gialanella, S. (2013), “*Assessment of the thermal emissivity value of building materials using an infrared thermovision technique emissometer*”, Energy and buildings, V.66, p.33-40. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2013.07.004>

Albatici, R., Tonelli, A. M. (2010), “*Infrared thermovision technique for the assessment of thermal transmittance value of opaque building elements on site*”, Energy and Buildings, V.42, No.11, p.2177-2183. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2010.07.010>

Asdrubali, F., Baldinelli, G., Bianchi, G. (2012), “*A quantitative methodology to evaluate thermal bridges in buildings*”, Applied Energy, V.97, p.365-373. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2011.12.054>

ASTM. (2013a). “*C1046-95: Standard practice for in-situ measurement of heat flux and temperature on building envelope components*”, (West Conshohocken, United States: ASTM International), p. 10. <http://dx.doi.org/10.1520/C1046>

ASTM. (2013b). “*C1155-95: Standard practice for determining thermal resistance of building envelope components from the in-situ data*”, (West Conshohocken, United States: ASTM International), p. 8. <http://dx.doi.org/10.1520/C1155-95R13>

- ASTM. (2015a). “C1060-11a: Standard practice for thermographic inspection of insulation installations in envelope cavities of frame buildings”, (West Conshohocken, United States: ASTM International), p. 7. <http://dx.doi.org/10.1520/C1060-11AR15>
- ASTM. (2015b). “C1153-10: Standard practice for location of wet insulation in roofing systems using infrared imaging”, (West Conshohocken, United States: ASTM International), p. 6. <http://dx.doi.org/10.1520/C1153-10R15>
- Aversa, P., Palumbo, D., Donatelli, A., Tamborrino, R., Ancona, F., Galietti, U., Luprano, V. A. M. (2017), “Infrared thermography for the investigation of dynamic thermal behaviour of opaque building elements: Comparison between empty and filled with hemp fibres prototype walls”, *Energy and Buildings*, V.152, p.264-272. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.07.055>
- Bagavathiappan, S., Lahiri, B. B., Saravanan, T., Philip, J., Jayakumar, T. (2013), “Infrared thermography for condition monitoring – A review”, *Infrared Physics & Technology*, V.60, p.35-55. <https://doi.org/10.1016/j.infrared.2013.03.006>
- Barr, E. S. (1961), “The infrared pioneers—I. Sir William Herschel”. *Infrared Physics*, v. 1, p. 1-2.
- Bianchi, F., Pisello A. L., Baldinelli G., Asdrubali, F. (2014), “Infrared Thermography Assessment of Thermal Bridges in Building Envelope: Experimental Validation in a Test Room Setup”, *Sustainability*, V. 10, No. 6, p.7107-7120. <https://doi.org/10.3390/su6107107>
- Brás, A., Gonçalves, F., Faustino, P. (2014), “Cork-based mortars for thermal bridges correction in a dwelling: Thermal performance and cost evaluation”, *Energy and Buildings*, V.72, p.296–308. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2013.12.022>
- Cani, B. F., Marinoski, D. L., Lamberts, R. (2012), “Aplicação da termografia infravermelha para verificação da temperatura em telhas cerâmicas com diferentes teores de umidade e condições de limpeza da superfície” in: XIV Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído - XIV ENTAC, Juíz de Fora: MG (BR).
- Castro, J. L. B. B. (2010), “Quantificação dos coeficientes de transmissão térmica lineares - pontes térmicas”, Dissertação de Mestrado – Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Portugal, p.314.
- Ciocia, C., Marinetti, S. (2012). “In-situ emissivity measurement of construction materials”, in: 11th International Conference on Quantitative InfraRed Thermography, Napoly: Italy.
- Clark, M., McCann, D., Forde, M. (2003), “Application of infrared thermography to the nondestructive testing of concrete and masonry bridges”. *NDT&E International*, V.36, No. 4, pp. 265- 275.
- Danielski, I., Fröling, M. (2015). “Diagnosis of buildings’ thermal performance - a quantitative method using thermography under non-steady state heat flow”, *Energy Procedia*, V.83, p.320-329. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2015.12.186>
- Datcu, S., Ibos, L., Candau, Y., Mattei, S. (2005), “Improvement of building wall surface temperature measurements by infrared thermography”, *Infrared Physics & Technology*, V. 46, p. 451-467. <https://doi.org/10.1016/j.infrared.2005.01.001>
- Decreto-Lei Nº 80/2006. (4 de Abril de 2006). Regulamento das características do Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE).
- Diao, R., Sun, L., Yang, F. (2018), “Thermal performance of building wall materials in villages and towns in hot summer and cold winter zone in China”, *Applied Thermal Engineering*, V. 128, p. 517-530. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2017.08.159>
- Directive 2010/31/EU Of The European Parliament and of the Council. (2010). Disponível em: <<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/HTML/?uri=CELEX:32010L0031&from=IT>> Acessado em: 13 de Junho de 2018.
- Donatelli, A., Aversa, P., Luprano, V. A. M. (2016), “Set-up of an experimental procedure for the measurement of thermal transmittances via infrared thermography on lab-made prototype walls”, *Infrared Physics & Technology*, V. 79, p. 135-143. <https://doi.org/10.1016/j.infrared.2016.10.005>

- EIA. U. S. Energy information administration. (2018). Disponível em: <https://www.eia.gov/tools/faqs/faq.php?id=86&t=1>. Acessado em: 15 de Junho de 2018.
- EN. (1999), “13187: Thermal performance of buildings. Qualitative detection of thermal irregularities in building envelopes. Infrared method”, (London, United Kingdom: British Standards Institution), p. 16. <https://doi.org/10.3403/01569434U>
- FLIR-Forward Looking Infrared. (2017). “*User’s manual FLIR Cx Series*” (Wilsonville, United States: FLIR), p. 67.
- Ghahramani, A., Castro, G., Karvigh, S. A., Becerik-Gerber, B. (2018), “*Towards unsupervised learning of thermal comfort using infrared thermography*”, Applied Energy, V. 211, p. 41-49. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2017.11.021>
- Green Building Council Brasil. (2015), “*O consumo de energia nas edificações do Brasil*”. Disponível em: <http://www.gbcbrazil.org.br/detalhe-noticia.php?cod=119>. Acesso em: 03 de julho de 2018.
- Grinzato, E., Bison, P.G., Marinetti, S. (2002). “*Monitoring of ancient buildings by the thermal method*”, Journal of Cultural Heritage, V.3, p. 21–29. [https://doi.org/10.1016/S1296-2074\(02\)01159-7](https://doi.org/10.1016/S1296-2074(02)01159-7)
- Grinzato, E., Vavilov, V., Kauppinen, T. (1998). “*Quantitative infrared thermography in buildings*”, *Energy and Buildings*, V.29, No.1, p. 1-9. [https://doi.org/10.1016/S0378-7788\(97\)00039-X](https://doi.org/10.1016/S0378-7788(97)00039-X)
- ISO (2015), “*6781-3: Performance of buildings -- Detection of heat, air and moisture irregularities in buildings by infrared methods -- Part 3: Qualifications of equipment operators, data analysts and report writers*”, (Geneva, Suíça: [International Organization for Standardization](http://www.iso.org)), p. 18.
- ISO (2008), “*13790: Energy performance of buildings -- Calculation of energy use for space heating and cooling*”, (Geneva, Suíça: [International Organization for Standardization](http://www.iso.org)), p. 167.
- Jorge, L. F. A. (2011). “*Determinação do coeficiente de transmissão térmica em paredes de edifícios*”, Dissertação de Mestrado, Universidade da Beira Interior, Portugal, p. 112.
- Kylili, A., Fokaides, P. A., Christou, P., Kalogirou, S. A. (2014). “*Infrared thermography (IRT) applications for building diagnostics: A review*”, Applied Energy, V.134, p.531-549. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2014.08.005>
- Lai, W. W., Lee, K., Poon, C. (2015). “*Validation of size estimation of debonds in external wall’s composite finishes via passive Infrared thermography and a gradient algorithm*”, Construction and Building Materials, V. 87, p. 113-124. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.03.032>
- Lerma, C., Barreira, E., Almeida, R. M. S. F. (2018). “*A discussion concerning active infrared thermography in the evaluation of buildings air infiltration*”, Energy and Buildings, V. 168, p. 56-66. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2018.02.050>
- Lucchi, E. (2018). “*Applications of the infrared thermography in the energy audit of buildings: A review*”, Renewable and Sustainable Energy Reviews. v. 82, parte 3, p. 3077-3090. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.10.031>
- Maldague, X. (2001). “*Infrared and Thermal testing: Nondestructive testing handbook*. 3th ed, Columbus, OH: Patrick O. Moore, 2001.
- Marino, B. M., Muñoz, N., Thomas, L. P. (2016). “*Estimation of the surface thermal resistances and heat loss by conduction using thermography*”, *Applied Thermal Engineering*, V. 114, p. 1213-1221. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2016.12.033>
- Marinoski, D. L., Souza, G. T., Sangoi, J. M., Lamberts, R. (2010). “*Utilização de imagens em infravermelho para análise térmica de componentes construtivos*”, in: XIII Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, Canela: Rio Grande do Sul (BR).
- Marques, T. H.T., Chavatal, K. M. S. (2013). “*A Review of the Brazilian NBR 15575 standard: applying the simulation and simplified methods for evaluating a social house thermal performance*”, in: Symposium on Simulation for Architecture and Urban Design, San Diego: Califórnia (EUA).

- Meola, C. (2012), *Infrared thermography: recent advances and future trends*. Bentham Books, Italy, p.24-26. eISBN: 978-1-60805-143-4.
- Milovanović, B., Pečur, I. B., Štirmer, N. (2016). “*The methodology for defect quantification in concrete using ir thermography*”, *Journal of civil engineering and management*, V. 23, p. 573-582. <https://doi.org/10.3846/13923730.2016.1210220>
- O’Grady, M, Lechowska, A. A., Harte, A. M. (2017b). “*Infrared thermography technique as an in-situ method of assessing heat loss through thermal bridging*”, *Energy and building*, V.135, p. 20-32. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.11.039>
- O’Grady, M., Lechowska, A.A., Harte, A. M. (2017a). “*Quantification of heat losses through building envelope thermal bridges influenced by wind velocity using the outdoor infrared thermography Technique*”, *Applied Energy*, V.208, p. 1038-1052. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2017.09.047>
- Pei, C., Qiu, J., Liu, H., Chen, Z. (2016). “*Simulation of surface cracks measurement in first walls by laser spot array thermography*”, *Fusion Engineering and Desing*, V.109-111, parte B, p. 1237-1241. <https://doi.org/10.1016/j.fusengdes.2015.11.055>
- Porras-Amores, C, Mazzarrónb, F.R., Canas, I. (2013), “*Using quantitative infrared thermography to determine indoor air temperature*”, *Energy and Building*, V.65, p.292-298. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2013.06.022>
- Rajic, N. (2002), “*Principal component thermography for flaw contrast enhancement and flaw depth characterisation in composite structures*”, *Composite Structures*, V. 58, p. 521-528. [https://doi.org/10.1016/S0263-8223\(02\)00161-7](https://doi.org/10.1016/S0263-8223(02)00161-7)
- Robinson, A. J., Lesage, A. F. J., Reilly, A., Mcgranaghan, G., Byrne, G., O’hegarty, R., Kinnane, O. (2017), “*A New Transient Method for Determining Thermal Properties of Wall Sections*”, *Energy and Buildings*, V. 142, p. 139-146. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.02.029>
- Rocha, J. H. A., Póvoas, Y. V. (2017). “*A termografia infravermelha como um ensaio não destrutivo para a inspeção de pontes de concreto armado: Revisão do estado da arte*”, *Revista ALCONPAT*, V. 7, nº 3. <http://dx.doi.org/10.21041/ra.v7i3.223>
- Savastano Junior, H., Pimentel, L. L. (2000). “*Viabilidade do aproveitamento de resíduos de fibras vegetais para fins de obtenção de material de construção*”, [Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental - Agriambi](http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662000000100019), V. 4, n. 1, p. 103-110. <http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662000000100019>
- Silva, E. P., Cahino, J. E. M., Melo, A. B. (2012), “*Avaliação do desempenho térmico de blocos EVA*”, in: XIV Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, Juíz de Fora: Minas Gerais (BR).
- Simões, I., Simões, N, Tadeu, A., Riachos, J. (2014), “*Laboratory assessment of thermal transmittance of homogeneous building elements using infrared thermography*”, in: 12th International Conference on Quantitative InfraRed Thermography, Bordeaux: France.
- Smith, R. A., Jones, F. E., Chasmar, R. P. (1958), *The Detection and Measurement of Infrared Radiation*, Oxford University Press.
- Tanic, M., Stankovic, D., Nikolic, V., Nikolic, M., Kostic, D., Milojkovic, A., Spasic, S., Vatin, N. (2015). “*Reducing Energy Consumption by Optimizing Thermal Losses and Measures of Energy Recovery in Preschools*”, *Procedia Engineering*, v. 117, p. 919 – 932. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2015.08.179>
- Viégas, D. J. A. (2015). “*Utilização de termografia infravermelha em fachadas para verificação de descolamento de revestimentos*”, *Dissertação de Mestrado – Escola Politécnica da Universidade de Pernambuco, Recife*, p. 164.