

# Análise comparativa do desempenho higrotérmico de vedações verticais em cal-cânhamo, concreto e madeira com isolamento de celulose.

Comparative analysis of the hygrothermal performance of vertical walls in hemp-lime, concrete and wood with cellulose insulation.

## Carolina Rodrigues Dal Soglio

Filiação: Universidade Federal de Santa Catarina

Endereço: Laboratório de Conforto Ambiental (LabCon). Depto. de Arquitetura e Urbanismo, CTC-UFSC. Campus Trindade. CEP 88040-970. Florianópolis (SC), Brasil.

E-mail: carolina@labcon.ufsc.br

## Martin Ordenes Mizgier

Filiação: Universidade Federal de Santa Catarina

Endereço: Laboratório de Conforto Ambiental (LabCon). Depto. de Arquitetura e Urbanismo, CTC-UFSC. Campus Trindade. CEP 88040-970. Florianópolis (SC), Brasil.

E-mail: martin@arq.ufsc.br

**Manuscript Code:** 026

**Date of Acceptance/Reception:** 06.07.2018/31.05.2018

## Abstract

The ability of a building to regulate the amount of moisture present in the indoor environment has been recognized as beneficial in preventing damages to human health, comfort and building materials caused by inadequate levels of indoor humidity. This study aims to compare the hygrothermal performance of different building materials (concrete, hemp-lime and a composition of wood and cellulose insulation) in the subtropical humid climate with hot summer in the city of Florianópolis (SC). The simulations were performed using the HAMT algorithm of heat and moisture transfer of the EnergyPlus software. The results indicated that the concrete and hemp-lime walls perform significant moisture changes with the external environment, unlike the walls with wood and cellulose insulation, which present less humidity exchanges with the environment.

**Keywords:** hygrothermal performance, Moisture in buildings, Indoor humidity.

## Resumo

A capacidade de uma edificação de regular a quantidade de umidade presente no ambiente interno tem sido reconhecida como benéfica ao evitar os danos à saúde, conforto e aos materiais de construção causados por níveis inadequados de umidade interna. Este estudo tem por objetivo comparar o desempenho higrotérmico de diferentes materiais construtivos (concreto, cal-cânhamo e uma composição de madeira e isolante de celulose) no clima subtropical úmido com verão quente de Florianópolis (SC). As simulações foram realizadas utilizando o algoritmo HAMT de transferência de calor e umidade do software EnergyPlus. Os resultados indicaram que as paredes de concreto e de cal-cânhamo realizam trocas de umidade expressivas com o ambiente externo, diferentemente das paredes com madeira e isolamento de celulose, que se apresentam com menores trocas de umidade.

**Palavras chaves:** Performance Higrotérmica, Umidade nas edificações, Umidade interna.

## Introdução

A umidade presente nas edificações é resultado do vapor d'água proveniente do ambiente externo e da umidade gerada dentro das próprias edificações. A umidade é transportada através dos materiais em forma líquida ou gasosa (vapor). Quando a envoltória é permeável ao vapor d'água, ocorre um gradiente de vapor através dos elementos construtivos e a pressão de vapor interna não segue as flutuações da produção de vapor interna. Envoltórias compostas por materiais porosos também possuem a capacidade de armazenar umidade (GIVONI, 1976).

A ocorrência de altas umidades relativas no interior das edificações pode ser prejudicial à saúde e o conforto térmico humano, além de ser uma das condições favoráveis a proliferação de fungos nas superfícies internas (SEDLBAUER, 2002). Os danos aos materiais envolvem mudanças nas suas dimensões, apodrecimento dos materiais orgânicos (madeira, bambu, palha), corrosão do metal, amolecimento do gesso ou do reboco, desintegração da cola de painéis laminados colados, eflorescência de sais solúveis e descascamento dos revestimentos. Em termos de conforto térmico, a umidade presente no ar determina sua capacidade evaporativa e, conseqüentemente, o potencial do resfriamento evaporativo, mecanismo termorregulador importante para o corpo humano (suor) (GIVONI, 1976). Os principais fatores que afetam a ocorrência e a intensidade da condensação em uma edificação é o nível de pressão de vapor interna, a temperatura, a capacidade de absorção das superfícies internas e a transmissão de vapor através das paredes.

A capacidade de uma edificação de regular a quantidade de umidade presente no ambiente interno tem sido reconhecida como benéfica ao evitar os danos à saúde, conforto e aos materiais de construção causados por altos níveis de umidade interna. Este estudo tem por objetivo comparar o desempenho higrotérmico de diferentes materiais construtivos (concreto, cal-cânhamo e uma composição de madeira e isolante de celulose) em um clima subtropical úmido, na cidade de Florianópolis (SC). Três diferentes modelos foram simulados anualmente utilizando o programa EnergyPlus.

## Estado da arte do problema

O potencial de utilizar materiais de construção como agentes ativos para regulação da umidade nos ambientes internos e, consequentemente, promover um ambiente interno mais saudável têm sido objeto de diversos estudos. Materiais de construção porosos apresentam propriedades higrotérmicas que contribuem para a regulação de temperatura e umidade, mantendo a umidade relativa do ambiente interno estável e abaixo da umidade relativa média do ambiente externo, em níveis adequados à saúde humana e que evitam a proliferação de fungos (REMPEL; REMPEL, 2016; MCGREGOR et al, 2014; LIUZZI et al., 2012; HALL, 2008). Além da função de regulação de umidade, o resfriamento evaporativo intrínseco de materiais higroscópicos tem sido estudado (REMPEL; REMPEL, 2016) em relação a seu potencial como estratégia de condicionamento térmico passivo, apresentando bons resultados mesmo em climas subtropicais úmidos.

Nas análises de desempenho térmico de edificações, em geral, a transferência de umidade nas paredes é negligenciada, desconsiderando a influência das trocas de calor latente, ainda que a maioria dos materiais de construção sejam porosos e contenham água em diferentes fases. MENDES et al. (2014) evidenciam a importância de se incluir a combinação de transferência de massa e calor na simulação da performance energética de edifícios, para a obtenção de resultados mais precisos, principalmente em climas quentes e úmidos. MENDES, LAMBERTS e PHILIPPI (2018) constataram através de simulações com o programa UMIDUS que a existência de camadas de impermeabilização (tintas e demais barreiras de vapor) interferem nas trocas de calor latente e sensível nas edificações. BARCLAY, HOLCROFT e SHEA (2014) simularam o desempenho higrotérmico de uma edificação em Cal-Cânhamo (Hemp-Lime) utilizando os programas WUFI Pro e EnergyPlus (modelo HAMT) e obtiveram uma significativa diferença de 18% entre os resultados. Ambas simulações evidenciaram que, quando se aplica o modelo de transferência de calor e massa, a umidade relativa é a variável mais sensível e há pouca influência nos resultados de carga térmica.

## Metodologia

### Modelagem

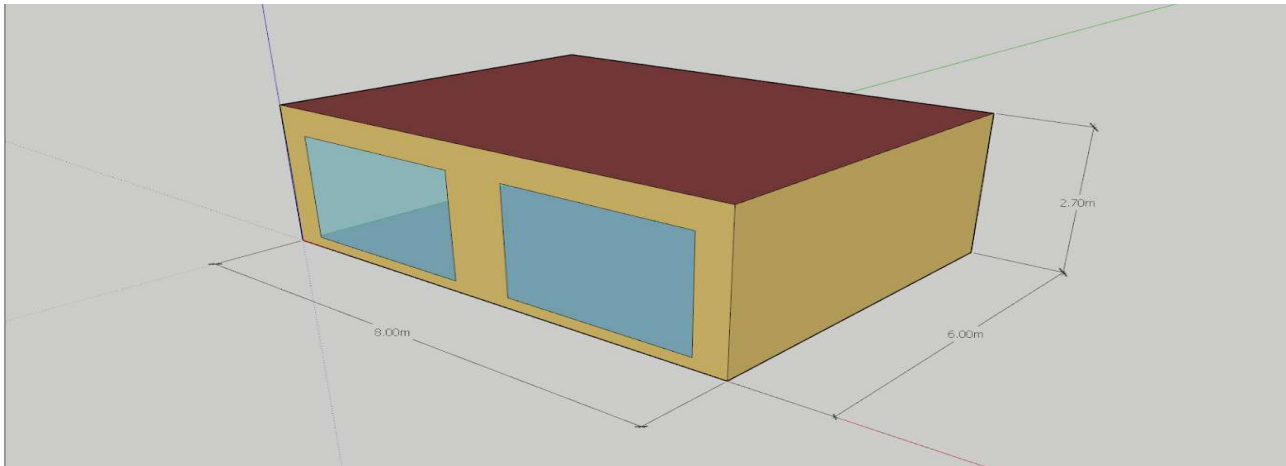
A modelagem foi realizada através do programa EnergyPlus (versão 8.9), utilizando o algoritmo de transferência combinada de calor e massa (Combined Heat and Moisture Transfer – HAMT). O arquivo de exemplo *HAMT\_HourlyProfileReport.idf* foi utilizado como referência. Este modelo consiste em uma única zona, de dimensões 8x6x2,7 m e com duas janelas de 2x3 m localizadas na superfície “parede sul” (ver Figura 1). Para não haver a interferência de equipamentos de ar condicionado na umidificação e desumidificação das zonas, qualquer forma de condicionamento de ar foi retirada do modelo, mantendo então as temperaturas internas dependendo apenas das trocas de calor e massa através das superfícies. A quantidade de trocas de ar por hora foi reduzida de 0,5 para 0.01, para diminuir a quantidade de interferência do ar externo sobre o desempenho de trocas de umidade nas paredes. Não houve o acréscimo de nenhuma fonte de umidade ou calor interno.

Conforme disposto na Tabela 1, as propriedades higrotérmicas dos materiais concreto, madeira e isolamento de celulose constam na base de dados do programa EnergyPlus (Example files) e as propriedades higrotérmicas do material cal-cânhamo foram obtidas através do estudo de Barclay, Holcroft E Shea (2014). Este estudo não considerou revestimentos, como rebocos ou tintas.

Tabela 1. Propriedades higrotérmicas dos materiais simulados. Fonte: Autores.

| Superfícies                             | Composição             | espessura | fonte                            |
|-----------------------------------------|------------------------|-----------|----------------------------------|
| Parede Concreto                         | concreto               | 10 cm     | ExampleFiles                     |
| Parede Cal-Cânhamo                      | cal-cânhamo            | 10 cm     | Barclay, Holcroft E Shea (2014). |
| Parede Madeira + Isolamento de Celulose | madeira                | 1.2 cm    | ExampleFiles                     |
|                                         | isolamento de celulose | 6 cm      | ExampleFiles                     |
|                                         | madeira                | 1.2 cm    | ExampleFiles                     |

Figura 1. Modelo representado tridimensionalmente no SketchUp, através do Plugin Euclid. Fonte: Autores

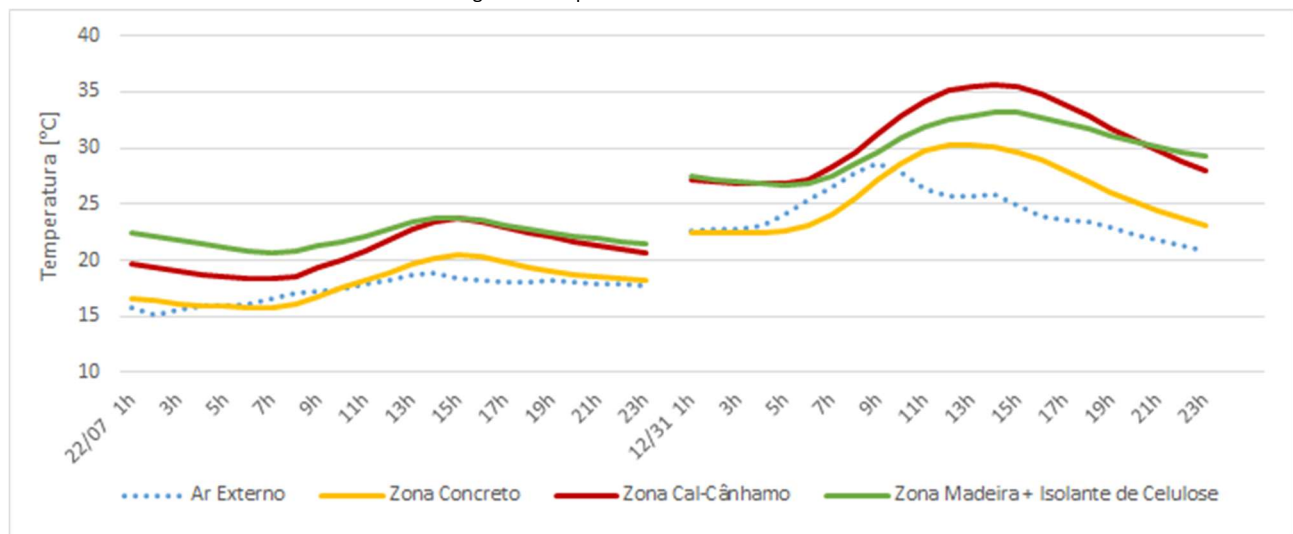


O Arquivo climático utilizado para as simulações foi do INMET 2016 (LABEEE, 2016) para a cidade de Florianópolis (SC), caracterizado como clima subtropical úmido com verão quente. Após simular o modelo anualmente foram selecionados um dia de inverno (21/07) e um dia de verão (31/12) para análise dos resultados, apresentados a seguir.

## Resultados

### Temperatura do ar

Figura 2. Temperatura do ar. Fonte: Autores.

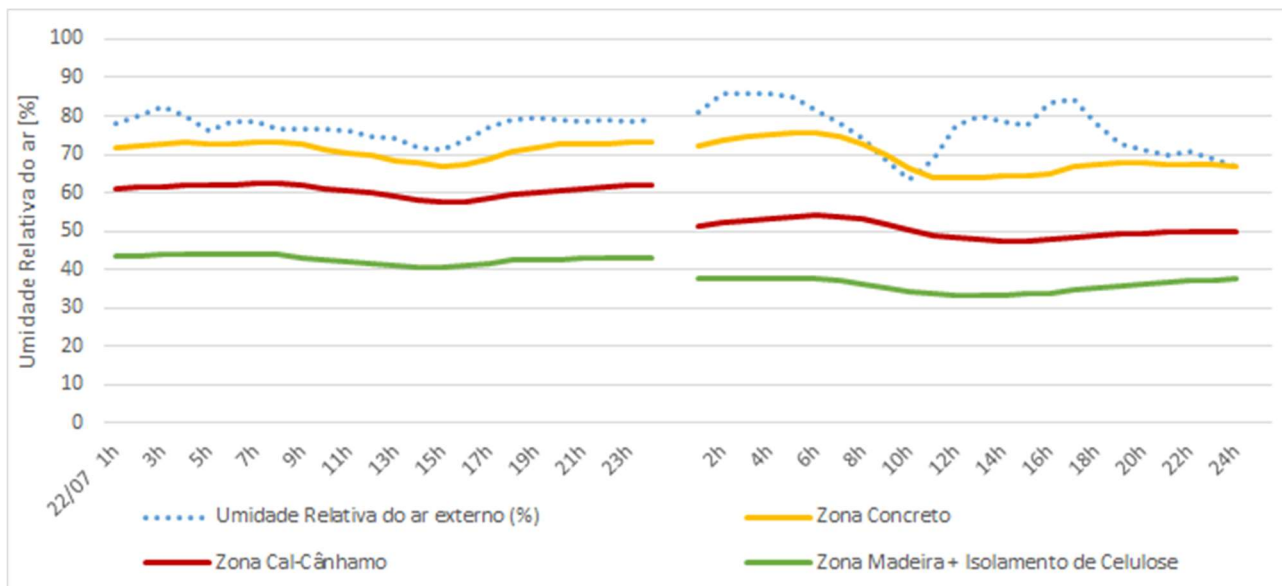


Como se pode observar na Figura 2 a zona Concreto apresenta temperaturas mais próximas das temperaturas externas em ambos os dias analisados. Este comportamento indica que o material apresenta altas taxas de trocas térmicas com o ambiente externo, não sendo um bom isolante térmico. As zonas Cal-Cânhamo e Madeira+Isolamento de Celulose apresentaram um comportamento distinto, pois não perderam o calor facilmente para o ambiente externo, mantendo as temperaturas sempre mais elevadas. Percebe-se maior amplitude térmica na zona Cal-Cânhamo que na zona Madeira+Isolamento de Celulose.

### Umidade relativa do ar

Realizar comparações em termos de umidade relativa pode gerar equívocos, pois conforme visto na Figura 2 as temperaturas são distintas entre cada zona e entre o ambiente externo, influenciando na quantidade de umidade que o ar pode conter.

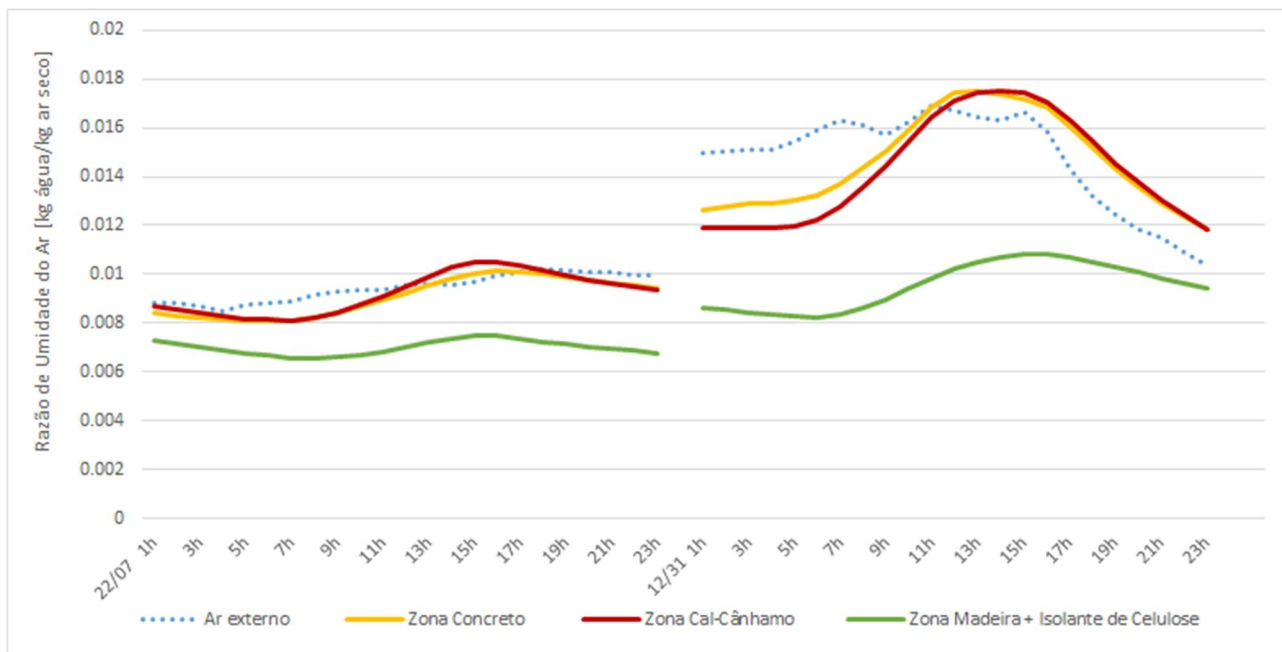
Figura 3. Umidade relativa do ar. Fonte: Autores.



É possível observar que as temperaturas internas da Zona Madeira+Isolamento de Celulose e da Zona Cal-Cânhamo são semelhantes e, no entanto, apresentam uma diferença de aproximadamente 15% de umidade relativa no dia 22/07 e de 10% no dia 31/12, conforme se percebe na Figura 3. A umidade relativa da Zona Concreto é a mais alta, porém também suas temperaturas internas são menores. Para comparar a quantidade absoluta de água é necessário verificar a razão da umidade do ar (Figura 4).

#### Razão de umidade do ar

Figura 4. Razão de umidade do ar. Fonte: Autores.

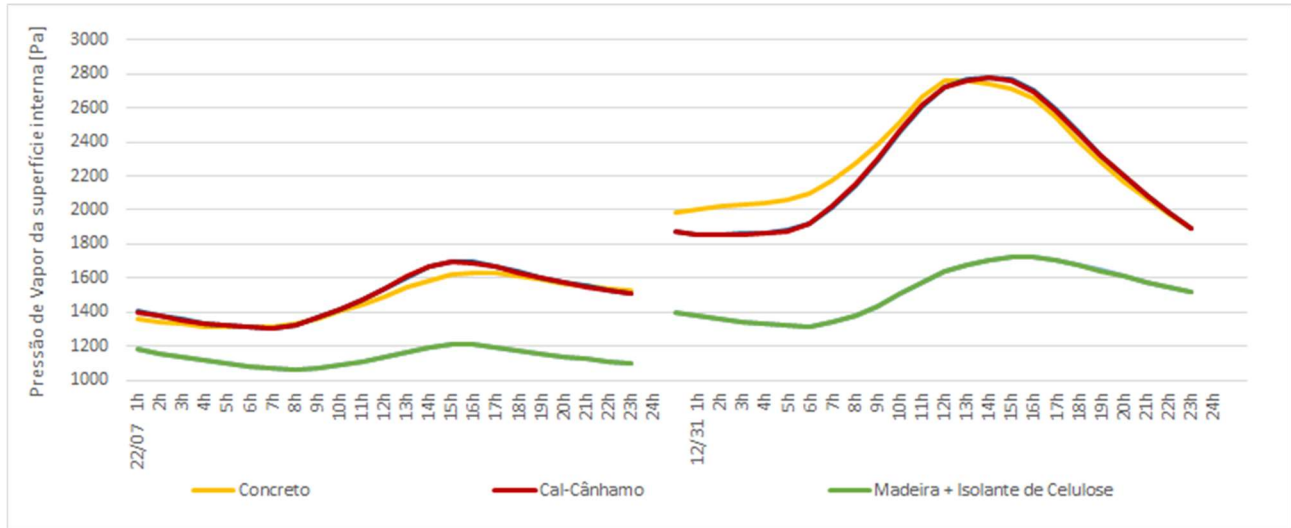


Ao analisar a Figura 4, percebe-se que as zonas Concreto e Cal-Cânhamo apresentam valores próximos à curva de razão de umidade do ar externo, diferindo do comportamento da zona com paredes em madeira e isolamento de celulose. O gráfico indica que o ar interno da zona Madeira+Isolamento de Celulose possui menor quantidade de vapor d'água do que as demais zonas e o ambiente externo, mesmo apresentando temperaturas internas semelhantes à zona Cal-Cânhamo, o que indica uma menor troca de umidade através da envoltória. Logo, os materiais concreto e cal-cânhamo apresentam uma maior troca de umidade com o meio externo do que a madeira com isolamento de celulose.

## Pressão de vapor da superfície interna

A pressão de vapor nas diferentes superfícies de cada zona (paredes, piso e teto) apresentaram valores com diferenças insignificantes, portanto apenas os dados obtidos para a parede leste foram comparados.

Figura 5. Pressão de vapor nas superfícies internas (paredes lestes). Fonte: Autores.

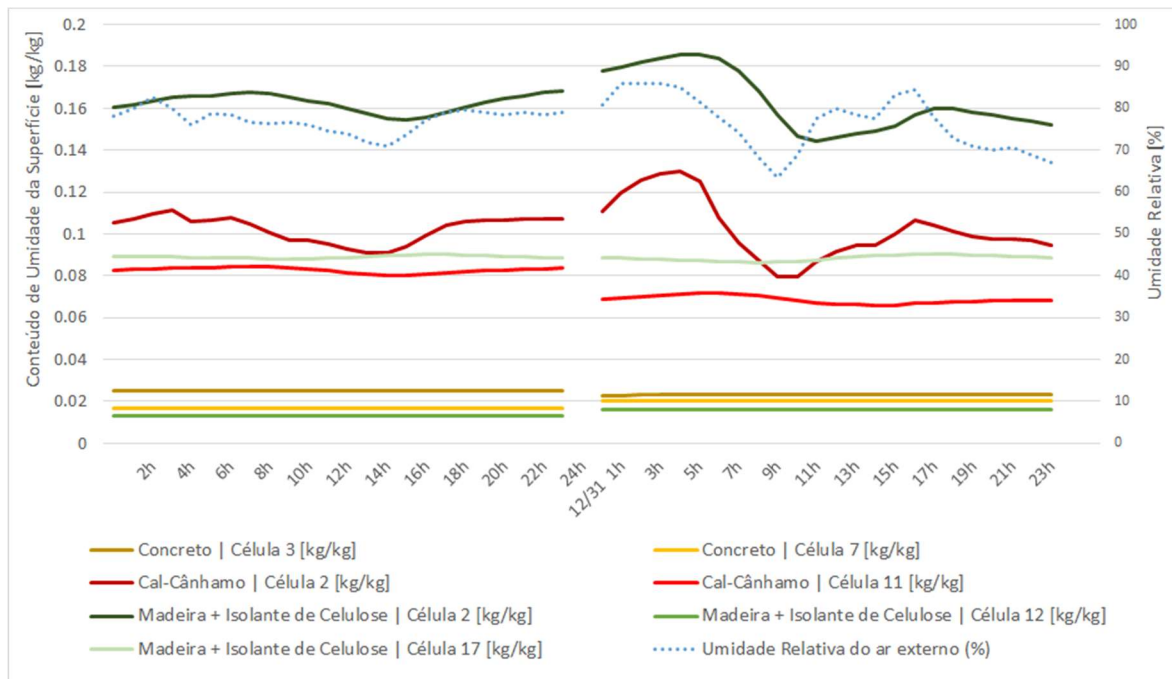


Conforme podemos ver na Figura 5 a zona Madeira+Isolamento de Celulose obteve os menores valores de pressão de vapor nas superfícies internas, o que condiz com sua condição de possuir a menor razão de umidade do ar. Esta zona também apresentou a menor variação em sua pressão de vapor, comparando com as zonas Concreto e Cal-Cânhamo. As curvas de pressão de vapor seguem as tendências vistas no gráfico de temperaturas (Figura 2) e de razão da umidade do ar (Figura 4).

## Conteúdo de umidade das superfícies

Para analisar o conteúdo de umidade as superfícies foram divididas em células, com a numeração partindo do meio externo para o interno.

Figura 6. Conteúdo de umidade das superfícies. Fonte: Autores.



As células das paredes de concreto apresentaram baixo conteúdo de água e pouca variação entre sua superfície interna e externa, indicando que não armazenam uma quantidade significativa de umidade dentro do material construtivo. O cal-cânhamo é um material cuja superfície externa variou na mesma proporção que a umidade relativa externa, variando entre 0.08 e 0.12  $\text{kg}_{\text{água}}/\text{kg}_{\text{material}}$ , e sua superfície interna apresentou uma variação menor, mas ainda com um conteúdo de água semelhante ao da superfície externa.

As paredes compostas de madeira e isolamento térmico possuem um comportamento heterogêneo ao longo de suas camadas, sendo que a superfície externa (composta de madeira) possui o maior conteúdo de umidade, variando entre 0.16 e 0.19  $\text{kg}_{\text{água}}/\text{kg}_{\text{material}}$ , e é responsiva às variações de umidade externa. A superfície interna, também composta de madeira, apresenta um conteúdo de umidade similar ao apresentado pela parede de cal-cânhamo, porém a camada intermediária, composta de isolamento de celulose, apresenta baixo conteúdo de umidade indicando que não há acúmulo de umidade na parte interna da parede.

## Discussão e Conclusões

A zona Madeira+Isolamento de Celulose apresentou temperaturas internas mais altas que o ambiente externo, indicando um comportamento térmico isolante e apresentou poucas trocas de umidade com o ambiente externo, indicada pela menor pressão de vapor nas superfícies internas e pela menor razão de umidade do ar. O menor conteúdo de umidade em sua camada intermediária (isolamento de celulose) indicou baixa capacidade de armazenar umidade.

A zona Concreto apresentou os valores de temperatura e razão de umidade do ar mais próximos do ambiente externo, indicando troca de calor e umidade, e não apresentou o potencial de acumular umidade em suas superfícies, visto pelo baixo conteúdo de água em suas superfícies.

A zona com envoltória de cal-cânhamo apresentou resultados próximos ao concreto em termos de razão de umidade do ar e pressão de vapor, porém se aproximou do isolante de celulose em termos de temperaturas internas. Estes resultados indicam maiores trocas de umidade com o ambiente externo e menor troca de calor, além de demonstrar a capacidade do material em armazenar umidade.

Neste contexto climático, de alta umidade relativa do ar, a capacidade de armazenar umidade das paredes de cal-cânhamo não demonstrou uma influência significativa na razão de umidade do ar interno da zona, pois os resultados foram muito semelhantes à zona Concreto. O comportamento higrotérmico do cal-cânhamo, neste contexto climático, é de interesse pois apresentou maior isolamento térmico mantendo as trocas de umidade do ar interno com o ar externo.

Estudos considerando a influência das trocas de ar com o exterior (ventilação e infiltração) e a produção interna de vapor são necessários para verificar com maior precisão como estes materiais se comportam em relação às trocas de calor e umidade em climas quentes e úmidos.

## Agradecimentos

Os autores agradecem à CAPES pelo apoio financeiro.

## Referências

- Barclay; Holcroft; Shea (2014). Methods to determine whole building hygrothermal performance of hemp-lime buildings. Buildings and environment v. 80, p. 204-2012.
- Givoni, B. (1976). Man, Climate and Architecture. Applied Science Publishers. Segunda edição. 483 p.
- Hall, A. (2008). Assessing the effects of soil grading on the moisture content-dependent thermal conductivity of stabilized rammed earth materials. Applied Thermal Engineering, v. 29. P 740 – 747.
- McGregor et al (2014). The moisture buffering capacity of unfired clay masonry. Building and Environment v. 82. P.599-607.
- Minke, G. (2006). Building with Earth: Design and Technology of a Sustainable Architecture. 208 p.
- Mendes, N.; Winkelmann, F.; Lamberts, R.; Philippi, P.; Cunha Neto, J. A. (2018). Dynamic Analysis of Moisture Transport through Walls and Associated Cooling Loads in the Hot/Humid Climate of Florianópolis, Brazil. Researchgate.
- Mendes; Lamberts; Philippi. Moisture Migration through Exterior Envelopes in Brazil. Buildings VIII. Applied Heat and Moisture Modeling – principles. Available in: [https://web.ornl.gov/sci/buildings/conf-archive/2001%20B8%20papers/026\\_Mendes.pdf](https://web.ornl.gov/sci/buildings/conf-archive/2001%20B8%20papers/026_Mendes.pdf).
- Rempel;Rempel (2016). Intrinsic evaporative cooling by hygroscopic earth materials. Geosciences, v. 06 p. 38. ‘
- Liuzzi et al. (2013). Hygrothermal behavior and relative humidity buffering of unfired and hydrated lime-stabilised clay composites in a mediterranean climate. Building and Environment 61. P. 82-92.
- LABEEE (2016). Arquivos Climáticos INMET