

AVALIAÇÃO DO POTENCIAL TÉRMICO DO SOLO PARA APLICAÇÕES EM TROCADORES DE CALOR SOLO-AR

JEFERSON MEIRA¹; CRISTIAN DA SILVA MENDES²; RUTH DA SILVA BRUM³;
LESLIE DARIEN PÉREZ FERNÁNDEZ⁴

¹Universidade Federal de Pelotas (UFPeI) – meiraengagricola@gmail.com

²Universidade Federal de Pelotas (UFPeI) – cristiansmendes@hotmail.com

³Universidade Federal de Pelotas (UFPeI) – ruth.silva.brum@ufpel.edu.br

⁴Universidade Federal de Pelotas (UFPeI) – leslie.fernandez@ufpel.edu.br

1. INTRODUÇÃO

Durante o desenvolvimento da humanidade nota-se uma busca por proteção às diversidades climáticas e por condições de bem estar e conforto físico satisfatórios. Questões mundiais tratam sobre o uso eficiente de energia e a promoção de fontes renováveis. A demanda mundial de energia deverá aumentar em um terço entre 2010 e 2035, em particular a demanda brasileira crescerá 78% (PEDUZZI et al., 2011). Este cenário evidencia a necessidade de investimentos em recursos energéticos alternativos, principalmente aqueles provenientes de fontes renováveis. Neste cenário os trocadores de calor solo-ar (TCSA) são tecnologias promissoras na utilização de energia geotérmica para aquecimento ou resfriamento (BORDOLOI et al., 2018). OS TCSA são um sistema de ventilação acoplados a um ou mais dutos enterrados, onde o ar troca calor com o solo, chegando nas edificações com temperaturas amenas (DOMINGUES et al., 2021).

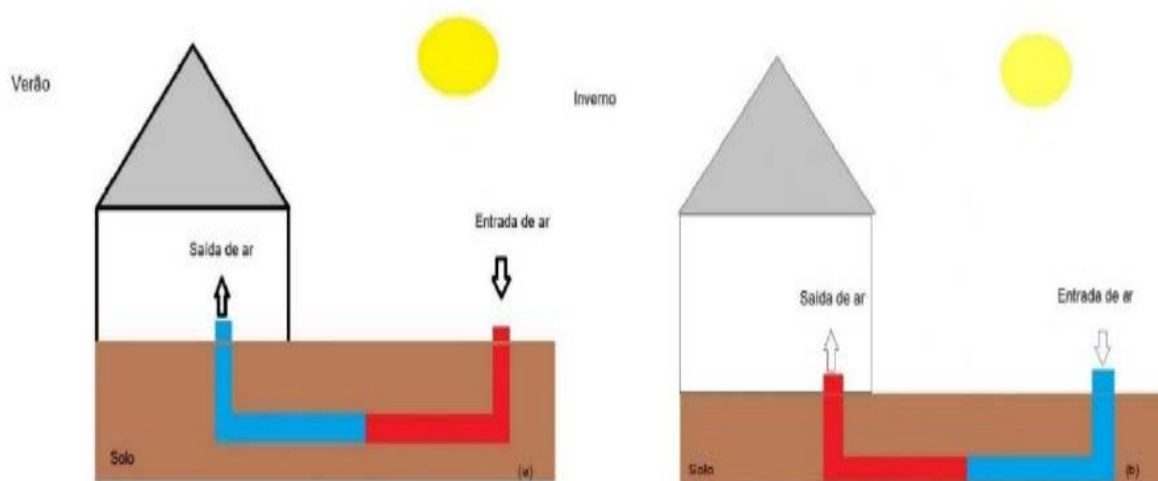


Figura 1: Funcionamento de um TCSA em dias quentes e frios. O azul e o vermelho representam, respectivamente, temperaturas baixas e altas.

Este trabalho apresenta o uso de modelagem matemática para a formulação e resolução de um problema de difusão do calor no solo como passo prévio ao estudo dos problemas do TCSA. Isso nos possibilitará em trabalhos futuros realizar um estudo numérico acerca da influência da profundidade de instalação do TCSA sobre seu potencial térmico (BRUM et al., 2013). Estipulamos o período de 365 dias (anual) em torno de uma temperatura média.

2. METODOLOGIA

As simulações foram baseadas na difusão de calor no solo, no qual se pode modelar esse processo através de um regime unidimensional, variando apenas a profundidade z , assumindo algumas suposições, dentre elas assume-se que o solo está em condições naturais, ou seja, sem a interferência de elementos que possam alterar a distribuição natural de calor em seu interior; supõe-se que a estratificação do solo com a profundidade é significativamente maior que com a lateral; observa-se que a variação dos gradientes de temperatura e umidade ao longo da direção da profundidade é maior do que em outras direções. Considerando que não existe uma geração interna de energia, considerando o solo semi-infinito e com ciclos periódicos de temperatura na superfície do solo, devido a variação diária ou anual. Assim pode-se representar a equação da condução de energia térmica:

$$\frac{\partial T(z,t)}{\partial t} = \alpha \frac{\partial^2 T(z,t)}{\partial z^2}, \quad (1)$$

em que

T – temperatura, $[^{\circ}\text{C}]$;

z – profundidade do solo, $[m]$;

t – tempo, $[dia]$;

α – difusividade térmica do solo $[m^2/s]$.

Temos duas condições de contorno para solução dessa hipótese: uma condição referente à temperatura na superfície e a outra referente a temperatura do solo profundo:

$$T(0,t) = T_0 + \theta_0 \cdot \text{sen}(\omega \cdot t), \quad T(+\infty, t) = T_0, \quad (2)$$

em que

T_0 – temperatura média do solo, $[^{\circ}\text{C}]$;

θ_0 – amplitude inicial da variação de temperatura, $[^{\circ}\text{C}]$;

ω – frequência, $[1/dia]$.

Temos oscilações periódicas com amplitude θ_0 e frequência ao redor de uma temperatura média T_0 . Quando a profundidade z tende ao infinito temos a temperatura como temperatura média. Essa condição no infinito é uma idealização, pois terra não é infinitamente profunda. Rescrevendo a equação (1) com a troca de variável $\theta(z,t) = T(z,t) - T_0$, temos:

$$\frac{\partial \theta(z,t)}{\partial t} = \alpha \frac{\partial^2 \theta(z,t)}{\partial z^2}. \quad (3)$$

Aplicando as condições de contorno e admitindo que a solução $\theta(z,t)$ é dada pelo produto de duas funções, $\varphi(z) \cdot \tau(t)$, em que φ depende somente de z e τ , depende apenas de t . Isso nos gera duas equações diferenciais ordinárias e de coeficientes constantes:

$$\frac{\partial \tau(t)}{\partial t} - c\alpha \tau(t) = 0 \quad (4)$$

$$\frac{\partial^2 \varphi(z)}{\partial z^2} - c\varphi(z) = 0 \quad (5)$$

em que a constante c resulta da separação de variáveis. As soluções de (4) e (5) são

$$\tau(t) = D e^{c\alpha t}, \quad \varphi(z) = A e^{\sqrt{c}z} + B e^{-\sqrt{c}z}, \quad (6)$$

e em que A , B e D são constantes a determinar. Assim a solução da equação (3) é:

$$\theta(z, t) = D e^{c\alpha t} (A e^{\sqrt{c}z} + B e^{-\sqrt{c}z}). \quad (7)$$

Considerando c como imaginário puro, então, $c = \pm i \cdot b$, ou, $c = \pm i \cdot \lambda^2$, obtemos assim as soluções de θ_1 e θ_2 :

$$\theta_1(z, t) = D_1 e^{i \cdot \alpha \cdot \lambda \cdot t} \left(A_1 e^{\left(\frac{-1-i}{\sqrt{2}}\right) \cdot \lambda \cdot z} + B_1 e^{\left(\frac{-1+i}{\sqrt{2}}\right) \cdot \lambda \cdot z} \right), \quad (8)$$

$$\theta_2(z, t) = D_2 e^{-i \cdot \alpha \cdot \lambda \cdot t} \left(A_2 e^{\left(\frac{-1+i}{\sqrt{2}}\right) \cdot \lambda \cdot z} + B_2 e^{\left(\frac{-1-i}{\sqrt{2}}\right) \cdot \lambda \cdot z} \right). \quad (9)$$

Logo, a solução θ , será dada pela soma de θ_1 e θ_2 :

$$\theta(z, t) = e^{-\frac{\lambda \cdot z}{\sqrt{2}}} \left[D_1 \cdot (A_1 + B_1) e^{i \cdot (\alpha \cdot \lambda^2 \cdot t - \frac{\lambda \cdot z}{\sqrt{2}})} + D_2 \cdot (A_2 + B_2) e^{-i \cdot (\alpha \cdot \lambda^2 \cdot t - \frac{\lambda \cdot z}{\sqrt{2}})} \right]. \quad (10)$$

Aplicando as condições de contorno (2), definidas para a superfície do solo e para grandes profundidades. Retornando para troca de variáveis $T(z, t) = T_0 + \theta(z, t)$, finalmente obtemos a solução da equação de difusão (1) do calor no solo sujeita às condições (2):

$$T(z, t) = T_0 + \theta_0 \cdot e^{-\sqrt{\frac{\omega}{2 \cdot \alpha}} \cdot z} \text{sen} \left(\omega \cdot t - \sqrt{\frac{\omega}{2 \cdot \alpha}} \cdot z \right). \quad (11)$$

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

De acordo com a equação (11), o calor se propaga através do solo com uma onda senoidal e com uma mesma frequência, diminuindo sua amplitude com a profundidade e se defasando no tempo, conforme ilustra a figura 2, que foi obtida com $T_0 = 18,7$, $\theta_0 = 6,3$, e $\alpha = 0,057$ para seis datas (esquerda) e cinco profundidades (direita) representativas.

A utilização do solo como um meio semi-infinito produz análises bastantes acuradas dos gradientes térmicos decorrentes das variações periódicas de temperaturas (ciclos diários ou anuais), que podem ser avaliados em termos de onda térmica. Determinada a amplitude da onda de temperatura, é possível estabelecer a profundidade mínima a partir do qual os gradientes térmicos não são importantes e podem ser desconsiderados.

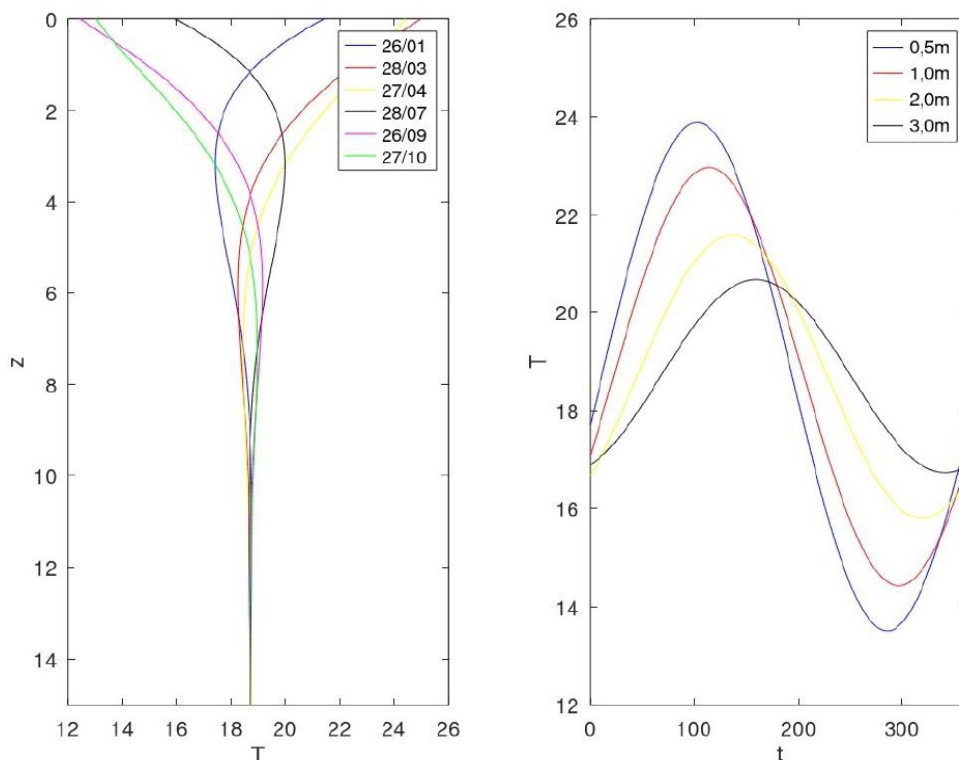


Figura 2: Distribuições de temperatura com a profundidade do solo e variação da temperatura com a profundidade do solo ao longo do ano, respectivamente.

4. CONCLUSÕES

No presente trabalho, a modelagem matemática foi empregada para avaliação do comportamento térmico do solo, constatou-se um comportamento adequado para as diferentes profundidades. Possibilitando a utilização deste modelo para futuras implementações em Trocadores de Calor Solo-Ar.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BRUM, R.S. **Modelagem computacional de trocadores de calor solo-ar**. 2013.118 f. Dissertação (Mestrado em Modelagem Computacional) - Programa de Pós Graduação em Modelagem Computacional, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

PEDUZZI, P. **Demanda de energia no Brasil crescerá 78% entre 2009 e 2035**. Acessado em 02 dez. 2011. Online. Disponível em: <http://agenciabrasil.ebc.com.br/noticia/2011-12-02/demanda-de-energia-no-brasil-crescera-78-entre-2009-e-2035>.

BORDOLOI, N., SHARMA, A., NAUTTIYAL, H., GOEL, V. An intense review on the latest advancements of Earth Air Heat Exchangers. **Renewable Sustainable Energy Reviews**, v. 89, p. 261-280, 2018.

DOMINGUES, A.M.B.; NÓBREGA, E.D.S.B.; RAMALHO, J.V.D.A.; QUADROS, R.S.D.; BRUM, R.D.S. Simulações de um trocador de calor solo-ar em Rio Grande. In: **XXX CIC - CONGRESSO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA**, 1., Pelotas, 2021 **Anais...** Pelotas: UFPel, 2021. v.1. p.EN_00955