AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES TÉRMICAS DE TIJOLOS DE TERRA CRUA (ADOBES)[1]

DAL SOGLIO, C. R., Universidade Federal de Santa Catarina, email: carolinadalsoglio@gmail.com; MELLER, B. J., Universidade Federal de Santa Catarina, email: brunajmeller@outlook.com; OLINGER, M. S., Universidade Federal de Santa Catarina, email: marcelo.olinger@gmail.com; GÜTHS, S., Universidade Federal de Santa Catarina, email: saulo@lmpt.ufsc.br; MARINOSKI, D. L., Universidade Federal de Santa Catarina, email: deivis.marinoski@ufsc.br; MIZGIER, M. O., Universidade Federal de Santa Catarina, email: martin@arq.ufsc.br

ABSTRACT

The objective of the present study is to characterize the thermal properties of 4 samples of unfired earth bricks (adobes). The properties were verified through laboratory tests and deductive calculations. The thermal conductivity of the samples varied according to the soil and the relative humidity in the environment. The range of measured thermal conductivity (k) varied between 0.46 and 0.67 W/m.K. The minimum wall thickness was calculated to attend the required Thermal Capacity (CT) and Thermal Transmittance (U) of the Brazilian standards for walls in all bioclimatic zones.

***Keywords**: Thermophysical properties. Thermal performance of buildings. Unfired earth bricks.*

1 INTRODUÇÃO

Projetos arquitetônicos capazes de combinar soluções tradicionais com novas tecnologias, considerar os efeitos do clima no ambiente construído e utilizar estratégias passivas de condicionamento térmico têm o potencial de reduzir o consumo energético e a emissão de gases do efeito estufa. (OLGYAY, 2008; LAMBERTS; DUTRA; RUTTKAY, 2012). Um material com este potencial é a terra crua, seu baixo impacto ambiental e sua capacidade de regular a umidade ao absorver e liberar vapor d'água são benefícios em relação às construções tradicionais (DETHIER; HOUBEN; GUILLAUD, 1986; MINKE, 2011; PACHECO-TORGAL; JALALI, 2012; DELINIÈRE et al., 2014).

A envoltória de uma edificação interfere diretamente nas trocas de calor, ar e umidade (MANIOĞLU; YILMAZ, 2006). As propriedades térmicas da envoltória (condutividade, transmitância e capacidade térmica) são características que influenciam no desempenho térmico de uma edificação.

Os objetivos deste estudo são a) medir as propriedades térmicas de 4 amostras de adobe (tijolo de terra crua); e b), comparar os dados resultantes com os níveis mínimos de desempenho térmico de vedações verticais externas recomendados pela NBR 15575 (ABNT, 2013).

2 MATERIAIS E MÉTODOS

[1] DAL SOGLIO, C. R., MELLER, B. J., OLINGER, M. S., GÜTHS, S., MARINOSKI, D. L, MIZGIER, M. O. Avaliação das propriedades térmicas de tijolos de terra crua (adobes). In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 17., 2018, Foz do Iguaçu. **Anais**... Porto Alegre: ANTAC, 2018.

Os adobes avaliados foram utilizados como material de construção de vedações verticais externas em duas obras em Florianópolis (SC). As amostras de solo 1 e 2 foram coletadas em uma edificação de serviços e o solo 3 em uma residência unifamiliar.

2.1 Caracterização dos solos

Os solos coletados foram analisados quanto às suas composições mineralógicas e granulométricas. A caracterização mineralógica (Tabela 1) foi realizada através de um difratograma de raios X (SCAPIN, 2003) e a análise granulométrica foi realizada através da técnica de peneiramento e sedimentação (EMBRAPA,1997).

Tabela 1 – Características das amostras de solo

		Solo 1	**Solo 2**	**Solo 3**
Características Granulares	Argila (<2 μm) (%)	5,59	39,51	15,78
	Silte (2-50 μm) (%)	46,29	25,18	32,64
	Areia (50-2000 μm) (%)	48,12	35,31	51,58
Características Mineralógicas	Minerais Argilosos	Caulinita	Caulinita	Caulinita
	Outros	Quartzo	Quartzo	Quartzo
		Mica	-	Mica

Fonte: Os autores

2.2 Caracterização das amostras de adobe

Os adobes são compostos de solo, água e esterco de cavalo (Tabela 2). O esterco é uma fibra estabilizante e evita o surgimento de rachaduras no processo de secagem dos adobes, quando a argila presente na mistura tende a retrair. Estes elementos foram misturados por ação mecânica, moldados por uma forma de 10x30x30 cm e secos naturalmente.

Tabela 2 – Características dos adobes

		Adobe 1	**Adobe 2**	**Adobe 3**	**Adobe 4**
Dimensões	Comprimento (m)	0,285	0,292	0,295	0,285
	Largura (m)	0,285	0,297	0,29	0,28
	Altura (m)	0,084	0,088	0,096	0,094
Composição	Componentes (%)	50% Solo 1 50% Solo 2	80% Solo 2 20% Esterco	80% Solo 3 20% Esterco	40% Solo 1 40% Solo 2

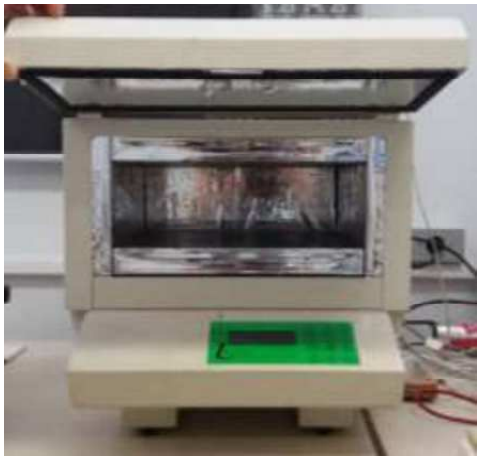
	20% Esterco

Fonte: Os autores

2.3 Medição da condutividade térmicas das amostras de adobe

A condutividade térmica (**λ**) foi medida utilizando o dispositivo de placa quente protegida (Figura 1), de acordo com a norma ISO 8301 (ISO, 1991). A primeira medição foi realizada 60 dias após a manufatura das amostras de adobe, secas de forma natural e sujeitas à variação de umidade relativa do ambiente. A segunda medição foi realizada 33 dias após a primeira, período em que os adobes ficaram em um ambiente com umidade relativa controlada de 63%. A terceira medição foi realizada com os adobes secos em estufa por 14 dias a 80°C (Tabela 3).

Figura 1 – Dispositivo de placa quente protegida



Fonte: Os autores

2.4 Verificação do atendimento aos requisitos na NBR 15575

As dimensões finais dos adobes são ligeiramente menores do que a forma utilizada, em razão da retração da argila. A massa foi aferida através de uma balança digital antes de cada medição e foi calculada a densidade de massa aparente (**ρ**). O valor do calor específico (c) atribuído aos adobes teve como referência o valor do material "tijolos e telhas de barro", de densidade de 1300-1600 kg/m^3, que consta na tabela B.3 da NBR 15220-2 (ABNT, 2005).

Foi calculada a espessura mínima que as vedações verticais compostas destes adobes devem apresentar (desconsiderando revestimentos) para atender aos requisitos de transmitância (U) e condutividade térmica (CT) da NBR 15575 (ABNT, 2013). Os cálculos foram realizados de acordo com disposto na NBR 15220-2 (ABNT, 2005) (Tabela 4).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Propriedades térmicas dos adobes

A Tabela 3 apresenta as propriedades dos blocos de adobe.

Tabela 3 – Propriedades dos adobes

Umidade U (%)	Propriedade	Unidade	Adobe 1	Adobe 2	Adobe 3	Adobe 4
1. Amostras sujeitas à variação de umidade relativa ambiente.	Massa	kg	*	10,192	11,194	10,452
	Densidade (**ρ**)	kg/m3	*	1341,05	1365,12	1393,6
	Condutividade Térmica (**λ**)	W/(m.K)	*	0,55	0,63	0,67
	Calor Específico (c)	kJ/kg.K	*	0,92	0,92	0,92
2. Amostras após 33 dias em um ambiente com umidade controlada. (UR ~ 63%)	Massa	kg	9,66	10,12	11,11	10,37
	Densidade (**ρ**)	kg/m3	1420,88	1332,36	1335,36	1382,4
	Condutividade térmica (**λ**)	W/(m.K)	0,46	0,47	0,46	0,61
	Calor Específico (c)	kJ/kg.K	0,92	0,92	0,92	0,92
3. Amostras secas em estufa (UR ~ 0%)	Massa	kg	9,48	9,76	10,67	10,11
	Densidade (**ρ**)	kg/m3	1371,19	1310,79	1334,97	1266,58
	Condutividade térmica (**λ**)	W/(m.K)	0,42	0,37	0,42	0,42
	Calor Específico (c)	kJ/kg.K	0,92	0,92	0,92	0,92

Fonte: Os autores

*o adobe 1 não foi medido na primeira rodada pois apresentava um desnível em sua face superior, impossibilitando a medição. Na segunda rodada esta amostra foi nivelada e mensurada.

A faixa de resultados de condutividade térmica foi de 0,46 a 0,67 W/m.K, desconsiderando os resultados obtidos após a secagem das amostras em estufa, por serem valores atingidos apenas em laboratório. Estes valores são ligeiramente menores dos que constam na NBR 15220 (ABNT, 2005) para materiais semelhantes: Terra argilosa seca e tijolos e telhas de barro, cujas condutividades tabeladas são de 0,52 e 0,70 W/m.K, respectivamente. Entre a primeira e a segunda medição, o adobe 3 apresentou uma diferença de condutividade térmica de 0.17 W/m.K e de densidade de 29.76 kg/m^3. Após o processo de secagem em estufa todas as amostras apresentaram valores semelhantes, entre 0,37 e 0,42 W/m.K.

Na segunda medição os adobes 1 e 4 apresentaram condutividades térmicas de 0,46 e 0,61 W/m.K, respectivamente, sendo compostos de uma mesma mistura de solos (1 e 2), com a diferença que o adobe 4 possui adição de esterco (ver Tabela 2). Considerando todas as medições: o adobe 1 apresentou maior densidade; o adobe 4, maior condutividade térmica. Entre a primeira e a terceira medição, o adobe 4 apresentou a maior variação de densidade, de 127,02 kg/m^3, e a maior diferença na condutividade térmica, de 0,25 W/m.K. O adobe 3 apresentou uma variação de condutividade térmica semelhante ao adobe 4, de 0,21 W/m.K, porém em termos de densidade sua variação foi de 30,15 kg/m^3.

3.2 Verificação do atendimento aos requisitos na NBR 15575

Na Tabela 4 constam quais as espessuras mínimas que as vedações verticais externas construídas com os adobes medidos devem apresentar para atender os requisitos mínimos de U e CT da NBR 15575 (ABNT, 2013) para as oito zonas bioclimáticas brasileiras.

Tabela 4 – Propriedades térmicas relacionadas à espessura (e) dos adobes

Umidade (%)	**Propriedades térmicas**		**Espessura mínima da vedação vertical (m)**			
			Adobe 1	**Adobe 2**	**Adobe 3**	**Adobe 4**
1. Amostras sujeitas à variação de umidade relativa ambiente.	U =	3,7 W/m^{2}K	*	0,15	0,17	0,18
		2,5 W/m^{2}K	*	0,22	0,25	0,27
	CT=	130 kJ/m^2.K	*	0,11	0,10	0,10
2. Amostras com umidade controlada. (UR ~ 63%)	U=	3,7 W/m^{2}K	0,12	0,13	0,12	0,16
		2,5 W/m^{2}K	0,18	0,19	0,18	0,24
	CT=	130 kJ/m^2.K	0,10	0,11	0,11	0,10
3. Amostras secas em estufa (UR ~ 0%)	U=	3,7 W/m^{2}K	0,11	0,10	0,11	0,12
		2,5 W/m^{2}K	0,17	0,15	0,17	0,17
	CT=	130 kJ/m^2.K	0,10	0,11	0,11	0,11

Fonte: Os autores

Para atender ao requisito de transmitância térmica da NBR 15575 (ABNT, 2013) as construções localizadas nas zonas bioclimáticas 1 e 2 e nas zonas bioclimáticas 3 a 8 quando α > 0,6, as paredes construídas com o adobe 4 devem possuir, no mínimo, uma espessura de 27 cm. Os adobes 2 e 3 requerem espessuras de 25 cm e 22 cm. Para as zonas bioclimáticas 3 a 8, quando $\alpha \leqslant 0{,}6$, as espessuras devem ser iguais ou maiores que 18 cm para o adobe 4, 17 cm para o adobe 3 e 15 cm para o adobe 2. Foi adotada como referência para os cálculos a maior condutividade térmica medida.

Em relação à capacidade térmica (CT) as vedações verticais construídas com espessura de 10 ou 11 cm, dependendo da amostra, atendem o requisito da NBR 15575 (ABNT, 2013).

4 CONCLUSÕES

A faixa de resultados de condutividade térmica foi de 0,46 a 0,67 W/m.K, desconsiderando os valores obtidos após secagem em estufa. Com a variação da umidade relativa entre a primeira e a segunda medição o adobe 3 apresentou uma diferença de condutividade térmica de 0.17 W/m.K e de densidade de 29.76 kg/m^3, evidenciando que a umidade relativa do ar influencia significativamente no comportamento térmico dos adobes. Uma vez que a densidade e a condutividade térmica variaram de forma proporcional à umidade, este sistema construtivo apresenta maior condutividade térmica em regiões com alta umidade relativa do que em climas secos. A composição mineralógica, granulométrica e a presença de aditivos (neste caso, esterco) também influencia na condutividade térmica dos adobes.

As normas de desempenho térmico não consideram que a condutividade térmica pode variar conforme a umidade. Para verificação do atendimento à NBR 15575 (ABNT, 2013) os maiores valores de condutividade foram utilizados como referência. Nas zonas bioclimáticas 1 e 2 e nas zonas bioclimáticas 3 a 8, quando as superfícies apresentarem absortância maior que 0,6 (cores escuras), recomenda-se paredes com, no mínimo, 27 cm, considerando vedações verticais que utilizem adobes semelhantes aos testados. Para construções nas zonas bioclimáticas de 3 a 8 e vedação vertical com cores claras (a ≤ 0,6) uma espessura mínima de 18 cm foi verificada para o atendimento da norma. Os resultados indicam que os adobes possuem uma alta capacidade térmica, sendo este requisito atendido em vedações verticais com, pelo menos, 11 cm de espessura.

Estudos relacionando a influência dos componentes do solo e a umidade relativa do ambiente nas propriedades térmicas dos adobes são necessários para estabelecer uma faixa de valores típicos de condutividade térmica para estes componentes construtivos.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à CAPES e ao CNPq pelo apoio financeiro, ao Prof. Dr. Alberto Vasconcellos Inda Junior, do Departamento de Ciência do Solo da Universidade Federal Do Rio Grande do Sul (UFRGS), ao Prof. Dr. Jucinei José Comin, à Doutoranda Bárbara Ventura do Departamento de Engenharia Rural e ao bolsista Guilherme Güths, do Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC).

REFERÊNCIAS

ABNT ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220-2:2005** Versão Corrigida: 2008 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, 2005.

_____. **NBR 15575-1**: Edifícios habitacionais - Desempenho: parte 1: Requisitos gerais, in, Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro, 2013.

DETHIER, J. HOUBEN, H. GUILLAUD, H. **Architectures de terre ou l'avenir d'une tradition millénaire.** Editions du Centre Pompidou, Paris. 1989, 224p.

DELINIÈRE, R. AUBERT, J.E. ROJAT, F. e GASC-BARBIER, M. **Physical, mineralogical and mechanical characterization of ready-mixed clay plaster**. Building and Environment. Volume 80. 2014. Pg 11–17. doi: 10.1016/j.buildenv.2014.05.012.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Manual de métodos de análise de solo** / Centro Nacional de Pesquisa de Solos. – 2. ed. rev. atual. – Rio de Janeiro, 1997.

ISO 8301:1991. *Thermal insulation - Determination of steady-state thermal resistance and related properties - Heat flow meter apparatus*. 1991.

LAMBERTS, R. DUTRA, L. PEREIRA F. O. R. **Eficiência Energética na Arquitetura** (3ª EDIÇÃO). Editora: ELETROBRAS/PROCEL. 2014, 365 p.

MINKE, G. **Manual de Construcción en Terra: La tierra como material de construcción y su aplicación el la arquitectura actual**. Montevideo: Nordan Comunidad, 2001. 222p.

MANIOĞLU, G. YILMAZ, Z. **Economic evaluation of the building envelope and operation period of heating system in terms of thermal comfort**. Energy and Buildings, Volume 38. Março, 2006. p. 266-272. doi:10.1016/j.enbuild.2005.06.009.

OLGYAY, V. OLGYAY, A. **Arquitectura y Clima: Manual de Diseño Bioclimático Para Arquitectos y Urbanistas**. Editora Gustavo Gili, Espanha, 2008. 203 p.

PACHECO-TORGAL, F. JALALI, S. **Earth construction: Lessons from the past for future eco-efficient construction,** Construction and Building Materials, Volume 29, 2012, Pg 512-519. doi: 10.1016/j.conbuildmat.2011.10.054.

SCAPIN, M.A. **Aplicação da difração e flourescência de raios-X (WDXRF): ensaios de argilominerais**. 2003. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Nuclear - Materiais) - Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003. doi:10.11606/D.85.2003.tde-07052007-161852. Acesso em: 2018-01-29.