



PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL PARA ESTUDO DA TRANSFERÊNCIA DE CALOR ATRAVÉS DE ELEMENTOS CONSTRUTIVOS

Robson Fernandes de Farias^a, George Santos Marinho^b

^a*Instituto de Química / Universidade Federal do Rio Grande do Norte*

^b*Departamento de Engenharia Mecânica / Universidade Federal do Rio Grande do Norte*

Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 59078-970, Natal-RN-Brasil. gmarinho@ct.ufrn.br

Resumo

Propõe-se um método experimental para estudo da transferência de calor através de materiais utilizados na construção civil. A aplicação do método requer a construção de um dispositivo composto de uma fonte de radiação térmica com potência regulável (para simular o aquecimento devido à radiação solar) e de câmaras portáteis (que simulam cômodos de habitações). O dispositivo pode ser construído a partir de componentes de baixo custo e requer mão de obra não especializada para montagem e operação. Apesar de simples, o procedimento permite comparar o comportamento térmico entre elementos construtivos convencionais e modificados, facilitando o desenvolvimento de novos materiais para aumentar ou diminuir a transferência de calor. A proposta pode representar uma alternativa aos testes padronizados, que demandam equipamentos caros e procedimentos complexos baseados em normas internacionais.

Palavras-chave: Transferência de calor; Isolamento térmico; Construção civil.

Abstract

An experimental method for studying heat transfer through materials used in civil construction is proposed. The application of the method requires the construction of a device composed by a source of thermal radiation with adjustable power (to simulate the heating due to solar radiation) and portable chambers (that simulate rooms of houses). The device can be built from low-cost components and requires unskilled labor for assembly and operation. Although simple, the procedure allows to compare the thermal behavior between conventional and modified building elements, facilitating the development of new materials to increase or decrease heat transfer. The proposal may represent an alternative to standardized tests, which require expensive equipment and complex procedures based on international standards.

Keywords: Heat transfer; Thermal insulation; Civil construction.

1. INTRODUÇÃO

As trocas de calor entre os elementos construtivos e o meio determinam a condição de conforto térmico nos espaços habitáveis. Em regiões onde o clima é extremo, recorrem-se a equipamentos mecânicos (aquecedores ou condicionadores de ar) para se atingir condições de conforto térmico suportáveis à vida – seja ela humana ou de outra espécie. Portanto, a escolha do material que irá compor o envoltório da construção é o primeiro passo para se evitar desperdício de energia ^[1].

Selecionar material de construção representa desafio permanente ao projetista, uma vez que, obrigatoriamente, ele deve considerar parâmetros que se combinam de modo complexo, como: resistência mecânica, resistência térmica, capacidade calorífica, massa específica, higroscopicidade, porosidade, leveza, aspectos estéticos e, principalmente, custo.

A lista de parâmetros que determinam as características interessantes ao projeto de conservação de energia é muito maior, tornando praticamente impossível combinar em um mesmo material construtivo mais que poucas características desejáveis.

A relação entre iluminação natural e isolamento térmica serve para ilustrar a complexidade da questão da escolha do material para compor o envoltório de uma edificação. Visando reduzir a carga térmica devido a passagem da radiação solar através de vidros, o projetista pode diminuir o tamanho das janelas. Porém, isso implicará em diminuir a iluminação natural, deixando aos usuários o recurso da iluminação artificial, que aumentará a carga térmica.

Se, por outro lado, o projetista beneficiar a iluminação natural, inserindo mais pontos de passagem da luz solar ou ampliando a área transparente, aumentará a carga térmica na edificação. Esse desafio tem estimulado pesquisadores a buscar alternativas que combinem, em um mesmo material, características de isolamento térmica e transparência. Atualmente, já se dispõe de materiais transparentes isolantes térmicos, denominados “TIMs” – *transparent insulation material* ^[2].

Existe um conjunto extenso de técnicas que permite reduzir os efeitos da carga térmica solar em edificações situadas em baixas latitudes, caso da região Nordeste do Brasil. E há um conjunto ainda maior a ser explorado.

Sabendo que quase 70 % da carga térmica em habitações na região Nordeste se deve à transferência de calor através dos fechamentos horizontais, Borges, Oliveira Neto e Marinho (2008) ^[3] estudaram a aplicação de poliuretano de mamona ao isolamento térmico de coberturas.

Neira e Marinho (2009) ^[4] estudaram o uso da fibra de sisal como isolante térmico. Enquanto Ferreira (2003) ^[5] estudou o uso de um compósito de fibra de coco e látex para isolamento térmico de coberturas.

Diante da complexidade intrínseca à seleção de materiais da construção civil, resta ao projetista recorrer à análise experimental. Na presente proposta, discute-se uma alternativa aos equipamentos caros e técnicas complexas (e.g., guarded hot plate ^[6]), utilizados no estudo de transferência de calor através de elementos construtivos.

2. MATERIAL E PROCEDIMENTOS

Sendo meta desta proposta facilitar o estudo experimental de materiais alternativos para redução do fluxo de calor através de elementos construtivos, buscou-se usar recursos simples e equipamentos comuns a laboratórios de instituições públicas de ensino e pesquisa.

Prevê-se que, após a formação de um grupo de estudo, a pesquisa experimental comece a ser desenvolvida utilizando-se dispositivos baratos, de fácil montagem e passível de ser operado por Alunos de Iniciação Científica ou pesquisadores discentes na fase inicial do curso de pós-graduação.

2.1 CONSTRUÇÃO DA FONTE TÉRMICA

Ainda é possível conseguir lâmpadas incandescentes de 100 W, seja no comércio ou por meio de doação – que pode ser acertada junto a empresas concessionárias de energia elétrica que dispõem de programa de troca de lâmpadas.

Pode-se construir um banco de lâmpadas a partir de material de sucatas. Sugere-se usar uma prancha de madeira leve ou de material aglomerado (do tipo utilizado em divisórias de escritórios) como suporte das lâmpadas. Para sustentar a prancha de madeira, pode-se utilizar uma estrutura metálica, que pode ser dotada de rodas e ter um eixo pivotante, para permitir bascular a prancha com lâmpadas.

A prancha de madeira deve ter uma face revestida de papel alumínio, para refletir a luz das lâmpadas na direção das câmaras de testes. Os soquetes das lâmpadas podem ser de cerâmica, e podem ser fixados à prancha de madeira por meio de parafusos. Na figura 1, observa-se um exemplo de banco de lâmpadas construído para servir de fonte térmica.



Figura 1 – Fonte térmica / banco de lâmpadas incandescentes

O arranjo das lâmpadas deve maximizar a iluminação direta da parte superior das câmaras de testes, evitando a iluminação de suas superfícies laterais.

As lâmpadas devem ser ligadas em série. Desse modo, se uma lâmpada queimar, todas as outras serão desligadas e o operador identificará o problema, cancelando o experimento. Essa medida serve para evitar que sejam obtidos dados das câmaras submetidas a aquecimentos desiguais, fato que invalidaria a comparação.

No caso do presente trabalho, construiu-se um banco com 24 lâmpadas incandescentes de 100 W, totalizando 2.400 W de potência elétrica. Recomenda-se deixar um espaço com cerca de 10 cm entre as superfícies dos bulbos, para evitar sobreaquecimento.

Para conseguir variar a potência da fonte térmica, podem ser criados arranjos do circuito elétrico para permitir que sejam ligadas fileiras de lâmpadas de modo independente.

Podem ser feitos furos no suporte metálico que sustenta o banco de lâmpadas, de modo a permitir que a prancha de madeira seja fixada em alturas diferentes em relação às câmaras de testes. Essa opção foi adotada na presente proposta, estando ilustrada na figura 2. O uso de dispositivo elétrico resistivo (dimmer) é outra opção. Contudo, encarece os custos do projeto.

Usar o Sol como fonte térmica tem o inconveniente da necessidade de exposição das câmaras ao ar livre. Isso faz com que elas fiquem sujeitas às inconstâncias do vento e, portanto, sofram flutuações nas taxas de perda de calor por convecção. Utilizar um espelho móvel resolveria o problema, mas implicaria na disposição de um arranjo especial do local em que as câmaras serão montadas para permitir a entrada da luz solar por até 12 horas ininterruptas, além do inconveniente da necessidade de uso de um dispositivo para compensar o deslocamento aparente do Sol.



Figura 2 – Fonte térmica posicionada horizontalmente

2.2 CONSTRUÇÃO DAS CÂMARAS DE TESTE

As câmaras de teste devem ser o tanto quanto possível idênticas, com dimensões que permitam a acomodação simetricamente sob o banco de lâmpadas. Podem ser de madeira leve (e.g., balsa), ou de folhas de MDF intercaladas por uma camada de EPS. Neste trabalho, preferiu-se utilizar placas de divisórias de Eucatex, mas também poderia ter sido empregado partes de portas feitas do mesmo material. Ambas são dotadas de nervuras internas, entre as folhas, que lhes confere resistência mecânica. Além disso, há a vantagem do ar confinado entre as folhas de Eucatex servir como isolante térmico. As câmaras foram construídas com formato cúbico, com cerca de 50 cm de lado e 50 cm de altura.

Cada câmara deve possuir barrotes de madeira fixados na parte superior interna, cerca de 5 a 10 cm abaixo da borda, para servir de suporte para sustentação da cobertura. Podem ser fixados braços de madeira na parte externa, para facilitar o deslocamento (por meio de rodas instaladas na base).

Após unir as paredes à base, pode-se pintar externamente com tinta branco neve (para maximizar a reflexão da energia proveniente do banco de lâmpadas) e internamente com tinta preto fosco (para maximizar a absorção de energia). Os cantos internos podem ser recobertos com papel feltro (preto), tiras de cortiça ou de borracha. A meta é reduzir ao mínimo o fluxo de calor através das paredes e das bases da câmara, ao mesmo tempo em que se deve procurar aumentar ao máximo o fluxo de calor através da cobertura.

A cobertura possui dupla função: permitir fluxo de calor através do elemento construtivo analisado e impedir a o fluxo de ar através da câmara. Para isso, utilizou-se uma placa quadrada de aço, pintada com tinta preto fosco, com 10 mm de espessura e lado um pouco menor que o abertura da câmara. Como forro, utilizou-se uma placa quadrada de MDF com 3mm de espessura e mesmas dimensões da placa de aço.

Na figura 3 observa-se uma das câmaras construídas no Laboratório de Transferência de Calor da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, na qual se vê instalada a placa de aço (ainda sem a pintura).



Figura 3 – Câmara para teste de elementos construtivos

Na figura 4 apresentam-se as duas câmaras com as placas de aço pintadas e os termopares instalados.

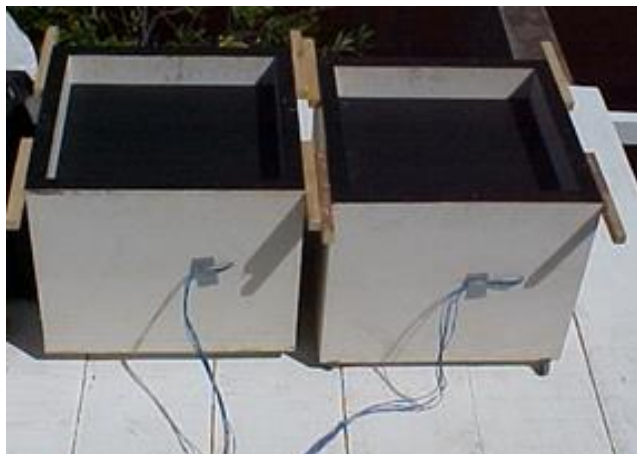


Figura 4 – Câmaras instrumentadas, prontas para uso

2.3 INSTRUMENTAÇÃO E PROCEDIMENTOS

A temperatura é a variável de interesse no estudo. Portanto, podem ser utilizados termopares instalados nas câmaras e ligados a sistemas de aquisição de dados por meio de computador, que permite a coleta automática.

Os termopares podem ser instalados nos pontos indicados na figura 5, a saber: sob a placa de aço (T_1 e T_5); sobre a placa de MDF (T_2 e T_6); na altura média (T_3 e T_7); e na base (T_4 e T_8). Os termopares são introduzidos por meio de um pequeno furo na parede lateral da câmara.

Pode-se utilizar cola de secagem rápida para fixar o termopar na base da câmara, na placa de MDF e na placa de aço. Um tubo de plástico (canudo) pode ser utilizado para sustentar o termopar que mede a temperatura do ar no meio da câmara.

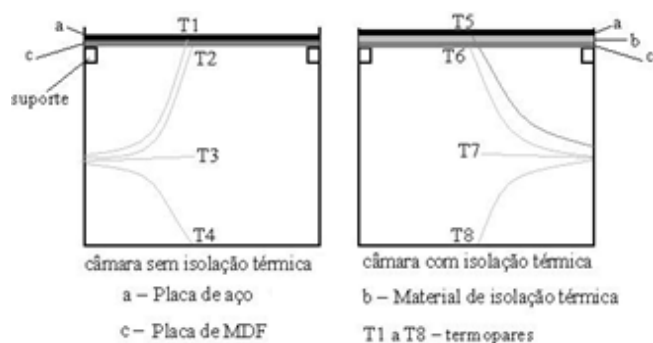


Figura 5 – Pontos de instalação dos termopares

O elemento construtivo ou material de isolamento térmica a ser analisado deve ser colocado sobre a placa de MDF. Em seguida, coloca-se a placa de aço sobre o elemento. Forma-se, assim, um sanduíche de diferentes materiais.

A configuração mais simples é aquela na qual uma das câmaras é coberta pelo sanduíche placa de aço / material / placa de MDF, enquanto a outra câmara é coberta pela placa de aço instalada diretamente sobre a placa de MDF (câmara de referência).

É possível adotar uma configuração apropriada à comparação de um novo material com um material de referência, onde uma câmara contém o material de estudo (e.g., manta de composto fibra vegetal – látex) e a outra o material de referência (e.g., placa de fibro-cimento).

Quando se trata de uma superfície não plana – e.g., telha colonial ou telha ondulada, utiliza-se espuma derivada de petróleo, encontrada em casas de material para construção.

Os experimentos podem ser realizados em uma sala com área mínima em torno de 15 m², dotada de equipamento de climatização. Deve-se evitar o fluxo de ar diretamente sobre as câmaras. Além disso, é necessário evitar acesso à sala enquanto o experimento estiver em desenvolvimento.

Independentemente do tipo de material a ser analisado, recomenda-se sempre realizar o primeiro experimento durante um período mínimo de 24 horas. Desse modo, consegue-se determinar, com segurança, o tempo requerido para o sistema atingir o regime permanente. O experimento pode ser dividido em aquecimento (~ 24 h) e resfriamento (~12 h). Em ambos os casos, o condicionador de ar deve permanecer ligado.

Para análise da estabilidade térmica das câmaras, recomenda-se realizar experimentos individuais, onde o material de interesse da pesquisa deve ser deixado de fora.

Se a sala de experimentos possuir área em torno de 15 m², deve-se ligar o condicionador de ar cerca de quatro horas antes de cada experimento. Em seguida, iniciar a gravação de dados via computador, ligar as lâmpadas e lacrar a sala. Na figura 6 observa-se o conjunto pronto para realização de experimento de verificação da estabilidade térmica.



Figura 6 – Dispositivo para estudo da transferência de calor através de elementos construtivos

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na figura 7 apresentam-se os resultados de três experimentos para verificação da estabilidade da câmara de teste padrão, considerando-se a temperatura medida pelo termopar T_1 , instalado na parte inferior da placa de aço.

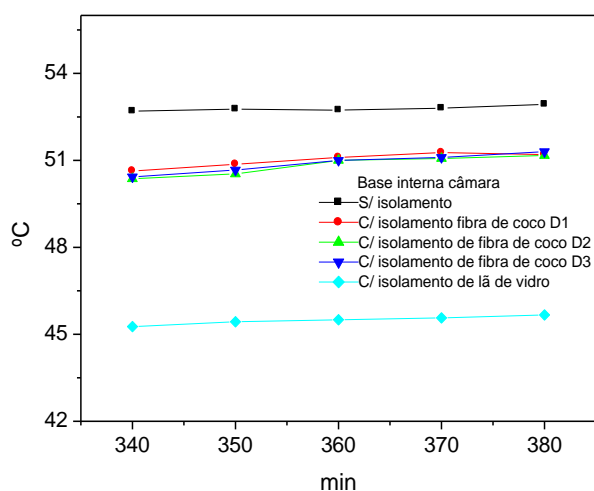


Figura 7 – Temperatura da parte inferior da placa de aço, medida por meio do termopar T_1

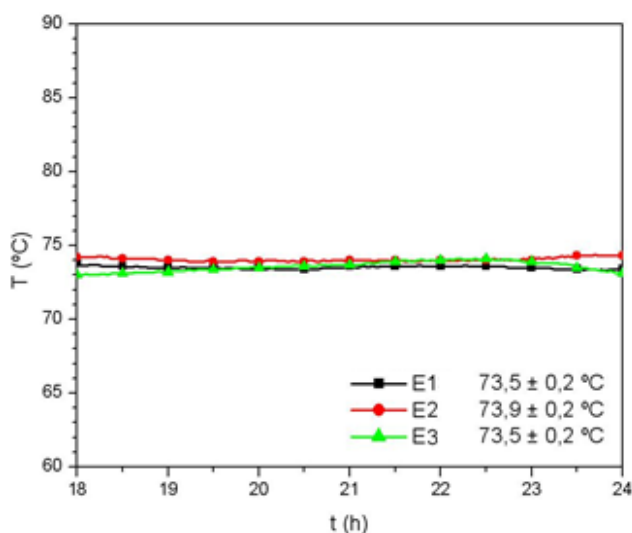


Figura 8 – Comparação entre materiais de isolamento térmica, para t após 6 horas de aquecimento ^[7]

Constatou-se que o tempo para estabilização térmica das câmaras situa-se entre 12 e 14 horas, definido como sendo aquele onde as amplitudes de variação das temperaturas,

tomadas nos quatro pontos internos à câmara, tornam-se inferiores a 1 $^{\circ}\text{C}$.

Após 18 horas de aquecimento, as amplitudes de variação de temperatura aproximam-se de 0,5 $^{\circ}\text{C}$ (ver legendas E_1 , E_2 e E_3 da figura 7).

O teste também serviu para determinar a distância ideal da fonte térmica à placa, considerada como aquela que resulta em uma temperatura máxima próxima à temperatura obtida quando da exposição da placa ao Sol (teste out-door), i.e., em torno de 74 $^{\circ}\text{C}$.

Nas figuras 8 e 9 apresentam-se resultados e experimentos sendo realizados, respectivamente, em ambos foram utilizados os procedimentos descritos no presente trabalho.

Na figura 8 apresentam-se os dados das temperaturas médias na base da câmara de testes nas situações com e sem isolamento térmica, para três densidades de compósito fibra de coco – látex, comparados aos dados obtidos para lã de vidro.

Na figura 9 observam-se placas de compósito cimentício durante experimento no LTC / UFRN.

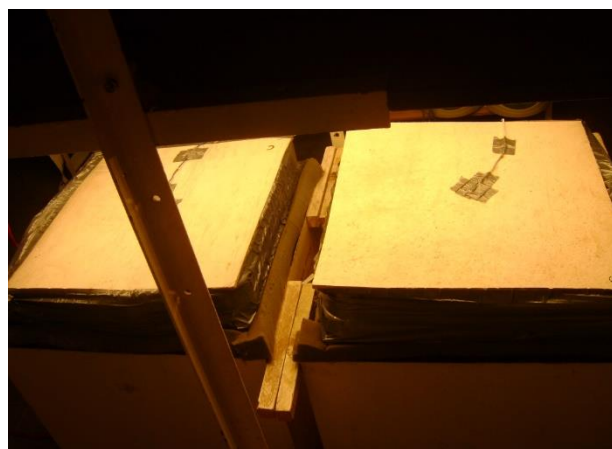


Figura 9 – Experimento de análise de transferência de calor em compósitos cimentícios

5. CONCLUSÃO

A técnica proposta permite, por meio de recursos laboratoriais acessíveis, analisar experimentalmente a transferência de calor através de elementos construtivos alternativos e convencionais, facilitando a pesquisa, o desenvolvimento e a inovação atinentes aos materiais compósitos para uso na construção civil.

Pode ser interessante considerar o resfriamento do material para obtenção de outros dados (e.g., inércia térmica).

Os estudos podem ser complementados por experimentos para análise de propriedades térmicas dos materiais (e.g.,

condutividade, difusividade, capacidade calorífica e resistividade).

AGRADECIMENTO

À Direção do Núcleo Tecnológico Industrial da UFRN.

REFERÊNCIAS

[1] BEZERRA, Luciano André Cruz; MARINHO, George Santos. *Elementos de alvenaria termo-isolante produzidos com poliestireno expandido reciclado*. Mens agitat, v. 3, p. 17-26, 2008.

[2] SUN, Yanyi; WILSON, Robin; WU, Yupeng. *A Review of Transparent Insulation Material (TIM) for building energy saving and daylight comfort*. Elsevier, Applied Energy. 226, 2018, p. 713 – 729.

[3] BORGES, J. C. S.; OLIVEIRA NETO, M. L.; MARINHO, G. S. *Análise de desempenho térmico de poliuretanas aplicadas ao isolamento térmico de coberturas*. In: II Congresso Brasileiro de Energia Solar - Conferência Regional Latino-Americana da ISES, 2008, Florianópolis - SC. II Congresso Brasileiro de Energia Solar - Conferência Regional Latino-Americana da ISES. Florianópolis - SC: UFSC, 2008. v. 1. p. 1-1.

[4] NEIRA, D. S. M.; MARINHO, G. S. *Nonwoven sisal fiber as thermal insulator material*. Journal of Natural Fibers, v. 6, p. 115-126, 2009

[5] FERREIRA, Lucemaide Batista Miranda. *Compósito vegetal para isolamento térmico de coberturas*. 2003. Dissertação (Mestrado em Programa de Pós Graduação em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Orientador: George Santos Marinho.

[6] ROTTMANN, Matthias; BEIKIRCHER, Thomas; EBERT, Hans-Peter. *Thermal conductivity of evacuated expanded perlite measured with guarded-hot-plate and transient-hot-wire method at temperatures between 295 K and 1073 K*. Elsevier, International Journal of Thermal Sciences. Volume 152, June 2020, 106338.

[7] FERREIRA, Lucemaide Batista Miranda. *Compósito vegetal para isolamento térmico de coberturas*. 2003. Dissertação (Mestrado em Programa de Pós Graduação em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Orientador: George Santos Marinho.