

## OPTIMIZAÇÃO GEOMÉTRICA DE TROCADORES DE CALOR SOLO-AR

MARIANE SULZBACHER<sup>1</sup>; JAIRO VALÕES DE ALENCAR RAMALHO<sup>2</sup>; RUTH DA SILVA BRUM<sup>3</sup>.

<sup>1</sup>Universidade Federal de Pelotas – [mary\\_sulzbacher@hotmail.com](mailto:mary_sulzbacher@hotmail.com)

<sup>2</sup>Universidade Federal de Pelotas – [j.v.a.ramalho@gmail.com](mailto:j.v.a.ramalho@gmail.com)

<sup>3</sup>Universidade Federal de Pelotas – [ruthdasilvabrum@gmail.com](mailto:ruthdasilvabrum@gmail.com)

### 1. INTRODUÇÃO

A evolução da sociedade mundial está intrinsecamente ligada ao desenvolvimento da utilização de novas formas de energia. Atualmente a maior fonte energética mundial vem de hidrocarbonetos, que proporcionam mais da metade da energia primária consumida (IEA, 2013), enquanto somente 1% são energias renováveis. Por este motivo, buscou-se uma alternativa na utilização de energia, sendo a energia solar uma fonte de energia limpa, amplamente disponível e com alto potencial energético, utilizada neste trabalho no uso de trocadores de calor.

A crosta terrestre possui inércia térmica, com a radiação solar incidindo em sua superfície, energia é armazenada em forma de calor em seu interior, nos períodos de inverno onde a temperatura é mais fria esse calor é liberado, o oposto ocorre no verão. (VAZ et al. 2011)

Trocadores de calor terra-ar utilizam esta energia térmica, ajudam a deixar a temperatura mais amena dentro de ambientes fechados utilizando ar que trocou calor com o solo, aumentando a temperatura dentro de edificações no inverno e diminuindo no verão (VAZ et al., 2011), assim é possível uma diminuição da utilização de energia elétrica pelo uso de aparelhos de ar condicionados.

MISRA et al. (2012) estudaram o rendimento dos trocadores com fluxo contínuo, verificou que o rendimento melhora com o aumento do comprimento do duto, o aumento da profundidade e maior difusão térmica do solo, e que desempenho diário diminui com o fluxo contínuo de ar no interior dos dutos.

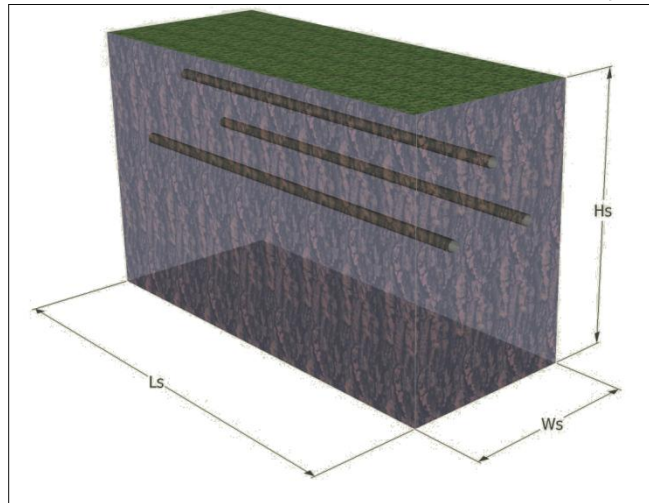
VAZ et al. (2011) analisaram o desempenho dos trocadores na cidade de Viamão - RS. No seu estudo, obteve-se um decréscimo de 6 °C de temperatura no verão e um aumento de 2 °C no inverno. No trabalho de BRUM et al. (2013) foi realizado a validação do modelo computacional deste estudo experimental, determinando a melhor profundidade dos dutos a serem enterrados para o melhor rendimento dos trocadores.

Este trabalho busca estudar a influência da disposição geométrica dos dutos, mantendo o diâmetro dos dutos e a velocidade de entrada do ar constante, usando modelos computacionais desenvolvidos em trabalhos prévios (BRUM et al., 2013) baseando-se na lei constructal (BEJAN et al., 2006) que busca a melhor configuração dos sistemas de fluxo para aumentar seu desempenho.

### 2. METODOLOGIA

O estudo buscou avaliar o desempenho de diferentes disposições geométricas de três dutos enterrados em forma triangular em uma porção tridimensional do solo, apresentado na Figura 1. As dimensões representativas do solo são:  $L_s=26\text{m}$ ,  $H_s=15\text{m}$  e  $W_s=10\text{m}$ , e de cada duto  $L_s=26\text{m}$  e diâmetro=0,127m.

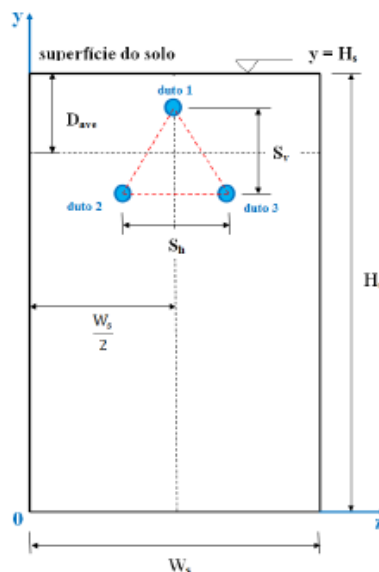
Figura 1: modelo tridimensional do solo e da disposição dos dutos



A proposta do estudo é verificar a influencia da disposição geométrica dos dutos no desempenho dos trocadores, mantendo constante o diâmetro de 0,127m e a velocidade de 1m/s. A variação geométrica é baseada na lei constructal que define como a melhor configuração geométrica aquela que forneça os princípios da maximização transferência de calor e de fluido. (BEJAN et al., 2006)

As variáveis do arranjo geométrico são apresentadas na Figura 2, a lei constructal foi aplicada e o grau de liberdade considerado é dado pela razão  $\frac{S_v}{S_h}$  onde  $S_v$  é a altura de um triângulo cujos vértices são os centros dos três dutos, e  $S_h$  a medida de sua base, sendo estas as variáveis de liberdade do sistema.

Figura 2: Demonstração transversal da geometria dos três dutos. Fonte: Rodrigues et al., 2015



A razão de volume  $\psi$  para a área de instalação dos dutos é dada pela fórmula  $\psi = \frac{V_{at}}{V_s}$ , onde  $V_{at}$  é o volume em  $m^3$  ocupado pela instalação e  $V_s$  o

volume do solo estudado. Para este trabalho foi utilizado  $\psi=0,003$ , sendo realizado um total de 15 simulações.

Para o desenvolvimento das simulações foi considerado um modelo completo, utilizando equações de conservação de massa, energia e de momento (BRUM et al., 2014). A partir dos dados experimentais de VAZ et al. (2011), e do modelo computacional BRUM et al. (2013). Foram desenvolvidos através do programa GAMBIT o domínio computacional e a geração da malha do problema em estudo. Para resolver as equações e o processamento dos dados foi utilizado o software Fluent, versão 6.3. A espessura da parede do duto não foi simulada por não apresentar grande influência no resultado final de cada simulação, de acordo com o trabalho de BRUM et al. (2014).

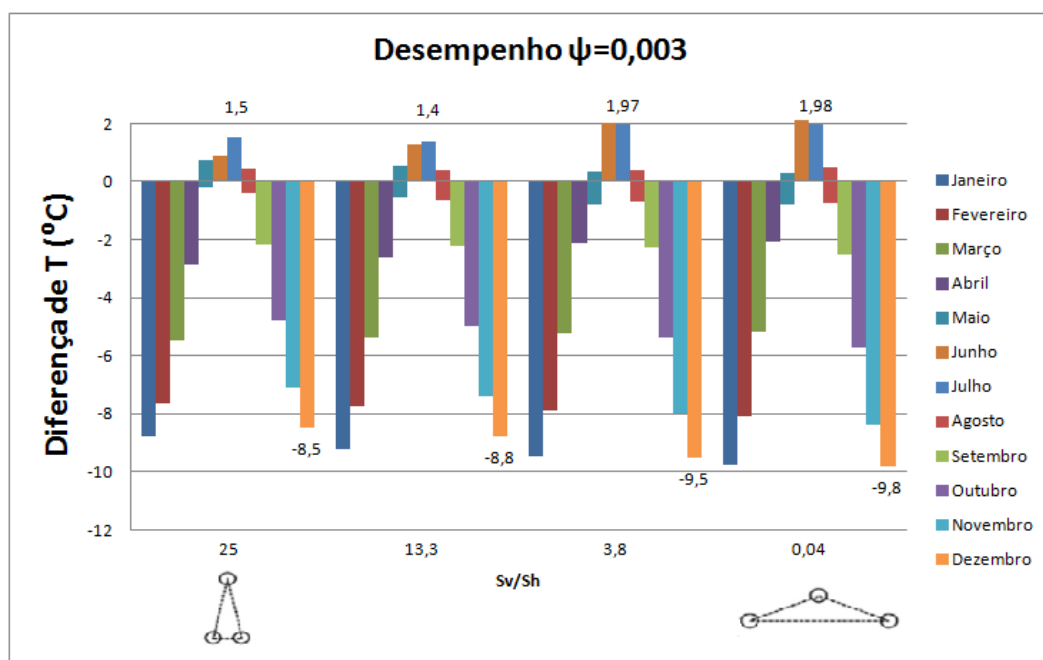
Para as simulações no programa Fluent, foi adotado um passo de tempo de 3600s por um período de dois anos, e o máximo de 200 interações para convergir, como desenvolvido no domínio computacional descrito no trabalho de BRUM et al. (2013).

As propriedades do solo e do ar foram medidos no trabalho de VAZ et al. (2011) e utilizados nesse trabalho. Nas condições de contorno do modelo foram definidas: a temperatura do ar na entrada dos dutos, a temperatura na superfície do solo, a velocidade na entrada dos dutos e adotada a pressão livre na saída dos dutos (RODRIGUES et al., 2015). Para condição inicial foi definido a temperatura de 291.6K.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A disposição dos dutos foi modificada durante cada uma das 15 simulações, onde o grau de liberdade ( $S_v/Sh$ ) variou entre 25 e 0,04, proporcionando aquecimento em julho (1,5 °C) e resfriamento em dezembro (8,5 °C). Conforme foi se alterando o grau de liberdade, foi verificado que o melhor desempenho encontra-se quando o espaçamento vertical é bem menor que o horizontal, ou seja, 0,04, com aquecimento de 1,98 °C no mês de julho e diminuição de 9,8 °C no mês de dezembro, demonstrado graficamente na Figura 3.

Figura 3: Média mensal do desempenho dos trocadores



Os meses de maio e agosto são de transição de temperatura, possuem potencial para aquecimento e resfriamento como é demonstrado na Figura 3, mas desempenho é considerado baixo, pela diferença entre a temperatura entre o solo e o ar na superfície ser pequena durante este período, sendo mais evidenciada durante os meses de inverno e verão.

Como é observado na Figura 3, é perceptível que quanto menor a altura do triângulo ( $S_v$ ) e mais afastados se encontram os dutos ( $S_h$ ), menor é a interação térmica entre eles, aumentando seu desempenho em 32% para aquecimento e 15% no resfriamento da simulação com grau de liberdade da razão  $\frac{S_v}{S_h}$  de 25 para 0,04.

#### 4. CONCLUSÕES

Neste trabalho foi utilizada a lei constructal para melhorar a troca térmica dos dispositivos de trocadores de calor solo-ar. Observou-se que com a aplicação do método constructal designer houve uma melhoria maior dos trocadores para o aquecimento do que para resfriamento de temperatura, já observado em outros trabalhos. Apesar disso, os trocadores continuam sendo mais eficaz no verão, pois consegue reduzir a temperatura em 9,8 °C. Os trocadores de calor solo-ar podem ser utilizados para manter temperaturas amenas dentro de edificações, ajudando a diminuir o consumo de energia elétrica principalmente nos meses de verão onde tem seu maior desempenho e o consumo de energia é mais elevado.

#### 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BEJAN, A.; LORENTE, S. Constructal theory of generation of configuration in nature and engineering. **Journal of applied physics**, v 100, 2006.
- BRUM, R. S.; ROCHA, L. A. O.; ISOLDI, L. A.; SANTOS, E. D.; RAMALHO, J. V. A. Improving Earth-Air exchangers considering the air flow velocity and ducts diameter. In: **CILANCE**, 34., Fortaleza, 2014.
- BRUM, R. S.; ISOLDI, L. A.; SANTOS, E. D.; VAZ, J.; ROCHA, L. A. Two-dimensional computational modeling of the soil thermal behavior due to the incidence of solar radiation. **ReTerm**, Engenharia Térmica (Thermal Engineering), Curitiba, v. 2, n. 2, p. 63-68, 2013.
- MISRA, R.; BANSAL, V.; AGRAWAL, G.; MATHUR, J.; ASERI, T. CDF analysis based parametric study of derating factor for Earth Air Tunnel Heat Exchanger. **Applied energy**, Local de Edição, v 103, p. 266-277, 2013.
- RODRIGUES, M. K.; BRUM, R. S.; VAZ, J.; ROCHA, L. A. O.; SANTOS, E. D.; ISOLDI, L. A. Numerical investigation about the improvement of the thermal potential of na Earth-Air Heat Exchanger (EAHE) employing the Constructal Design method. **Renewable Energy**, v. 80, p. 538-55, 2015.
- VAZ, J.; SATTTLER, M. A.; BRUM, R. S.; ROCHA, L. A. O.; SANTOS, E. D.; ISOLDI, L. A. An experimental study on the use of Earth-Air Heat Exchangers. **Energy and Buildings**, v. 72, p. 122-131, 2014.
- IEA - Agencia Internacional de Energia. **Matriz Energética Mundial**. REPSOL, Lisboa, Portugal. Sector Energético. Acessado em 02 jul. 2015. Online. Disponível em: [https://www.repsol.com/pt\\_pt/corporacion/conocer-repsol/contexto-energetico/matriz-energetica-mundial/default.aspx](https://www.repsol.com/pt_pt/corporacion/conocer-repsol/contexto-energetico/matriz-energetica-mundial/default.aspx)