

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

DANIEL SOARES TEIXEIRA<sup>1</sup>; JEFERSON MEIRA<sup>2</sup>; WAGNER DE ALMEIDA LUCAS<sup>3</sup>; HUMBERTO DIAS VIANNA<sup>4</sup>; CLAUDIA FERNANDA ALMEIDA TEIXEIRA GANDRA<sup>5</sup>; RUTH DA SILVA BRUM<sup>6</sup>

<sup>1</sup>Universidade Federal de Pelotas (UFPeL) – danielteixeirasvp@hotmail.com

<sup>2</sup>Universidade Federal de Pelotas (UFPeL) – jeferson.meira@ufpel.edu.br

<sup>3</sup>Universidade Federal de Pelotas (UFPeL) – wagneralmeidalucas94@hotmail.com

<sup>4</sup>Universidade Federal de Pelotas (UFPeL) – hdvianna@ufpel.edu.br

<sup>5</sup>Universidade Federal de Pelotas (UFPeL) – claudia.teixeira@ufpel.edu.br

<sup>6</sup>Universidade Federal de Pelotas (UFPeL) – ruth.silva.brum@ufpel.edu.br

### 1. INTRODUÇÃO

A crescente demanda por energia elétrica e a limitação dos recursos naturais impõem à sociedade a busca por práticas mais eficientes e sustentáveis, minimizando os impactos ambientais. Em países desenvolvidos, 20% a 40% do consumo total de energia é destinado à climatização de edificações (SOARES et al., 2013). No Brasil, projeta-se um aumento expressivo da demanda energética, reforçando a necessidade de soluções sustentáveis, como a energia geotérmica (BRUGNERA et al., 2019).

Nesse contexto, os trocadores de calor solo-ar (TCSA) emergem como uma tecnologia promissora, utilizando as propriedades térmicas do solo para climatização eficiente. Com tubulações subterrâneas que permitem a troca de calor com o solo, essa tecnologia explora temperaturas mais estáveis nas camadas superficiais, frequentemente inferiores à temperatura externa (RODRIGUES, 2014).

Estudos indicam que o solo pode atuar como um reservatório de energia térmica, moderando a temperatura do ar circulante e reduzindo a necessidade de sistemas convencionais de climatização (VAZ et al., 2014). A eficácia dos TCSA é influenciada por variáveis de projeto, como profundidade e diâmetro dos dutos. BRUM (2013) observou que a profundidade impacta significativamente até três metros, enquanto BISONIYA (2015) encontrou melhor desempenho em dutos mais longos, de menor diâmetro e instalados a maiores profundidades. RODRIGUES et al. (2018) destacaram que solos argilosos podem oferecer melhorias térmicas superiores a 60%.

Este trabalho visa analisar o desempenho de TCSAs em diferentes tipos de solo, comparando eficiência térmica e condições operacionais em solos argilosos saturados e arenosos saturados, avaliando seu potencial para reduzir o consumo energético em edificações.

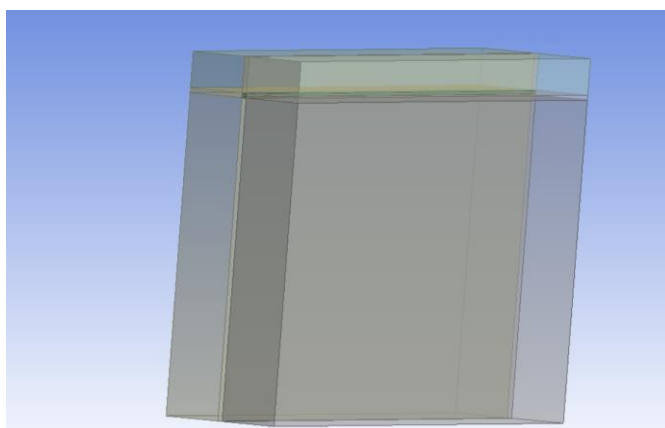
## 2. METODOLOGIA

Para avaliar o desempenho térmico dos TCSAs, utilizamos o software Ansys Fluent para simulações numéricas em dois tipos de solo: argila e areia. As propriedades físicas dos materiais foram baseadas em dados de temperatura do ar do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) e informações de solo de Nóbrega (2021) referentes à cidade de Pelotas, Rio Grande do Sul.

A modelagem do duto enterrado incluiu dimensões específicas: comprimento de 25,77 m, largura de 5 m, profundidade de 15 m, profundidade de instalação dos dutos de 1,6 m e diâmetro de 0,110 m. O processo abrangeu a definição das condições de contorno, geração de uma malha otimizada e execução de simulações para análise detalhada do desempenho térmico.

Os parâmetros adotados para o ar foram: densidade ( $\rho$ ) de  $1,16 \text{ kg/m}^3$ , capacidade térmica específica ( $c_p$ ) de  $1010 \text{ J/(kg}\cdot^\circ\text{C)}$ , condutividade térmica ( $\kappa$ ) de  $0,0242 \text{ W/(m}\cdot^\circ\text{C)}$  e viscosidade dinâmica ( $\nu$ ) de  $1,7894 \times 10^{-5} \text{ kg/(m}\cdot\text{s)}$ . Para a argila saturada, utilizamos: massa específica de  $2000 \text{ kg/m}^3$ , condutividade térmica de  $1,58 \text{ W/(m}\cdot^\circ\text{C)}$  e calor específico de  $1550 \text{ J/(kg}\cdot^\circ\text{C)}$ . Para a areia saturada, consideramos: massa específica de  $2000 \text{ kg/m}^3$ , condutividade térmica de  $2,20 \text{ W/(m}\cdot^\circ\text{C)}$  e calor específico de  $1480 \text{ J/(kg}\cdot^\circ\text{C)}$ .

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

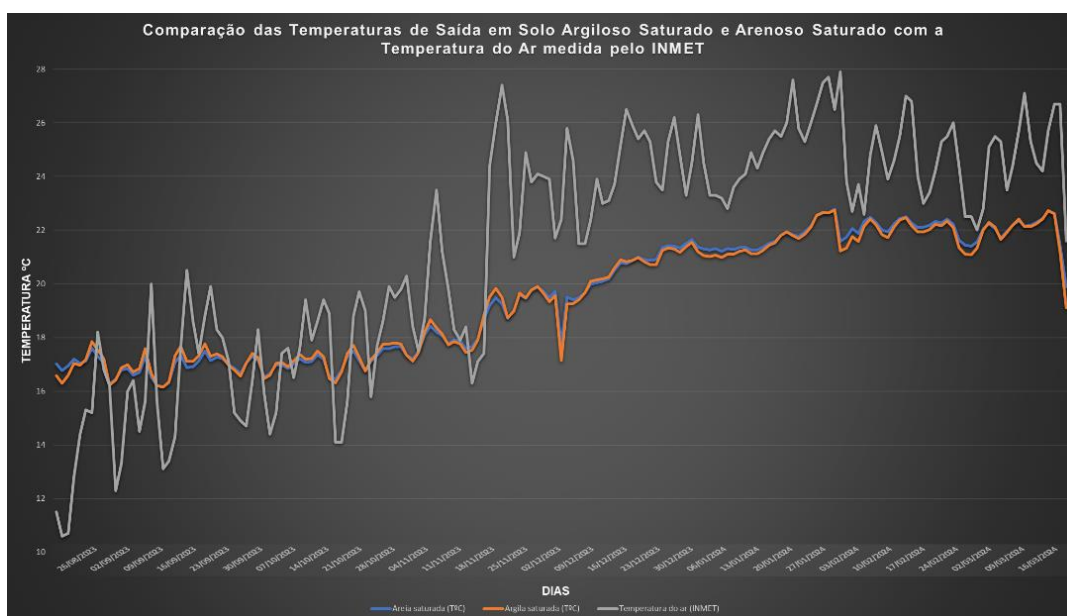


Fonte: Dos autores.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados da variação da temperatura na saída do trocador de calor solo-ar (TCSA) para os solos de areia saturada 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.

Observa-se que as temperaturas dos TCSAs em ambos os tipos de solo mantiveram-se mais estáveis em comparação com as variações da temperatura do ar externo, que exibiu flutuações significativas, chegando a oscilar entre 10°C e 28°C. As temperaturas de saída nos solos argiloso e arenoso saturados variaram entre 15°C e 19°C, com o solo argiloso apresentando menor amplitude térmica. Isso sugere que o solo argiloso tem maior capacidade de moderação térmica, resultando em uma climatização mais eficiente. Esses resultados reforçam a adequação do solo argiloso para o uso em TCSAs, proporcionando uma climatização mais estável e eficiente em comparação com o solo arenoso.

### 4. CONCLUSÕES

A análise dos trocadores de calor solo-ar (TCSAs) mostra que eles são eficazes na estabilização térmica de edificações, reduzindo variações de temperatura interna. O estudo comparativo indica que solos argilosos saturados têm maior capacidade de armazenar e transferir calor em relação aos solos arenosos, devido ao alto calor específico da água presente em seus poros. Isso torna os TCSAs particularmente adequados para regiões com solos argilosos, onde podem reduzir o consumo energético de sistemas de climatização. A avaliação prévia das características do solo é essencial para maximizar a eficiência desses sistemas, consolidando-os como uma solução sustentável.

## 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BISONIYA, T.S. Performance analysis of earth–air heat exchanger system based on duct length and diameter. **Energy and Buildings**, Amsterdam, v.86, p.494-500, 2015.

BRUGNERA, F.J.; SOUZA, A.P.; MOURA, C.L. A importância das energias alternativas no Brasil. In: **ENCONTRO NACIONAL DE ENERGIAS RENOVÁVEIS**, 10., Brasília, 2019. Anais... Brasília: Gráfica Nacional, 2019. p.85-94.

BRUM, R.S. **Estudo sobre a eficiência dos trocadores de calor solo-ar em diferentes profundidades**. 2013. 95f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Pelotas.

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/UFPEL, Pelotas - RS.

RODRIGUES, A.L.; MOURA, F.S.; PEREIRA, J.F. Trocadores de calor solo-ar: uma solução eficiente para climatização de ambientes. In: **SIMPÓSIO NACIONAL DE CLIMATIZAÇÃO EFICIENTE**, 4., Porto Alegre, 2014. Anais... Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2014. p.65-78.

RODRIGUES, L.F.; SILVA, R.S.; ALMEIDA, M.P. Influence of soil type on the performance of ground heat exchangers. **Renewable Energy**, Amsterdam, v.125, p.648-655, 2018.

SOARES, N.B.; OLIVEIRA, M.L.; MARTINS, P.M. Análise do uso de sistemas geotérmicos para climatização de edificações. **Energy Efficiency**, Amsterdam, v.6, p.256-270, 2013.

VAZ, A.C.; DIAS, P.; CAVALCANTI, J.F. Analysis of ground-coupled heat exchanger for passive cooling. **Renewable Energy**, Amsterdam, v.75, p.694-705, 2014.