



## Um estudo de alguns parâmetros físicos de um trocador de calor solo-ar.

Lucas Lucena Ferreira<sup>1</sup>; Patrick Garcia Machado<sup>2</sup>; Ruth da Silva Brum<sup>3</sup>

<sup>1</sup>UFPEL – [lucas.97.lucena@gmail.com](mailto:lucas.97.lucena@gmail.com)

<sup>2</sup>UFPEL – [patrickgarciamachado@gmail.com](mailto:patrickgarciamachado@gmail.com)

<sup>3</sup>UFPEL – [ruthdasilvabrum@gmail.com](mailto:ruthdasilvabrum@gmail.com)

### 1. INTRODUÇÃO

A sociedade depende da eletricidade para o dia a dia, em todos os ambientes - residências, escolas, lojas, hospitais, etc. Devido à forma como a eletricidade é produzida em muitos países ao redor do mundo, há um aumento significativo na emissão de gases de efeito estufa, agentes essenciais na aceleração aquecimento global (RODRÍGUEZ-VÁZQUES et al., 2020). Por isso, a ciência tem buscado fontes renováveis de energia, que não contribuem significativamente para a deterioração das condições de vida no planeta. É importante notar também que, em edifícios residenciais e comerciais, a maior parte da energia elétrica é consumida de forma a obter conforto térmico no interior desses edifícios. Como alternativa aos sistemas de ar condicionado normalmente encontrados em edifícios existentes, existem trocadores de calor solo-ar (TCSA) (BISONIA, 2015).

O TCSA é um sistema de dutos enterrados no solo e seu desempenho aumenta à medida que a profundidade de sua instalação aumenta. Este fenômeno se deve à inércia térmica do solo. A profundidade dos dutos também é um fator importante para o investimento que o proprietário da construção deve fazer. Além disso, o TCSA é ecologicamente correta e ajuda a diminuir o consumo de energia nas edificações (BRUM et al., 2019a), e, com isso, o custo da conta de energia também diminui. Além disso, o TCSA pode contribuir na redução das emissões de gases de efeito estufa, como dióxido de carbono, metano, clorofluorcarbonos (CFCs) (SINGH e TYAGI, 2019).

Além disso, um dos problemas sempre presentes no projeto de um trocador de calor solo-ar é a sua otimização, de forma a obter o maior ganho de energia possível e assim gerar o maior volume de refrigeração ou aquecimento. Para atingir esse objetivo, com base na Lei Constructal, desenvolvida por BEJAN (1997), são realizados estudos sobre as propriedades físicas do TCSA, como suas dimensões, a pressão em seu interior, etc. LORENTE e BEJAN (2005) descreve a lei da construção como a tendência natural de maximizar o fluxo.

ABADIE et al. (2006) apresentou resultados da comparação da eficiência energética de um TCSA em algumas cidades do sul do Brasil. Neste trabalho, percebe-se que as vantagens energéticas não são universais, pois embora todas as cidades analisadas pertençam à mesma zona climática, os resultados de ganho de energia não foram significativos para uma das cidades analisadas. Vaz (2011) mostrou que o ganho de energia de um TCSA é maior nas condições climáticas de inverno, sendo, portanto, um bom sistema de aquecimento interno. Neste trabalho, é mostrado que o ganho de energia no verão não é satisfatório para atingir o conforto térmico de um ambiente interno. Brum et al. (2016) já mostrou que usando um projeto baseado na Lei Constructal é possível aumentar o potencial térmico de um TCSA a uma taxa entre 7% e 25%. Tal trabalho apresentou os resultados levando em consideração a configuração geométrica dos dutos de um TCSA e mostrou que é possível reduzir entre 230kWh e 810kWh o consumo de energia elétrica em uma residência.

Nesse sentido, BRUM et al. (2019a) mostrou que é mais vantajoso usar uma rede de múltiplos dutos ao invés de um único duto. Os resultados obtidos mostram que o ganho de energia da rede de dutos é maior do que o ganho de energia de um duto simples, ocupando menos espaço. Além disso, BRUM et al. (2019b) apresenta os resultados do estudo variando a geometria interna e a distribuição dos dutos no terreno. AGRAWAL et al. (2019) apresentou resultados que mostram que a eficiência de um TCSA pode ser melhorada e o comprimento dos dutos reduzido com boas propriedades térmicas nas proximidades do TCSA. Além disso, as propriedades térmicas do solo podem ser melhoradas com o aumento de sua razão de umidade e seu nível de compactação.

Este trabalho tem como objetivo apresentar os resultados da modelagem de um TCSA em uma cidade do sul do Brasil, levando em consideração as ideias da Teoria da Constructal para fins para listar os principais fatores que influenciam seu desempenho.

## 2. METODOLOGIA

De acordo com Estrada et al. (2018) a entalpia adimensional é dada pela

equação: 
$$\bar{h} = \frac{h_{out} - h_w}{h_{in} - h_w} = - \left( \frac{h_c p}{m_a C_{p,ha}} x \right)$$
, onde  $\bar{h}$  é a entalpia adimensionalizada,  $h_{out}$  a entalpia na saída do duto,  $h_{in}$  a entalpia na entrada,  $h_w$  a entalpia do solo,  $h_c$  é o coeficiente de transferência de calor convectivo,  $p$  o perímetro,  $m_a$  a massa de ar,  $C_{p,ha}$  o calor específico do ar úmido e o ponto analisada.

### Equação 1

Para verificação do modelo usou-se os resultados apresentados em Estrada et al. (2018). Na validação do modelo analítico comparamos os resultados de VAZ et al. (2011) e Brum et al. (2013). utilizou-se as equações 2 e 3 para o cálculo da temperatura do ar e do solo respectivamente.

$$T_{ar} = 5,71305 \sin \left( \frac{2\pi dia}{365 + 1,15533} \right) + 18,5847$$

### Equação 2

$$T_{solo} = 18,7 + 3.2954 \sin(1.73 * 10^{-2} dia) - 5,8998$$

### Equação 3

Por fim foi utilizado dados de Pelotas para realizar os cálculos, a fim de verificar qual seria o ganho energético na cidade de Pelotas. Para isto foi utilizado os dados fornecidos em <sup>1</sup>, onde utilizou-se os dados da estação de Pelotas (Capão do Leão).

Todos os algoritmos foram desenvolvidos em linguagem C e os gráficos foram plotados em Mathematica.

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para verificar os resultados foram comparados com o trabalho de Estrada et al. (2018) apresentados na figura 1, nas quais mostram que em ambos os casos, a (clima quente e seco) e b (clima quente e úmido), a partir de 50 metros de comprimento o ganho energético é próximo a 0.

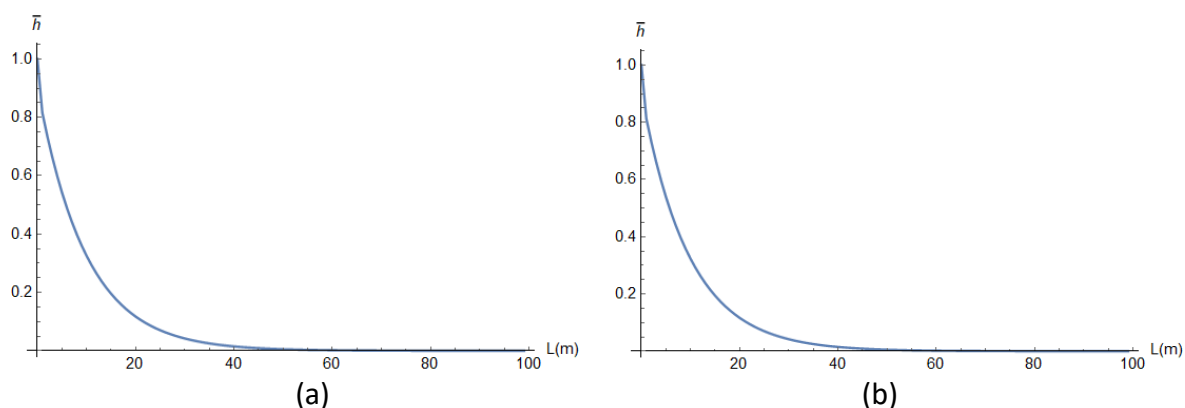


Figura 1: relação do comprimento com a entalpia adimensionalizada  
Ao utilizar o trabalho de VAZ (2011) gerou-se a figura 2.

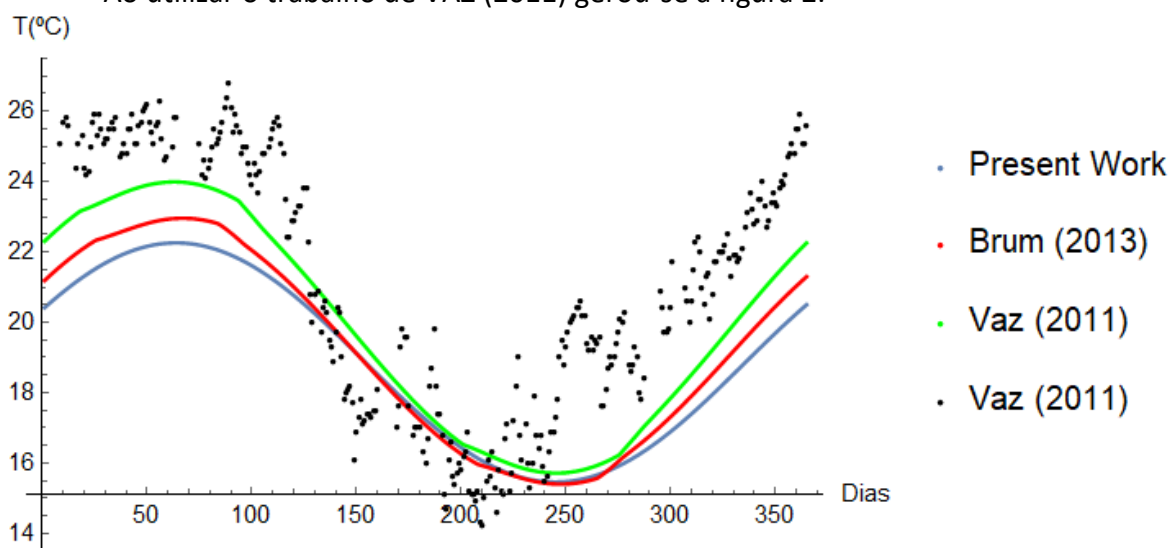


Figura 2 – Comparação dos resultados

Em Pelotas analisou-se dois casos, solo gramado e solo desnudo, ambos no mesmo período. Utilizou-se os dados experimentais para gerar formulas para os cálculos das temperaturas do ar e do solo em ambos os casos. Após todos os cálculos chegou-se aos seguintes resultados:

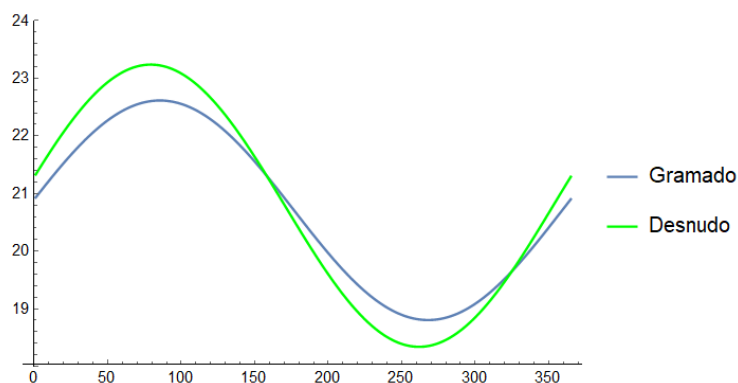


Figura 3 – Comparação entre as temperaturas de saída do duto em solo gramado e solo desnudo a 3 m de profundidade.

#### 4. CONCLUSÕES

Um algoritmo bem validado consegue calcular qual seria o ganho energético em um determinado local somente com dados do solo e do ar, mostrando assim quão vantajoso será o investimento em um trocador de calor solo-ar.



## 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

<sup>1</sup> <http://agromet.cpact.embrapa.br/>

Abadie, M.O., dos Santos, G.H., Freire, R.Z. and Mendes, N., 2006. "Heating and cooling potential of buried pipes in south brazil". In Proceedings of the 11nd Brazilian Congress of Thermal Sciences and Engineering - ENCIT 2006. Curitiba, Brazil.

Agrawal, K.K., Misra, R., Agrawal, G.D., Bhardwaj, M. and Jamuwa, D.K., 2019. "The state of art on the applications, technology integration, and latest trends of earth-air heat exchanger system". Geothermics, Vol. 82, pp. 34–50.

Bejan, A., 1997. "Constructal-theory network of conducting paths for cooling a heat generating volume". International Journal of Heat and Mass Transfer,, Vol. 40, No. 4, pp. 799–816.

Bisoniya, T.S., 2015. "Design of earth-air heat exchanger system". Geothermal Energy, Vol. 3, p. 18.

Brum, R.S., Isoldi, L.A. and J V A Ramalho, L A O Rocha, M.K.R.E.D.S., 2016. "A constructal design of earth-air heat exchanger composed by four ducts". In Proceedings of the 16th Brazilian Congress of Thermal Sciences and Engineering - ENCIT 2016. Vitória, Brazil.

Brum, R.S., Labat, M. and Lorente, S., 2019a. "Improving the performances of earth air heat exchangers through constructal design". International Journal of Energy Research, Vol. 43, pp. 8822–8833.

Brum, R.S., Ramalho, J.V.A., Rodrigues, M.K., Rocha, L.A.O., Isoldi, L.A. and Santos, E.D., 2019b. "Design evaluation of earth-air heat exchangers with multiple ducts". Renewable Energy, Vol. 135, pp. 1371–1385.

Estrada, E., Labat, M., Lorente, S. and Rocha, L.A.O., 2018. "The impact of latent heat exchanges on the design of earth-air heat exchangers". Applied Thermal Engineering,, Vol. 129, pp. 1371–1385.

Lorente, S. and Bejan, A., 2005. "Svelteness, freedom to morph, and constructal multi-scale flow structures". International Journal of Thermal Sciences, Vol. 44, pp. 1123–1130.

Rodríguez-Vázquez, M., Xamán, J., Chávez, Y., Hernández-Pérez, I. and Simá, E., 2020. "Thermal potential of a geothermal earth-to-air heat exchanger in six climatic conditions of México". Mechanics & Industry, Vol. 21, p. 308.

Singh, D.P. and Tyagi, R.K.V.V., 2019. Emerging Energy Alternatives for Sustainable Environment. CRC Press, Boca Raton, 1st edition.

Vaz, J., 2011. Estudo experimental e numérico sobre o uso do solo como reservatório de energia para o aquecimento e resfriamento de ambientes edificados. Ph.D. thesis, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Brasil.