A TERRA COMO MATERIAL CONSTRUTIVO: ABSORTÂNCIA E IMPLICAÇÕES TÉRMICAS[1]

BECERRA, Rafael de Carvalho (1) ; COUTO, Lorena Santos Bezerra (2); SHIMOMURA, Alessandra Prata (3)

(1) FAUUSP, rafael.becerra@alumni.usp.br

(2) IAU-USP, lorenacouto@usp.br

(3) FAUUSP, arprata@usp.br

RESUMO

Construções em terra apresentam um bom desempenho térmico para diversos climas do território brasileiro, contudo, suas propriedades termo físicas são pouco difundidas, dificultando análises aprofundadas, como simulações computacionais. A partir disso, este trabalho busca medir e relacionar a absortância solar e os parâmetros de cor de quatro amostras de materiais de terra utilizados como vedação vertical, com variações de cor e rugosidade. Primeiramente a refletância solar foi medida, utilizando um espectrofotômetro com esfera integradora, a partir desta propriedade, foi calculada a absortância solar. Os resultados revelaram valores de absortância solar entre 0,72 e 0,85 para as quatro amostras estudadas. Também foram medidos os parâmetros de cor de cada superfície, utilizando um colorímetro portátil, para o espaço de cor CIELab. Os resultados mostraram uma clara relação entre a luminosidade (L*) e a absortância solar das amostras. Contudo, a análise realizada também evidenciou que rugosidade teve um visível impacto nos valores medidos, visto que o aumento da rugosidade de amostras da mesma composição, impactaram tanto na absortância solar, quanto do valor de L*. Foi percebido que, quanto maior a rugosidade, maior foi a absortância solar, para as amostras aqui analisadas.

Palavras-chave: Absortância solar; Refletância solar; Terra; Desempenho térmico; Cor

ABSTRACT

Earthen constructions perform well thermally in various climates across Brazil, but their thermophysical properties are not widely known, making it difficult to conduct analyses such as computer simulations. Based on this, this study seeks to measure and relate the solar absorptance and color parameters of four samples of earth materials used as wall materials, with variations in color and roughness. First, solar reflectance was measured using a spectrophotometer with an integrating sphere, and solar absorptance was calculated based on this property. The results revealed solar absorptance values between 0.72 and 0.85 for the four samples studied. The color parameters of each surface were also measured using a portable colorimeter for the CIELab color space. The results showed a clear relationship between the brightness (L*) and solar absorptance of the samples. However, the analysis also showed that roughness had a visible impact on the measured values, since the increase in roughness of samples of the same composition impacted both solar absorptance and the L* value. It was noticed that the greater the roughness, the greater the solar absorptance for the samples analyzed here.

***Keywords**: Solar absorptance; Solar reflectance; Earth; Thermal performance; Color*

---

[1] BECERRA, Rafael de Carvalho; COUTO, Lorena Santos Bezerra; SHIMOMURA, Alessandra Prata. A TERRA COMO MATERIAL CONSTRUTIVO: ESTUDO EXPERIMENTAL E IMPLICAÇÕES TÉRMICAS. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE QUALIDADE DO PROJETO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 9., 2025, São Paulo. **Anais**... São Paulo: FAUUSP, 2025. p. 1-8.

1 INTRODUÇÃO

Ao longo dos anos, o avanço tecnológico dos materiais trouxe novos desafios e demandas, muitos dos quais a arquitetura pode — e deve — ajudar a superar. A questão ambiental é um exemplo crítico, envolvendo o uso predatório de matérias-primas, o esgotamento de recursos naturais, as emissões de carbono e a degradação de habitats. Essa preocupação atual surge de múltiplos fatores, desde as mudanças climáticas até o aumento da conscientização das novas gerações, moldadas por um fluxo acelerado de informações e impactadas por desastres naturais potencialmente agravados por essas transformações. Este cenário abre espaço para que outros tipos de construção passem a ser consideradas, alinhadas com as necessidades de nossa época (Corbusier, 2020). Estas novas construções, por sua vez, podem ser inovadoras em vários sentidos sendo, uma delas, no uso de seu material e método construtivo.

Grande parte das construções realizadas em larga escala, nas últimas décadas, principalmente as mais verticalizadas, utilizam-se do concreto como material construtivo, de maneira que, de acordo com Vesa Penttala (1997), o consumo anual deste material pela humanidade só pode ser superado pelo da água. A alvenaria de blocos de concreto e o próprio concreto como os materiais constituintes da estrutura do edifício (alvenaria estrutural e estrutura convencional, respectivamente, composta pelo sistema pilar-laje-viga), são maneiras comuns de utilizá-lo para este tipo de sistema. Com relação às vedações, ele também pode ser utilizado na forma de alvenaria de blocos de concreto, juntamente com outros materiais comumente utilizados, tais como alvenaria de blocos cerâmicos, placas de gesso acartonado (drywall), placas cimentícias, entre outros. Além de questões normativas e de propriedades intrínsecas destes materiais, a mão de obra qualificada, produtividade e "know-how" são fatores que influenciam nesta escolha. Porém, o uso excessivo de determinado material, dada a condição de escassez de certas matérias primas, assim como quaisquer problemas inerentes presentes, típicos a quaisquer métodos construtivos, deve ser evitado, fato este que contribui para a constante busca de novos materiais. Dessa forma, existe uma diversidade de outros materiais que podem igualmente ser considerados, muitos trazendo vantagens frente ao concreto em certos aspectos.

O sistema de vedações, cuja função primordial é delimitar e proteger ambientes, considera parâmetros distintos daqueles relativos a esforços e cargas estruturais. Para esses elementos - que não desempenham função estrutural de sustentação - aspectos como resistência às intempéries (vento, chuva, radiação solar) em paredes externas, desempenho acústico (isolamento de ruídos urbanos) e desempenho térmico (proteção térmica) tornam-se prioritários. Nestes casos, a depender do clima em que a edificação está inserida, materiais convencionais como concreto e aço podem não oferecer o melhor desempenho, seja em termos de conforto ambiental ou durabilidade e desempenho térmico. Já nas vedações internas, as exigências se concentram principalmente no isolamento acústico, no conforto térmico e na integração com sistemas construtivos e de instalações.

Da mesma forma, ao tratar de edifícios com menor carga estrutural, como os horizontais, também podem se tornar interessantes outros materiais além dos convencionais concreto e aço para o sistema de estrutura, uma vez que a alta

resistência a tração e compressão podem não ser necessárias. Diante desse cenário, a terra, apesar de ser um elemento dos mais antigos utilizados como material construtivo, é raramente considerada como opção para a construção de edifícios novos, principalmente aqueles realizados em larga escala como um conjunto de residências e complexos construtivos como escolas e hospitais, por exemplo. Nesse sentido, o seu uso, dentro do contexto de necessidade da diminuição de impactos ambientais, associado a um estudo qualificado de seus parâmetros e desempenho termo energético através do uso de tecnologias recentes, como a simulação computacional, é inovador e deve ser incentivado.

A simulação computacional é uma ferramenta de grande importância para a compreensão do desempenho térmico do envelope construtivo e avaliação das potencialidades dos materiais quando implementados em determinadas condições climáticas. Contudo, para que seja possível o estudo do desempenho da terra pelo método de simulação computacional faz-se necessário a obtenção dos parâmetros termo físicos deste material.

Por conta disso, dentro da área de construção em terra, é comum encontrar em bibliografia uma faixa de valor na qual determinado tipo de técnica construtiva pode apresentar para determinado parâmetro termo físico (NBR ISO 10456:22; NBR 17014:22; NBR 16814:2020; CRATerre, 1989, Minke, 2009; Anger et al, 2012; Silva et al, 2022). Porém, dentre estes, aqueles referentes à superfície em contato com o meio externo, como a rugosidade, "absortância solar" e a "emissividade", que influenciam diretamente as trocas por convecção e radiação, não puderam ser localizadas em pesquisa bibliográfica, fazendo necessária a sua obtenção. Dessa forma, o objetivo da pesquisa realizada foi a obtenção do parâmetro de absortância solar de uma superfície construída em terra através de análise das amostras por espectrofotômetro. Buscou-se, também, em uma segunda etapa, correlacionar os valores de absortância obtidos com as cores das amostras, através de medição por colorímetro, e realizar comparações dos resultados obtidos.

2 MÉTODO

Para o alcance do objetivo estipulado, foram analisadas 4 amostras de material utilizado como vedação vertical em terra, com variações de cor e rugosidade. As amostras aqui analisadas são de materiais comercializados pela empresa TAIPAL, com coloração amarela e terracota (Figura 1). Para cada uma das cores, foram ainda analisados dois tipos de acabamento, sendo Acabamento 1 com uma rugosidade menor que o Acabamento 2. A Tabela 1 apresenta a nomenclatura e os tipos de acabamentos de cada uma das amostras.

Figura 1 - Imagem das amostras analisadas



Fonte: Os autores

Tabela 1 - Nomenclatura das amostras, a partir dos tipos de acabamento e coloração

	Acabamento 1	Acabamento 2
Cor amarela	AMR_01	AMR_02
Cor terracota	TRC_01	TRC_02

Fonte: Os autores

Para a obtenção da absortância solar (α_{solar}) das amostras, foi inicialmente medida da refletância solar (ρ_{solar}), utilizando um espectrofotômetro com esfera integradora, modelo CARY 5G, seguindo a norma ASTM E903 (ASTM, 2020) e posterior ajuste ao espectro solar padrão, de acordo com indicado na NBR 17162 (ABNT, 2024). A norma utiliza o espectro solar de 300 a 2500 nm, contudo, devido a problemas técnicos do equipamento utilizado, as medições foram realizadas entre 300 e 2000 nm, em intervalos de 1 nm. As variações de refletância solar são pequenas com a falta deste intervalo, visto que corresponde a uma pequena parcela o espectro analisado. A partir da refletância solar, a absortância foi calculada utilizando a Equação 1.

$$\alpha_{solar} = 1 - \rho_{solar} \quad (1)$$

Onde:
α_{solar} = absortância solar
ρ_{solar} = refletância solar

Para a caracterização das cores das amostras, foi utilizado um colorímetro portátil, modelo Colorium 2 Delta Color, que apresenta dados de parâmetros de cor nos espaços de cor CIELab. Esta medição caracteriza as cores através de pontos dentro dos respectivos espaços de cores, onde cada eixo se refere a um conjunto de cores. O parâmetro a* corresponde à presença de verde à vermelho, o parâmetro b* de azul a amarelo, enquanto o L* é a luminosidade da cor, ou seja, a presença de branco e preto no pigmento em questão. Os parâmetros C e h correspondem respectivamente à saturação e tonalidade da cor em questão.

3 RESULTADOS OBTIDOS E DISCUSSÃO TEÓRICA

Os resultados de absortância solar e refletância são apresentados na Tabela 2, e as curvas de refletância espectral medidas no espectrofotômetro com esfera integradora, podem ser vistas na Figura 2.

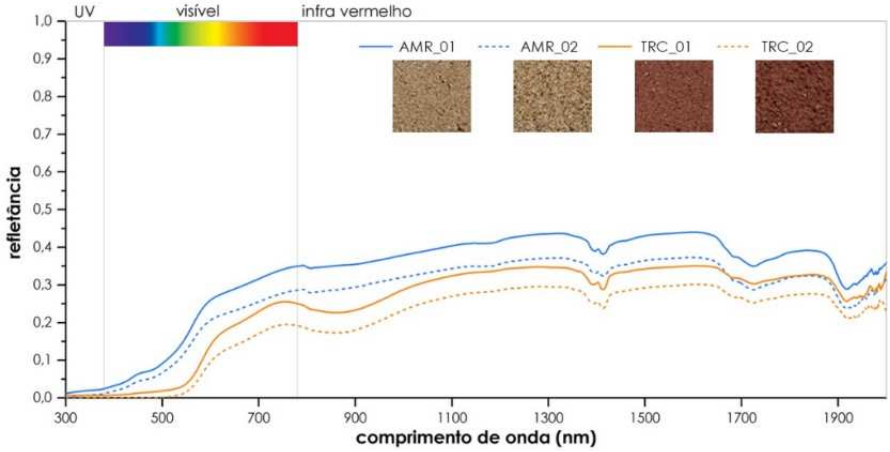
Tabela 2 - Valores de refletância solar e absortância solar das amostras medidas

Amostra	**α_{solar}**	**ρ_{solar}**	**ρ_{UV}**	**$\rho_{visível}$**	**ρ_{NIR}**
AMR_01	0,72	0,28	0,02	0,20	0,39
AMR_02	0,77	0,23	0,01	0,16	0,32
TRC_01	0,81	0,19	0,01	0,11	0,29
TRC_02	0,85	0,15	0,00	0,08	0,24

ρ_{UV} – refletância para a região do ultravioleta
$\rho_{visível}$ – refletância para a região do visível
ρ_{NIR} – refletância para a região do infravermelho

Fonte: Os autores

Figura 2 - Refletância espectral das amostras medidas.



Fonte - Os autores

Os valores obtidos de refletância e absortância apresentados permitem uma série de diferentes avaliações. A partir das curvas de refletância espectral, observa-se que comparando as amostras com mesma rugosidade, aquelas de cor amarela apresentaram maior refletância em toda o espectro solar analisado. Contudo, percebe-se que para as amostras AMR_02 e TRC_01, mesmo possuindo colorações e rugosidades distintas, as curvas de refletância se aproximam, principalmente na região do infravermelho. Sendo esta a região do espectro solar com maior impacto na temperatura da superfície, e consequentemente na temperatura no interior da edificação, esta semelhança mostra que, mesmo com colorações distintas, o desempenho destes dois acabamentos com relação ao desempenho térmico da edificação, tende a ser semelhante.

Ora, os valores próximos de absortância solar obtidos nas amostras AMR_02 e TRC_01, ainda que com cores visualmente distintas, mostram a influência limitada que as cores possuem na definição deste parâmetro termo físico. Igualmente podem ser analisados os resultados das amostras AMR_01 e AMR_02, assim como TRC_01 e TRC_02, que apresentam a mesma cor e composição, porém valores de absortância distintos, resultantes de uma diferente rugosidade, visto ser este o único elemento que justifique a diferença observada.

Nota-se que a diferença na absortância solar das amostras em geral, principalmente se comparadas aquelas de mesmo acabamento, são consideráveis, chegando a uma diferença de quase 0,10 em valores absolutos (asolar AMR_01 = 0,72 e asolar TCR_01 = 0,81, por exemplo), correspondendo a uma diferença de cerca de 14% e 12%, respectivamente. Percebe-se ainda que, entre as amostras de mesma cor, aquelas com menor rugosidade, apresentam menor absortância solar. É interessante salientar este fato, para mostrar a importância da rugosidade na refletância solar das superfícies. Uma grande alteração na rugosidade da superfície, irá interferir na quantidade de reflexões que irão acontecer, o que terá então impacto na quantidade de radiação absorvida. Isto porque, após refletir uma parcela da radiação em uma superfície muito rugosa, esta radiação será novamente absorvida e/ou refletida pela superfície, em um ciclo maior que em uma superfície menos rugosa. Aumentando assim, a quantidade de radiação absorvida pela superfície. Esta relação entre a rugosidade e a absortância em que o aumento da

primeira causa também um aumento da segunda, também foi apresentada em estudos como os de Dornelles (2009) e Santos et. al (2011).

Os resultados apresentados, mostram ainda que somente a cor percebida pelo olho humano, não é suficiente para indicar se uma superfície possui absortância solar maior ou menor que a outra. Conforme dito por Dornelles (2008), a cor não é o único fator que influencia no valor de absortância solar, uma vez que também existe a influência da absortividade, rugosidade, ondulação, entre outras. Para melhor entender as relações entre as cores de cada amostra e a absortância solar das mesmas, os parâmetros de cor foram pedidos, e os valores são apresentados na Tabela 3.

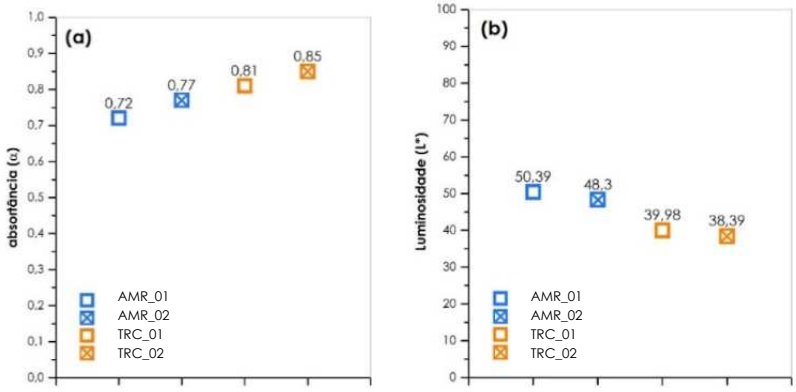
Tabela 3 - Valores de refletância solar e absortância solar das amostras medidas

Amostra	L*	a*	b*	C	h
AMR_01	50,39	8,69	20,35	22,13	66,88
AMR_02	48,30	8,14	18,22	19,96	65,91
TRC_01	39,98	13,29	11,27	17,43	40,31
TRC_02	38,39	12,52	16,12	16,12	39,04

Fonte: Os autores

Apesar de não ser a única característica a impactar na absortância solar das superfícies, a Figura 3 mostra que existe uma relação entre a absortância solar e a Luminosidade (L*) das amostras medidas. Nota-se que quanto maior a absortância solar, menor o L*, contudo, vê-se que as variações de cada propriedade não acontecem na mesma proporção, o que mais uma vez indica a importância da rugosidade no valor de absortância solar destas superfícies.

Figura 3 - (a) absortância solar das amostras, (b) Luminosidade (L) das amostras.*



Fonte: Os autores

A partir das diferenças de absortância solar das amostras de mesma cor, e semelhanças entre a de acabamento mais claro e rugoso (AMR_02) e a de acabamento mais escuro e menos rugoso (TCR_01), conhecer as propriedades das superfícies das construções em terra se faz, portanto, ainda mais importante, visto que este material apresenta variações de acabamentos e maior rugosidade do que uma parede convencional em concreto ou alvenaria após o processo de pintura.

4 CONCLUSÃO

A partir do exposto, nota-se inicialmente que os valores de L* possuem uma clara relação com a absortância solar das amostras. Quanto maior a luminosidade da amostra medida, menor foi a absortância solar calculada, para todas as situações observadas. Observando somente as amostras de mesma cor, notou-se que o aumento da rugosidade também implicou em uma redução no valor de L*. O oposto aconteceu para a absortância solar, quando mais rugosa a superfície, maior sua absortância solar, mesmo para amostras de mesma cor. As amostras AMR_01 e AMR_02, assim como TRC_01 e TRC_02, embora apresentem a mesma cor, exibiram valores distintos de refletância e absortância. Em contraste, AMR_02 e TRC_01, apesar de diferenças na cor e na rugosidade, demonstraram valores próximos para esses parâmetros, especialmente na região do infravermelho – faixa espectral crítica para o ganho térmico por radiação em superfícies. Dessa forma, os resultados confirmam a influência de fatores além da cor, como a rugosidade, na definição da absortância solar, propriedade termo física determinante para o desempenho térmico de materiais.

Além disso, os dados de refletância obtidos para revestimentos em terra podem ser aplicados em simulações termo energéticas de edifícios, aumentando a assertividade na avaliação do desempenho desses materiais. Ressalta-se, porém, que os resultados se referem a amostras produzidas com terra de composição granulométrica e química específicas, coletada em determinado local e profundidade. Portanto, a utilização de solos de outras origens pode gerar comportamentos distintos. Apesar dessa limitação, os valores e métodos aqui apresentados, conduzidos com rigor científico, ampliam a base de dados sobre o material e subsidiam pesquisadores, projetistas e executores na compreensão do comportamento da terra na construção civil – em especial, das propriedades termo físicas de sua superfície.

AGRADECIMENTOS

A empresa TAIPAL pelo fornecimento das amostras medidas, assim como ao Laboratório Interdisciplinar de Eletroquímica e Cerâmica (LIEC) e a Universidade Federal de São Carlos (UFSCar) por permitirem o uso dos equipamentos que se fizeram necessários.

REFERÊNCIAS

_____. **NBR ISO 10456:2022** – Materiais e produtos de construção – Propriedades higrotérmicas – Valores e procedimentos de projeto tabulados para determinar valores térmicos declarados e de projeto. Rio de Janeiro, 2022.

_____. **NBR 16814:2020** – Adobe – Requisitos e métodos de ensaio. Rio de Janeiro, 2022.

_____. **NBR 17014:2022** – Taipa de pilão – Requisitos, procedimentos e controle. Rio de Janeiro, 2022.

_____. **NBR 17162:2024** – Edificações – Refletância solar, emitância térmica de onda longa, absortância solar e índice de refletância solar (SRI) – Métodos de medição. Rio de Janeiro, 2024.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS – ASTM. **E903**: Standard test method for solar absorptance, reflectance and transmittance of materials using integrating spheres. ASTM International, 2020.

ANGER. Romain; FOUNTAINE, Laetitia; MOEVUS, Mariette. **Hygro-thermo-mechanical properties of earthen materiuals for construction: a literature review**. Terra 2012, XIth International Conference on the Study and Conservation of Earthen Architectural Heritage, Lima, Peru, 2012.

CRATerre; HOUBEN, Hugo; GUILLAUD, Hubert. **Traité de construction em terre**. Editions Parenthéses. 1989.

DORNELLES, Kelen Almeida. **Absortância solar de superfícies opacas: Métodos de determinação e base de dados para tintas látex, acrílica e PVA**. Tese doutorado em Engenharia Civil – Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 2008.

DORNELLES, Kelen. Almeida. Absortância solar de superfícies opacas: base de dados de tintas látex e PVA e a influência da rugosidade superficial. In: X Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído, 10., Encontro Latino-Americano de Conforto no Ambiente Construído, 6., 2009, Natal. **Anais**... Natal, 2009.

FARIA, Obede Borges, NEVES, Célia. **Técnicas de construção com terra**. Rede Ibero-americana PROTERRA. Bauru, 2011.

NEVES, Célia Maria Martins; FARIA, Obede Borges; ROTONDARO, Rodolfo; CEVALLOS, Patricio S.; HOFFMANN, Márcio Vieira. (2009). **Seleção de solos e métodos de controle na construção com terra – práticas de campo**. Rede Ibero-americana PROTERRA, 2010.

FATHY, Hassan. **Construindo com o Povo: arquitetura para os pobres**. Ed. Da Universidade de São Paulo, 1980.

LE CORBUSIER. **Por uma Arquitetura**. Ed. Perspectiva. 2020.

MINKE, Gernot. **Building with Earth**. Birkhäuser – Publishers for Architecture. Second Edition. 2009;

PENTTALA, Vesa. **Concrete and Sustainable Development**. ACI Materials Journal. 1997.

SANTOS, Elisiane, I.; Coimbra, Isadora L.; Marinoski, Deivis L.; Lamberts, Roberto; Dornelles, Kelen A. Influência da rugosidade superficial sobre os valores de absortância solar determinados com o espectrofotômetro portátil ALTA II. In: XI Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído, 11., Encontro Latino-Americano de Conforto no Ambiente Construído, 7., 2011, Búzios. **Anais**... Búzios, 2011.

SILVA, M. T.C.; MILANI, A. P. S. Condutividade térmica do material construtivo solo-cimento: um estudo bibliométrico. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 19., 2022, Canela. **Anais**... Porto Alegre: ANTAC, 2022.