

AVALIAÇÃO SINTÉTICA DA PERFORMANCE DE TROCADORES DE CALOR SOLO-AR REVESTIDOS POR MATERIAIS GALVANIZADOS DE FORMATO ELÍPTICO

ANA MARIA BERSCH DOMINGUES¹; HONÓRIO JOAQUIM FERNANDO²;
MICHEL KEPES RODRIGUES³; JAIRO VALÕES DE ALENCAR RAMALHO⁴

¹Universidade Federal de Pelotas – berschdomingues@hotmail.com

²Universidade Federal Fluminense – honoriofernando@id.uff.br

³Universidade Federal do Rio Grande – michelkrodrigues@gmail.com

⁴Universidade Federal de Pelotas – jairo.ramalho@ufpel.edu.br

1. INTRODUÇÃO

As preocupações ambientais estão atualmente em destaque devido aos possíveis impactos associados ao aquecimento global. Nesse sentido, esforços têm sido feitos para reduzir a influência das atividades humanas. Segundo WRI (2020), a geração de energia é a maior responsável pelas emissões de gases de efeito estufa, contribuindo com 73% do total de emissões globais. Além disso, LI et al. (2019) dizem que os edifícios consomem cerca de 40% da energia primária mundial. Nesse cenário, estratégias para atenuar esses impactos são pesquisadas, emergindo entre elas o Trocador de Calor Solo-Ar (TCSA), um dispositivo que utiliza o solo como fonte ou sumidouro de calor, composto por um ou mais dutos enterrados (BRUM, 2016). Esses dispositivos possuem um sistema de ventilação que conduz o ar pelos dutos, permitindo a troca térmica com o solo circundante. Como o solo é naturalmente mais frio que o ar em dias quentes e mais quente em dias frios, essa troca ajuda a regular a temperatura do ar que entra nos edifícios. Isso não apenas contribui para o conforto térmico, mas também economiza energia, quando se compara com sistemas de ar-condicionado convencionais. A Figura 1 mostra como o TCSA funciona em dias quentes.

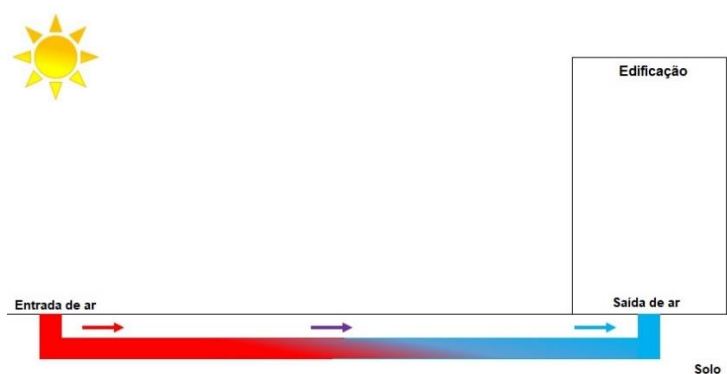


Figura 1: Esquema de um TCSA para dias quentes.

Este trabalho apresenta uma síntese de simulações de um TCSA acoplado a um material galvanizado de formato elíptico. O objetivo é determinar, com uma área fixa, a geometria do material que proporciona maiores potenciais térmicos do solo e do TCSA. Vale destacar que este é um resumo de um trabalho maior que será apresentado no Congresso Internacional de Engenharia Mecânica, o COBEM¹ 2023.

¹ <https://eventos.abcm.org.br/cobem2023/>

2. METODOLOGIA

Este resumo aborda simulações de um TCSA a partir de dados climáticos da cidade de Viamão, Rio Grande do Sul. Além do sistema TCSA convencional, os pesquisadores introduziram o uso de um material galvanizado em formato elíptico ao redor do duto. Essa adição tem como propósito elevar a condutividade térmica na região, permitindo uma exploração mais eficaz do potencial térmico do solo. Neste texto serão abordados os resultados obtidos para um material galvanizado, ocupando 2% da área computacional, sendo esta apresentada na Figura 2, onde a elipse foi ampliada para melhorar a visualização. Nessa representação, z_0 indica a profundidade do centro do duto, considerada como 1,6 m para este trabalho, enquanto a e b correspondem, respectivamente, aos semieixos horizontal e vertical da elipse. As variáveis T e T_a denotam as temperaturas, em °C, do solo e do ar, respectivamente. Para a geometria do duto, foram adotados os parâmetros descritos em VAZ (2011), que especificam um comprimento de duto de 25,77 m e um diâmetro de 0,11 m.

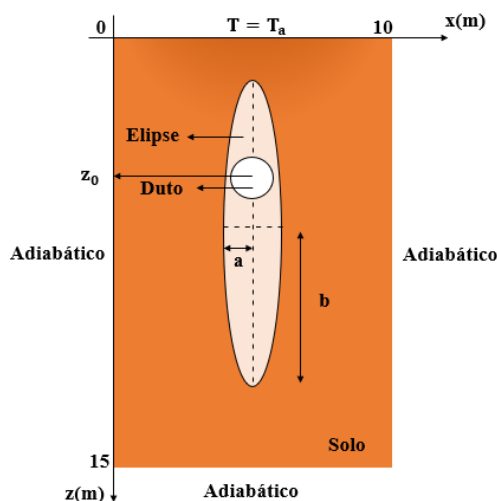


Figura 2: Vista da área transversal sem escala do domínio computacional.

As dimensões dos semieixos foram variadas mantendo a área da região elíptica igual a 3 m^2 , o que corresponde a 2% da área do domínio computacional. Esse valor também foi usado em RAMALHO et al. (2022), utilizando uma região circular. Para isso, um valor era selecionado para o semieixo horizontal a e, em seguida, o semieixo vertical b era calculado por meio da seguinte relação:

$$b = \frac{r^2}{a}, \quad (1)$$

sendo r o raio do círculo, considerado como $r = 0,98$, aproximadamente.

As simulações do sistema TCSA utilizaram o modelo denominado GAEA, uma abordagem analítica descrita na literatura RAMALHO et al. (2022). Esse modelo desempenha um papel crucial ao fornecer um perfil detalhado da temperatura ao longo do duto. O seu funcionamento baseia-se na estimativa dos coeficientes de transferência de calor que regem as trocas térmicas entre o ar, as paredes do duto e o solo circundante. Por meio da aplicação do GAEA, torna-se possível decompor o duto em múltiplos segmentos de tamanho Δx , possibilitando, assim, o cálculo iterativo das temperaturas em diferentes pontos do duto. Nesse contexto, as temperaturas do solo nas paredes do duto são obtidas através de:

$$T_{c,w}^k = \frac{U^*T + T_{a,i}^k}{U^* + 1}, \quad (1)$$

sendo T a temperatura do solo, $T_{a,i}^k$ a temperatura do ar na entrada do segmento k e U^* a relação de condutância da transferência de calor do ar para o duto e do duto para o solo. A temperatura na saída de cada segmento é dada por:

$$T_{a,o}^k = T_{a,i}^k \frac{\Delta x U_L (T_{c,w}^k - T_{a,i}^k)}{\dot{m} c_{p,a}}, \quad (2)$$

onde $\dot{m}$, $c_{p,a}$ e U_L são, respectivamente, o fluxo de massa, o calor específico do ar e o coeficiente geral de transferência de calor (por comprimento do duto) entre a corrente de ar e as paredes do duto.

Para as simulações do modelo GAEA, é necessário conhecer a temperatura do solo não influenciada pelas características do trocador. Desse modo, esta foi resolvida numericamente, de forma bidimensional. As temperaturas no solo e no bloco são estimadas resolvendo a equação de conservação de calor, que modela o problema em duas dimensões:

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\lambda_s}{\rho c_p} \nabla^2 T \quad \text{em} \quad \Omega \times (0, \tau_0], \quad (3)$$

onde ρ é a densidade do solo e c_p é o calor específico do solo. Além disso, x e z representam as coordenadas espaciais em (m) e t o tempo em (s). O domínio espacial, Ω , em (m) é $(0,10) \times (0,15)$. O período de tempo das simulações τ_0 cobre um ano e dois meses, mas os dois primeiros meses são descartados, para evitar influências numéricas da condição inicial. Como condições de contorno, tem-se que a temperatura na entrada do duto é igual a temperatura do ar, além disso, tem-se uma condição adiabática em $x = 0$ m, $x = 10$ m e $z = 15$ m. A condição inicial utilizada é dada pela equação que segue:

$$T = T_0(z) = 20,49 - 5,66 \sin(5,30 + 0,39z)e^{-0,39z} \quad \text{em} \quad t = 0 \text{ s} \quad (4)$$

As equações foram resolvidas numericamente usando o método dos elementos finitos de Galerkin para a discretização espacial, e o método das diferenças finitas implícitas de Euler de primeira ordem para a discretização do tempo – ver referências em RAMALHO et al. (2022). Como as equações são resolvidas através de elementos finitos, a condição de continuidade de fluxo entre o solo e o material galvanizado é absorvida na formulação variacional do problema. Realizaram-se testes de independência da malha, em que foi adotado um intervalo de tempo de $\Delta t = 1800$ s (meia hora) para a discretização temporal. A partir dos resultados encontrados, foi considerado suficiente adotar uma malha com 2.017 nós e 3.935 triângulos. Para mais detalhes sobre a metodologia adotada, os testes de malhas e a validação do modelo do TCSA, sugere-se a leitura de RAMALHO et al. (2022). Os dados climáticos utilizados e a temperatura do ar foram retirados da literatura de VAZ (2011) e as propriedades do bloco galvanizado podem ser encontradas em HASSANZADEH et al. (2018).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para este trabalho, 5 valores diferentes para as medidas dos semieixos vertical e horizontal foram testadas. Os resultados dos potenciais do solo e do TCSA podem ser vistos na Tabela 1.

Tabela 1: Resultados das simulações variando a medida dos semieixos

Valor de b (m)	1,19	1,91	2,73	3,18	4,77
Potencial do solo (°C)	2,5	2,85	2,94	2,93	2,8
Potencial do TCSA (°C)	2,39	2,72	2,8	2,79	2,67

Observa-se claramente um pico no crescimento dos potenciais térmicos quando o parâmetro b atinge o valor de 2,73. No entanto, à medida que esse valor continua aumentando, ou seja, à medida que a elipse passa a ter maiores profundidades, os valores dos potenciais começam a declinar. Isso sugere que não é essencial realizar escavações profundas para alcançar níveis mais elevados de potenciais térmicos.

4. CONCLUSÕES

Este resumo apresentou os resultados de simulações envolvendo um sistema Trocador de Calor Solo-Ar (TCSA). O TCSA tem sido objeto de pesquisa com foco na otimização da eficiência térmica em processos de aquecimento e resfriamento, com ênfase na minimização do consumo energético. Este estudo se torna particularmente significativo devido à sua contribuição para a redução dos impactos ambientais oriundos das atividades humanas. Nas simulações, os pesquisadores incorporaram um material galvanizado com formato elíptico ao redor do duto. Esse componente é de grande importância, pois aumenta a condutividade térmica da área circundante ao duto, permitindo uma exploração mais completa do potencial térmico do solo.

Os resultados destacaram que as dimensões do material têm um impacto direto nos potenciais térmicos. Além disso, as análises apontaram para o fato de que profundidades maiores não necessariamente se traduzem em potenciais mais elevados. Em outras palavras, não é um requisito absoluto escavar profundamente para atingir níveis térmicos satisfatórios, o que pode influenciar positivamente os custos associados à implementação desse sistema.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BRUM, R.S. **Teoria Construtal e desempenho térmico de Trocadores de Calor Solo-Ar**. 2016. 90f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- HASSANZADEH, R, DARVISHYADEGARI, M, ARMAN, S. A new idea for improving the horizontal straight ground source heat exchangers performance. **Sustainable Energy Technologies and Assessments**, 25, p. 138–145, 2018.
- LI, H.; NI, L.; YAO, Y.; SUN, C. Experimental investigation on the cooling performance of an Earth to Air Heat Exchanger (EAHE) equipped with an irrigation system to adjust soil moisture. **Journal Energy & Buildings**, v.196, p.280-292, 2019.
- RAMALHO, J.V.A.; FERNANDO, H.J.; BRUM, R.S.; DOMINGUES, A.M.B.; PASTOR, N.R.N.; OLIVERA, M.R.B. Accessing the thermal performance of Earth-air heat exchangers surrounded by galvanized structures. **Sustainable Energy Technologies and Assessments**, 54, p.1-11, 2022.
- VAZ, J. **Estudo experimental e numérico sobre o uso do solo como reservatório de energia para o aquecimento e resfriamento de ambientes edificadas**. Brasil. 2011. 237 f. Tese (Doutorado em Engenharia) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Porto Alegre, 2011.
- WRI. **4 gráficos explicam as emissões de gases de efeito estufa por países e setores**. The City Fix. 2020. Acessado em 24 ago. 2023. Online. Disponível em: <https://thecityfix.com/blog/4-charts-explain-greenhouse-gas-emissions-countries-sectors/>