

## OTIMIZAÇÃO DE TECNOLOGIAS DE CLIMATIZAÇÃO GEOTÉRMICA COM BASE NAS CARACTERÍSTICAS DE ARGILA E ARGILA SATURADA NO SOLO DE PELOTAS, RS

**JEFERSON MEIRA<sup>1</sup>; WAGNER DE ALMEIDA LUCAS<sup>2</sup>; HUMBERTO DIAS VIANNA<sup>3</sup>; CLAUDIA FERNANDA ALMEIDA TEIXEIRA GANDRA<sup>4</sup>; RUTH DA SILVA BRUM<sup>5</sup>**

<sup>1</sup>*Universidade Federal de Pelotas – jeferson.meira@ufpel.edu.br*

<sup>2</sup>*Universidade Federal de Pelotas – wagneralmeidalucas94@hotmail.com*

<sup>3</sup>*Universidade Federal de Pelotas (UFPel) – hdvianna@ufpel.edu.br*

<sup>4</sup>*Universidade Federal de Pelotas (UFPel) – claudia.teixeira@ufpel.edu.br*

<sup>5</sup>*Universidade Federal de Pelotas (UFPel) – ruth.silva.brum@ufpel.edu.br*

### 1. INTRODUÇÃO

A crescente demanda por energia, associada ao esgotamento de recursos não renováveis e aos impactos ambientais, ressalta a necessidade urgente de alternativas energéticas mais sustentáveis. Atualmente, a maior parte da energia consumida globalmente provém de combustíveis fósseis, como carvão, petróleo e gás natural, que, além de serem consumidos a uma taxa superior à sua regeneração, liberam grandes quantidades de gases de efeito estufa, agravando o aquecimento global (AGRAWAL et al., 2019; MIHALAKAKOU et al., 2022).

No setor de edificações, que responde por aproximadamente 40% do consumo global de energia e um terço das emissões de gases de efeito estufa, o uso intensivo de sistemas convencionais de climatização, como aparelhos de ar-condicionado, tem elevado significativamente o consumo energético e as emissões de CO<sub>2</sub> (URGE-VORSATZ et al., 2017; MIHALAKAKOU et al., 2022). Diante disso, soluções sustentáveis, como os trocadores de calor solo-ar (TCSA), têm se destacado como alternativas promissoras.

Os Trocadores de calor solo-ar (TCSAs) são sistemas de climatização passiva que utilizam a inércia térmica do solo para aquecer ou resfriar o ar que circula em dutos enterrados. Esses dutos trocam calor com o solo, permitindo que o ar se resfrie no verão e aqueça no inverno, de acordo com as condições sazonais, sem a necessidade de grande consumo de energia (ESTRADA, 2018). A eficiência dos TCSAs depende de fatores como a profundidade dos dutos, que influencia o desempenho térmico até cerca de 3 metros (BRUM, 2013), além de variáveis como o comprimento, o diâmetro e a velocidade do fluxo de ar (BISONIYA, 2015).

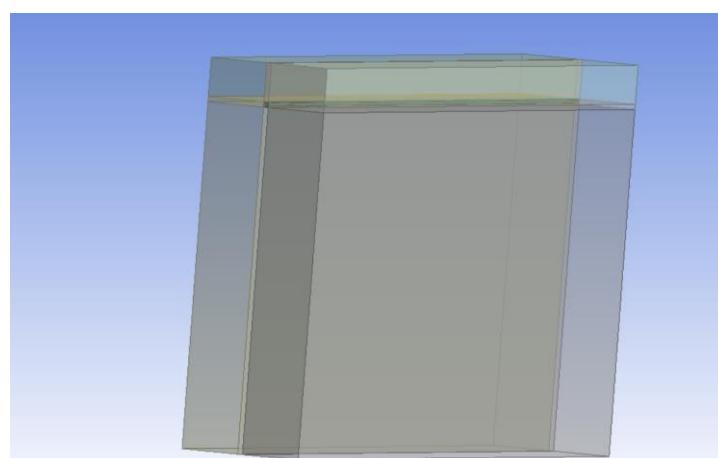
Este estudo busca analisar as características do solo na cidade de Pelotas, RS, com ênfase em tipos de solo como argila e argila saturada, a fim de otimizar o desempenho dos trocadores de calor solo-ar e, assim, contribuir para o desenvolvimento de soluções energéticas mais eficientes e sustentáveis para a climatização de edificações.

## 2. METODOLOGIA

Para avaliar o desempenho térmico dos TCSAs, utilizamos o software Ansys Fluent para realizar simulações numéricas, considerando dois tipos de solo: argila e argila saturada. As propriedades físicas dos materiais foram definidas com base em dados de temperatura do ar fornecidos pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) e em dados do solo obtidos por Nóbrega (2021), referentes à cidade de Pelotas, Rio Grande do Sul, Brasil. A modelagem geométrica do duto enterrado considerou parâmetros específicos, incluindo comprimento de 25,77 m, largura de 5 m, profundidade de 15 m, profundidade de instalação dos dutos de 1,6 m, e diâmetro do duto de 0,110 m.

O processo envolveu a definição das condições de contorno, a geração de uma malha otimizada e a execução de simulações com o objetivo de realizar uma análise detalhada do desempenho térmico dos TCSAs. Para as propriedades do ar, foram adotados os seguintes valores: densidade ( $\rho$ ) de  $1,16 \text{ kg/m}^3$ , capacidade térmica específica a pressão constante ( $cp$ ) de  $1010 \text{ J/(kg}\cdot\text{°C)}$ , condutividade térmica ( $\kappa$ ) de  $0,0242 \text{ W/(m}\cdot\text{°C)}$  e viscosidade dinâmica ( $\nu$ ) de  $1,7894 \times 10^{-5} \text{ kg/(m}\cdot\text{s)}$ . No caso da argila, os parâmetros utilizados foram: massa específica de  $1600 \text{ kg/m}^3$ , condutividade térmica de  $0,25 \text{ W/(m}\cdot\text{°C)}$  e calor específico de  $890 \text{ J/(kg}\cdot\text{°C)}$ . Para a argila saturada, os valores considerados foram: massa específica de  $2000 \text{ kg/m}^3$ , condutividade térmica de  $1,58 \text{ W/(m}\cdot\text{°C)}$  e calor específico de  $1550 \text{ J/(kg}\cdot\text{°C)}$ .

Figura 1: Modelo 3D do domínio de simulação para a análise de transferência de calor no solo.

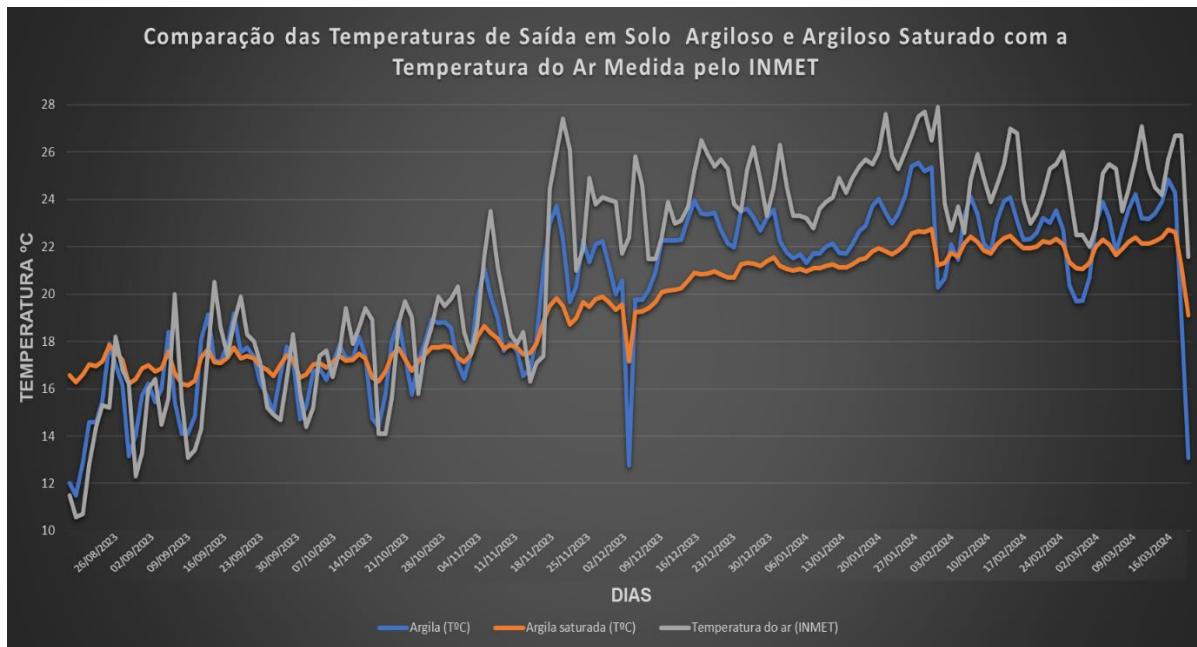


Fonte: Dos autores.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados da variação da temperatura na saída do TCSA para os solos de argila e argila saturada estão apresentados na Figura 2. Esta Figura ilustra as diferenças nas respostas térmicas dos tipos de solo analisados, destacando variações significativas que dependem tanto da composição do solo quanto de suas condições de saturação.

Figura 2: Variação Térmica: Comparação entre Temperaturas do Solo Argiloso, Argiloso saturado e do Ar



Fonte: Dos autores.

A análise dos dados revela que a temperatura do ar medida pelo INMET exibe maior variabilidade de temperatura em comparação com as temperaturas registradas no solo argiloso e no solo argiloso saturado. O solo saturado demonstra uma estabilidade térmica superior, apresentando menor amplitude de variação. Isso sugere que a presença de água no solo aumenta sua capacidade de regular as flutuações térmicas, funcionando como um amortecedor térmico eficaz. Portanto, a saturação do solo desempenha um papel crucial na moderação das mudanças de temperatura, destacando a importância da umidade do solo na dinâmica térmica ambiental.

### 4. CONCLUSÕES

A análise dos TCSA em solos argilosos e argilosos saturados em Pelotas, RS, evidenciou que as propriedades térmicas dos diferentes tipos de solo têm um impacto significativo na eficiência do sistema. O solo argiloso saturado demonstrou uma estabilidade térmica superior, resultando em menor variabilidade nas temperaturas de saída do TCSA, o que o torna uma opção eficaz para climatização passiva. Em contraste, o solo argiloso, apesar de apresentar boa retenção térmica, mostrou maior sensibilidade às mudanças de temperatura, resultando em desempenho inferior em comparação ao solo saturado. Portanto, conclui-se que o solo argiloso saturado é mais adequado para a instalação de TCSAs, proporcionando maior eficiência energética e se destacando como uma alternativa promissora para sistemas de climatização sustentáveis em edificações. Essas conclusões enfatizam a importância de considerar a umidade do solo e suas propriedades térmicas na otimização de sistemas geotérmicos.

## 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGRAWAL, K.K. et al. The state of art on the applications, technology integration, and latest research trends of earth-air-heat exchanger system. **Geothermics**, v.82, p.34-50, 2019.
- BISONIYA, T.S. Design of earth-air heat exchanger system. **Geoothermal Energy**, v.3, n.18, p.1-10, 2015.
- BRUM, R.S. **Modelagem computacional de trocadores de calor solo-ar**. 2013. Dissertação (Mestrado em Modelagem Computacional) - Instituto de Matemática, Estatística e Física, Universidade Federal do Rio Grande.
- ESTRADA, E. et al. The impact of latent heat exchanges on the design of earth air heat exchangers. **Applied Thermal Engineering**, v.129, p.306-317, 2018.
- MIHALAKAKOU, G. et al. Applications of earth-to-air heat exchangers: A holistic review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v.155, p.1-24, 2022.
- Nobrega, E. S. B. (2021). **Abordagem analítica para análise térmica dos trocadores de calor solo-ar na cidade de Pelotas/RS**. Dissertação de Mestrado, IFM/UFFP, Pelotas - RS.
- URGE-VORSATZ, D. et al. Building sector energy efficiency and emissions reduction: A review of the current state and directions for future research. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v.77, p.526-539, 2017.