

ANÁLISE DE PROPRIEDADES TERMOFÍSICAS DE COMPÓSITO DE CIMENTO E FIBRAS VEGETAIS PARA USO EM EDIFICAÇÕES RESIDENCIAIS

Taynah Teles Feijó (1); Gianna Melo Barbirato (2); George Santos Marinho (3)

(1) Arquiteta e Urbanista, Mestre pelo Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo,

(2) PhD, Professora da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, gmb@ctec.ufal.br

Universidade Federal de Alagoas, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Campus A C Simões, Maceió - AL, 57072 970, Tel.: (82) 3214 1266

(3) PhD, Professor do Departamento de Engenharia Mecânica, gmarinhol@ct.ufrn.br, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Centro de Tecnologia, Laboratório de Transferência de Calor, Avenida Senador Salgado Filho, 3000 - Lagoa Nova, Natal - RN, 59078-970.

RESUMO

A determinação de propriedades termofísicas de materiais constitui uma etapa importante do estudo do desempenho térmico de sistemas construtivos destinados à redução da carga térmica em edificações. No presente trabalho são descritos os procedimentos laboratoriais de análise de propriedades termofísicas (condutividade e resistência térmica) de amostras de compósitos de matriz de cimento e reforço de fibra vegetal (pó de madeira), usados como painéis de vedação em edificações residenciais de interesse social. As medições foram realizadas por meio do equipamento Thermal Analyzer KD2 Pro, que emprega o método de sonda aquecida para medição das propriedades térmicas de materiais sólidos. Aspectos dos procedimentos experimentais são comentados, destacando-se a importância que representam na etapa de análise dos dados. Os resultados demonstraram, a partir do valor da resistência térmica determinada experimentalmente e do cálculo da transmitância térmica, que o compósito pode apresentar desempenho térmico adequado para sua aplicação em habitações em todas as zonas bioclimáticas do país, observadas as especificidades de exposição ao clima local.

Palavras-chave: propriedades termofísicas, painel de vedação, desempenho térmico.

ABSTRACT

The determination of thermal properties of materials constitutes an important step in the study of thermal performance of constructive systems intended for reduction of thermal load in buildings. In this paper the procedures for laboratory analysis of physical term properties (conductivity and thermal resistance) of samples of cement matrix composites and reinforcement of vegetable fiber (wood dust), used as sealing panels in residential buildings of social interest are described. The measurements were performed by means of the Thermal Analyzer equipment KD2 Pro, which employs the heated probe method for the measurement of thermal properties of solid materials. Aspects of the experimental procedures are discussed, to highlight the importance that represent the data analysis stage. The results showed, from the value of thermal resistance experimentally determined and thermal transmittance calculation, that the studied composite may have adequate thermal performance for its application for housing purposes in all bioclimatic zones, making sure of the specific exposure conditions to local climate.

Keywords: thermal proprieties, partition panel, thermal performance

1. INTRODUÇÃO

Na construção civil, são relativamente frequentes os avanços decorrentes da introdução de processos construtivos inovadores e desenvolvimento de materiais que podem resultar em ganhos de qualidade e produtividade. Os elementos de vedação vertical, como painéis de vedação pré-fabricados em argamassas cimentícias, painéis metálicos e painéis de cimento reforçado com fibra de vidro ilustram algumas das novas tecnologias já incorporadas ao mercado (PEIXOTO; GOMES, 2006).

Desenvolver e incorporar tecnologias para atender à demanda por edificações que apresentem bom desempenho térmico e, desse modo, baixo consumo de energia, são alguns dos desafios da construção civil contemporânea. Daí a importância da adequação climática das edificações, através do uso de estratégias bioclimáticas. Quanto aos materiais, o desafio está em desenvolver alternativas que agreguem propriedades especiais, produtividade e baixo custo, de modo a permitir que a inovação chegue ao setor habitacional.

Menezes (2006) argumenta que deve haver uma conformidade entre as definições tecnológicas e os parâmetros técnicos estabelecidos por normas nacionais e internacionais para que as edificações ofereçam condições de habitabilidade e conforto aos seus ocupantes. Assim, a inserção de novas tecnologias na construção civil deve aliar produtividade, conforto e sustentabilidade, com adequação às normas de desempenho vigentes. No Brasil, as normas NBR 15220 (ABNT, 2005) e NBR 15575 (ABNT, 2013) apresentam orientações aos profissionais interessados em considerar aspectos de conforto térmico e eficiência energética em seus projetos.

Sabe-se que o desempenho térmico da edificação é influenciado por diversos aspectos, dentre eles: o tipo de materiais e cores empregadas; a existência ou não de materiais isolantes na edificação em paredes e cobertura; a orientação, tamanho, e tipo de vidro das aberturas; as cargas térmicas internas e principalmente, a adoção ou não de estratégias de projeto relacionadas ao clima.

Em vários países o desempenho ambiental, particularmente o térmico de uma edificação é um dos requisitos fundamentais para aprovação dos projetos arquitetônicos pelas autoridades competentes, uma vez que o tipo de envolvente da mesma, que pode ter maior ou menor resistência aos ganhos ou perdas térmicas, influencia bastante no seu gasto energético, determinando assim o uso de condicionamento artificial (LAMBERTS, TRIANA, 2007).

A previsão do comportamento térmico da edificação é um dos aspectos que determinam a condição de habitabilidade, uma vez que as trocas térmicas estabelecem o balanço energético e, dessa forma, o fluxo de calor e as variações de temperatura no interior da edificação. Cabe ao projetista adotar procedimentos para que, após o fim da obra, a edificação apresente condições de conforto térmico e de eficiência energética recomendadas pelas normas. Para isso, ele pode lançar mão de estratégias da arquitetura bioclimática, com o uso de materiais termicamente eficientes (BATISTA, LAMBERTS e GÜTHS, 2011).

Sistemas construtivos que apresentam condições inadequadas de desempenho térmico e baixa eficiência energética são comumente identificados em habitações de interesse social no Brasil. As habitações provenientes da autoconstrução, produzidas pela população de baixa renda, são igualmente exemplos em que são observadas essas condições (DIGIACOMO, 2004). Segundo Specht et al. (2010): “O projeto de edificações energeticamente eficientes necessita de conhecimentos sobre a transferência de calor do ambiente externo para o interior das edificações, a fim de criar soluções que associem diferentes materiais e dimensões de camadas às condições desejadas de conforto térmico” (SPECHT et al., 2010, p.8).

Bezerra (2003) e Bezerra e Marinho (2008) citam que, em regiões de baixas latitudes, a correta substituição de materiais convencionais utilizados na construção civil pode contribuir para a diminuição da carga térmica que é transferida ao interior das edificações. Assim, fica evidente que o conhecimento das propriedades termofísicas necessárias à determinação do fluxo de calor na envoltória constitui uma importante etapa no processo de escolha do material que irá compor a edificação.

Dentre os sistemas construtivos desenvolvidos com vistas à racionalização da construção, o sistema de vedação formado por painéis produzidos com fibrocimento constitui uma tecnologia que está em processo de implantação no mercado da construção civil. Sendo assim, torna-se importante a investigação sobre as suas propriedades termofísicas, com vistas à avaliação de seu desempenho térmico. No presente trabalho são descritos os resultados das análises de propriedades termofísicas de amostras de compósitos de matriz de cimento e reforços de fibras vegetais (raspas de madeira) que compõem painéis para vedação externa (envoltória) de edificações residenciais.

2. OBJETIVO

O presente artigo tem por objetivo analisar as propriedades termofísicas (condutividade e resistência térmica) de amostras de compósitos de matriz de cimento e reforços de fibras vegetais (madeira) que compõem

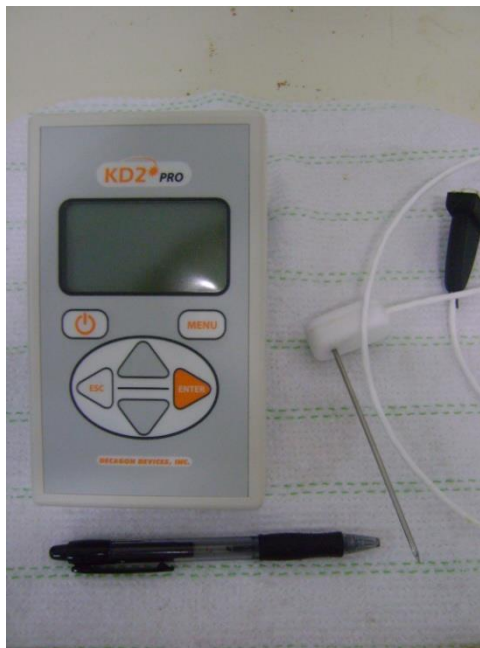


Figura 4: Medidor de propriedades termofísicas

Trata-se de um instrumento portátil, que utiliza o método da sonda aquecida para determinar temperatura (T), condutividade (λ) e resistência (R_T) térmicas. O elemento sensor possui embutidos uma resistência elétrica e um medidor de temperatura (figura 5). O calor é gerado pela resistência embutida na sonda e se propaga através do corpo de prova, sendo detectado pelo medidor de temperatura também embutido na própria sonda. Quando o regime permanente é atingido, o equipamento calcula e informa o valor das propriedades em função da temperatura e do tempo de aquecimento. De acordo com informações do fabricante (DECAGON DEVICES, 2011), o equipamento opera em conformidade com as normas IEEE Standard 442-1981 e ASTM Standard D 5334-00 (ASTM, 2004).



Figura 5: Sensor TR-1

Nos experimentos realizados, utilizou-se a sonda TR-1, dotada de um cabo de 8mm de comprimento e agulha com 100mm de comprimento e 2.4mm de diâmetro, apropriada para faixa de medição entre 0,1W/m.K e 4,00W/m.K, com incertezas cujos valores encontram-se especificados na tabela 1.

Tabela 1: Características da sonda TR-1 do analisador KD - 2

Tamanho	2,4 mm de diâmetro x 100 mm de comprimento
Intervalo	0,10-4,00 W / (Mk) (condutividade térmica)
	25-1000°C · cm / W (resistência térmica)
Precisão (Condutividade)	± 10% de 0,2-4 W / (m·K)
	± 0,02 W / (m·K) de 0,1-0,2 W / (m K)
Comprimento do cabo	0,8 mm

Fonte: Decagon Devices (2011)

Para análise das propriedades termofísicas, foram preparados três corpos de prova constituídos de compósito de base cimentícia enriquecido com fibra vegetal de pó de serra e um corpo de prova padrão com argamassa de cimento. Todos os corpos de prova foram fabricados com 50,00 mm de diâmetro e 20,00 mm de altura, moldados com geometria cilíndrica, com uma abertura central de 100,0 mm, para a inserção da sonda (figura 6). A abertura foi moldada quando o concreto ainda estava molhado, utilizando-se um pino piloto que foi retirado quando o cimento secou. As medições foram realizadas após a cura do cimento, seguindo-se os procedimentos recomendados pelo manual do fabricante.



Figura 6 – Corpos de prova utilizado nos experimentos

A sonda TR-1 foi recoberta por pasta térmica, para facilitar a inserção e a retirada do corpo de prova sem danificação da sonda, e para garantir a eliminação do ar no interior da abertura central, que alteraria os valores das propriedades condutividade (λ) e resistência (R_T) térmicas, uma vez que, na condição de gás, o ar constitui uma das substâncias com menor condutividade térmica e maior resistência térmica da natureza. Após a inserção da sonda na abertura, o corpo de prova foi montado no interior de um tubo de PVC vedado na extremidade inferior. Flocos de poliestireno expandido foram utilizados para preencher o espaço entre o corpo de prova e a parede do tubo de PVC, garantindo sua isolamento térmica do ambiente. A parte superior do tubo foi coberta com um papel e um tecido de algodão, presos ao tubo por meio de uma liga elástica de borracha (figuras 7 e 8).



Figura 7 – (a) Pasta térmica; (b) recobrimento da sonda TR-1 com pasta térmica; (c) inserção da sonda no corpo de prova; (d) conjunto corpo de prova, sonda e equipamento de medição; (e) montagem do conjunto corpo de prova e sonda em tubo de PVC; (f) colocação de flocos de poliestireno para isolamento térmico do conjunto corpo de prova e sonda.



Figura 8 – (g) Tubo de PVC com flocos de poliestireno para isolamento térmica do conjunto corpo de prova e sonda; (h) papel sobre tubo; (i) tecido de algodão sobre tubo; (j) amarração da isolamento térmica ao tubo de PVC; (k) corpo de prova, sonda e equipamento prontos para início das medições

As medições foram realizadas com o equipamento configurado no modo HPM (Higher Power Mode), i.e., alta potência de aquecimento, programado para informar os valores da condutividade térmica em intervalos de 10 minutos e os valores de resistência térmica em intervalos de 5 minutos.

4. ANÁLISE DE RESULTADOS

Na tabela 2 são apresentados os resultados das medições da condutividade (λ , em W/m.K) e da resistência (R_T , em °C.cm/W) das amostras, bem como os respectivos erros indicados pelo equipamento.

Tabela 2: Propriedades termofísicas das amostras.

Amostra	λ (W/m.K)	Erro (λ)	R_T (°C.cm/W)	Erro (R_T)
(1) argamassa padrão, sem raspas de madeira	1,484 a 1,597	0,0084 a 0,0105	66,39 a 68,17	0,0058 a 0,0072
(2) argamassa com raspas de madeira	0,896 a 0,964	0,0036 a 0,0070	117,7 a 121,0	0,0018 a 0,0030
(3) argamassa com raspas de madeira	0,858 a 0,874	0,0025 a 0,0032	120,1 a 122,4	0,0024 a 0,0033
(4) argamassa com raspas de madeira	1,036 a 1,142	0,0049 a 0,0063	97,04 a 100,7	0,0024 a 0,0036

Tomando-se da tabela 2 o valor médio da condutividade térmica do corpo de prova padrão (1,5405 W/m.K) e comparando-o ao valor indicado pela NBR 15220 (ABNT, 2005) para o concreto normal (1,75 W/m.K) constata-se que aquele valor é cerca de 14% superior ao obtido nos experimentos. Em se tratando de propriedades termofísicas, a utilização de valores tabelados, em geral pontuais, nem sempre corresponde à realidade experimental. Mesmo que as amostras sejam produzidas seguindo-se rigorosamente as recomendações das normas e dos fabricantes, os valores obtidos nos experimentos são diferentes dos valores apresentados em tabelas disponíveis na literatura. Instrumentação, métodos de medição e especificidades de procedimentos são alguns dos parâmetros que contribuem para essa diferença, muitas vezes não desprezível. A preocupação com a magnitude da diferença torna-se relevante quando se considera, por exemplo, a carga térmica resultante no interior das habitações, onde uma pequena diferença na condutividade térmica pode resultar em incrementos substanciais na quantidade de energia a ser removida para que a condição de conforto térmico seja atingida. Assim, os autores acreditam que, em vez de valores pontuais, é mais razoável considerar faixas de valores de propriedades termofísicas. Apesar disso, para facilitar a comparação dos resultados experimentais, os dados da Tab. 2 foram utilizados para produzir gráficos com valores pontuais, apresentados nas figuras 9 e 10.

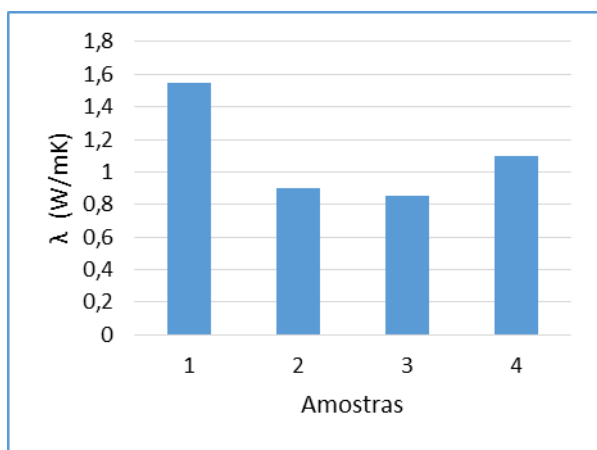


Figura 9 – Condutividade térmica das amostras

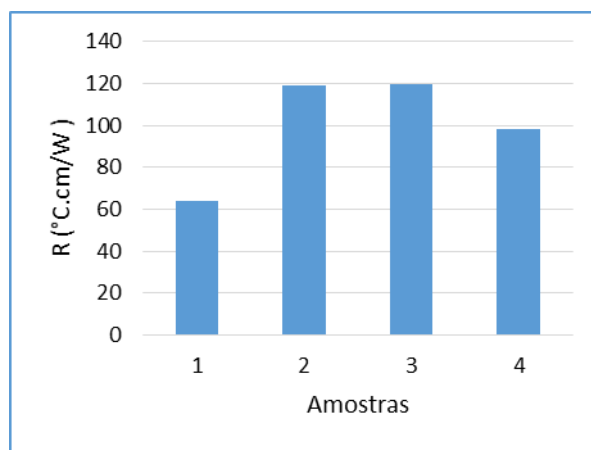


Figura 10 – Resistência térmica das amostras

Na figura 7, observa-se que a condutividade térmica da amostra padrão (“1”) foi superior aos valores obtidos para as amostras do compósito (“2”, “3” e “4”), fato que pode ser atribuído à presença de ar, agregado aos corpos de prova do compósito pelas partículas de fibra vegetal. Consequentemente, a resistência térmica do compósito foi maior que a da amostra padrão, como pode ser observado na figura 8.

Nas figuras 11 e 12 a seguir apresentam-se as comparações entre os valores médios das propriedades das amostras do compósito e do padrão.

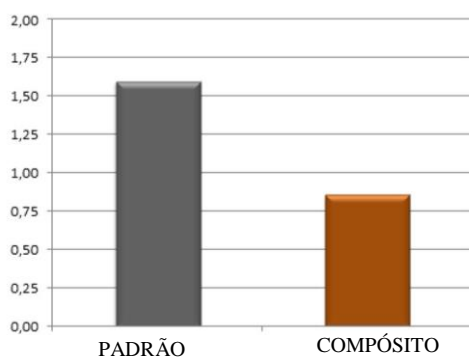


Figura 11: Condutividades térmicas médias λ (W.m°C) do padrão e do compósito.

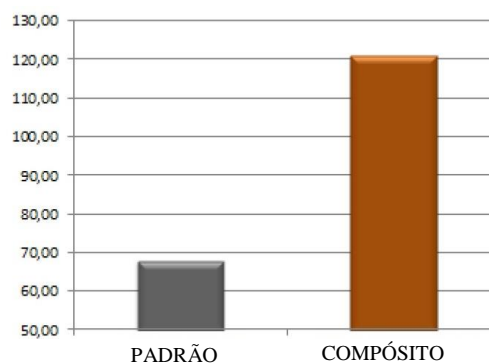


Figura 12: Resistências térmicas médias R_T (°C . cm/W) do padrão e do compósito.

Como se vê na figura 11, a amostra padrão apresentou um valor médio de condutividade térmica (1,54 W/m.°C) cerca de 60% superior ao valor médio de λ do compósito, que atingiu 0,96 W/m. °C. Considerando-se a resistência térmica (ver Fig. 12), determinou-se que o compósito apresentou um valor médio (121,0 °C.cm/W) aproximadamente 68% superior ao da amostra padrão, para a qual se obteve 68,17°C.cm/W. Como já comentado, esses resultados são atribuídos à presença de ar, carregado para dentro dos corpos de prova do compósito pelas partículas de fibra vegetal. O valor médio do λ do ar é de aproximadamente 0,026 W/m.K (Ozisik, 1990), ou seja, quase sessenta vezes inferior ao valor determinado experimentalmente para o λ do padrão. Obviamente, não se pode desprezar o fato de a própria fibra da madeira possuir um valor de $\lambda = 0,29$ W/m.K, (ABNT, 2005) cerca de cinco vezes menor que o do padrão, o que também contribuiu para reduzir a condutividade térmica média do compósito.

De acordo com a NBR 15575 (ABNT, 2013) para que se obtenha o desempenho mínimo de aceitação (nível M) e considerando-se a absorvância estimada por Dornelles (2008) para pintura na cor “cimento” (79,1), a transmitância térmica do material deve ser menor ou igual a 2,5 W/m².K. Na tabela 3 apresentam-se as transmitâncias térmicas para paredes externas em valores apropriados para cada Zona Bioclimática do Brasil (ABNT, 2005).

Tabela 3: Transmitância térmica de paredes externas.

Transmitância Térmica U W/m².K		
Zonas 1 e 2	Zonas 3, 4, 5, 6, 7 e 8	
$U \leq 2,5$	$\alpha^* \leq 0,6$	$\alpha^* = > 0,6$
	$U \leq 3,7$	$U \leq 2,5$

* α é absorvância à radiação solar da superfície externa da parede.

Fonte: ABNT (2013)

Tomando-se o valor médio de R_T do compósito (113,05 °C.cm/W = 1,1305°C.m/W), pode-se estimar para 1,0 m de parede do painel composto por cimento e fibra de pó de serra uma transmitância térmica de aproximadamente 0,88 W/m².K. Portanto, constata-se que o painel atende à norma NBR 15575 (ABNT, 2013) e pode apresentar desempenho térmico adequado a aplicações em todas as zonas bioclimáticas do país.

5. CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos, constatou-se que a amostra de argamassa de cimento com raspa de madeira apresentou propriedades termofísicas superiores, quando comparada a uma amostra padrão, face à menor condutividade térmica e à maior resistência térmica ao fluxo de calor. Esses resultados demonstram a importância do teste laboratorial, procedimento necessário à determinação do desempenho térmico de novos materiais que surgem no mercado.

Nos casos onde os materiais são destinados ao uso na construção civil em regiões de baixas latitudes (climas quentes), valores baixos de λ e elevados de R_T podem contribuir para reduzir a carga térmica solar no interior das habitações, particularmente naquelas destinadas às faixas da população que não dispõem de recursos para bancar os custos com equipamentos de climatização.

Com base no valor da transmitância térmica, calculado a partir da resistência térmica determinada experimentalmente, constatou-se que o compósito pode ser utilizado em todas as zonas bioclimáticas brasileiras estabelecidas pela NBR 15220 (ABNT, 2005). Portanto é recomendável o uso desse tipo de material na composição de painéis de vedação, principalmente em habitações de interesse social; necessitando-se, para tanto, observar as especificidades de exposição ao clima particular do local onde o projeto será implantado, visto que o uso de soluções construtivas de baixa qualidade para esse tipo de construção ainda é frequente no Brasil.

O estudo das propriedades termofísicas constitui uma ferramenta indispensável ao projetista no momento da seleção dos materiais que irão compor a envoltória da edificação. A partir desse conhecimento, o profissional dispõe de parâmetros que possibilitam uma comparação quantitativa entre o desempenho dos materiais. Contudo, a escolha definitiva deve ser mais criteriosa, indo além da consulta às tabelas de propriedades – que trazem pouca ou nenhuma informação sobre os procedimentos adotados no processo de medição. Os autores consideram que adotar uma faixa de valores para propriedades termofísicas de materiais, antes de dificultar o trabalho do projetista, seria uma estratégia mais adequada e até mais prudente, uma vez que o valor pontual não traduz a realidade do comportamento dos materiais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220-2**: Desempenho térmico de edificações – Parte 2: Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações. Rio de Janeiro, 2005a.
- _____. **NBR 15220-3**: Desempenho térmico de edificações – Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e estratégias de condicionamento térmico passivo para habitações de interesse social. Rio de Janeiro, 2005b.
- _____. **NBR 15575-1/4**: Edificações habitacionais: desempenho: Parte 1: requisitos gerais. Parte 4: Sistemas de vedações verticais externas e internas Rio de Janeiro, ABNT, 2013.
- ASTM - **D 5334-00 – Standard Test Method for Determination of Thermal Conductivity of Soil and Soft Rock by Thermal Needle Probe Procedure**. 2004
- BATISTA, J. O.; LAMBERTS, R.; GÜTHS, S. **Influência dos algoritmos de condução e convecção sobre os resultados de simulação do comportamento térmico de edificações**. Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 11, n.4, p.79-97, out/dez 2011.
- BEZERRA, L. A. C. **Análise do desempenho térmico de sistema construtivo de concreto com EPS como agregado graúdo**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica). Centro de Tecnologia. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica. Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal, 2003.
- BEZERRA, L. A. C.; MARINHO, G. S. **Elementos de alvenaria termo isolante produzidos com poliestireno expandido reciclado**. Mens Agitat, v. 3, p. 17-26, 2008.
- BRAUS Group. **Manual técnico OCATAN**. 2012
- DECAGON DEVICES, Inc. **Operator's Manual**. Version 10, Pullman, WA, USA, 68 p., 2008 – 2011.
- DIGIACOMO, M. C. **Estratégias de projeto para a habitação social flexível**. 2004. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Programa de Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2004.
- DORNELLES, K. A. **Absortância solar de superfícies opacas: métodos de determinação e base de dados para tintas látex acrílico e PVA**. Tese (Doutorado em Engenharia Civil). Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 2008.
- IEEE Standard 442. **IEEE guide for soil thermal resistivity measurements**. 1981.
- LAMBERTS, R.; TRIANA, M. A. **Levantamento do estado da arte: energia**. Habitação mais sustentável. São Paulo, 2007.
- MENEZES, M. S. **Avaliação do desempenho térmico de habitações sociais de Passo Fundo – RS**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Passo Fundo. Faculdade de Engenharia e Arquitetura. Programa de Pós-Graduação em Engenharia. Passo Fundo, Rio Grande do Sul, 2006.
- OZISIK, M. N. **Transferência de calor: um texto básico**. Rio de Janeiro, Guanabara Koogan S.A., 1990, 661 p.
- PEIXOTO, B. L. F.; GOMES, M. L. B. **Ganhos em produtividade decorrentes de inovações tecnológicas na construção civil: o uso dos distanciadores plásticos no sub-setor de edificações**. In: Encontro Nacional de Engenharia de Produção, 2006, Fortaleza – CE.
- SPECHT, L. P.; BORGES, P. A. P.; RUPP, R. F.; VARNIER, R. **Análise da transferência de calor em paredes compostas por diferentes materiais**. Ambiente Construído, Porto Alegre, v.10, n.4, p.7-18, out/dez 2010.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem aos estudantes Ilke Santos e Clara Azevedo, voluntários de Iniciação Científica do Laboratório de Transferência de Calor da UFRN, pelo apoio na fase de experimentos;
À CAPES, pela bolsa de mestrado concedida ao PPGAU/FAU/UFAL.