

## OTIMIZAÇÃO 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 vem causando crescentes demandas energéticas por condicionamento de ar, além da capacidade sustentável do planeta (RODRIGUES e GILLOT, 2015). Isso impõe o desenvolvimento e utilização de novos dispositivos e fontes renováveis de energia. Assim, esse trabalho explora o uso dos chamados trocadores de calor solo-ar (TCSA).

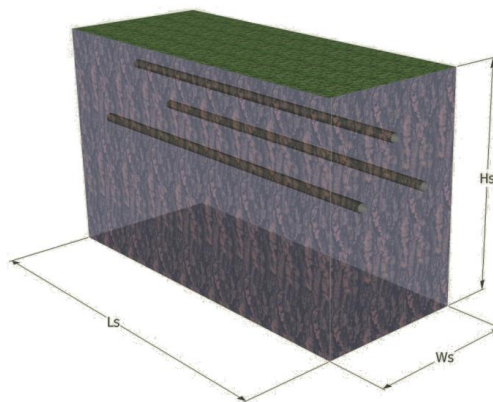
Basicamente, devido à inércia térmica da crosta terrestre, existe uma defasagem entre as temperaturas do subsolo e do ar ambiente. Nos períodos de inverno, o primeiro é mais quente que o segundo, dando-se o efeito oposto no verão (VAZ et al. 2014). Os TCSA usam esse fenômeno fazendo circular o ar ambiente em dutos enterrados no solo, aumentando a temperatura dentro de edificações no inverno e diminuindo-a no verão. Isso permite reduzir o uso de energia elétrica com ar-condicionado.

Baseando-se na teoria constructal (BEJAN e LORENTE, 2006), este resumo objetiva comparar a influência da disposição geométrica de dois arranjos de dutos diferentes, mantendo constantes seus diâmetros e a vazão do ar. As simulações são feitas com modelos computacionais desenvolvidos em BRUM et al. (2012).

### 2. METODOLOGIA

O estudo avaliou o desempenho de diferentes disposições geométricas de dutos enterrados em uma porção de solo tridimensional, cujas dimensões representativas são  $L_s=26\text{m}$ ,  $H_s=15\text{m}$  e  $W_s=10\text{m}$ . A Fig. 1 ilustra um dos tipos de arranjo considerado, utilizando três dutos com comprimento  $L_s=26\text{m}$  e diâmetro  $D_s=0,127\text{m}$ .

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



No segundo tipo de arranjo, foram utilizados dois dutos espaçados horizontalmente. Novamente, o comprimento de cada duto foi  $L_s=26\text{m}$ , mas seus diâmetros foram aumentados para  $D_s=0,155\text{m}$ , mantendo-se assim a mesma vazão mássica de fluido. Isso permite uma comparação da influência da sua

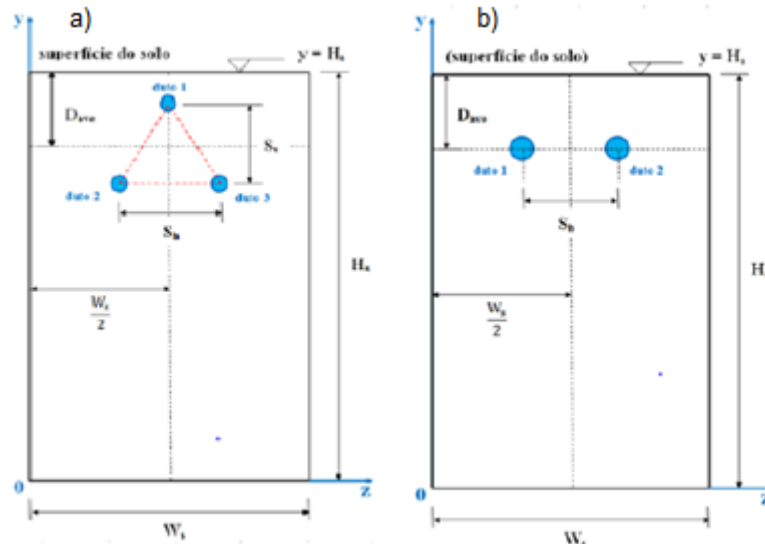
disposição geométrica, mantendo constantes as dimensões dos dutos e a velocidade de ar na sua entrada de 1m/s.

A variação geométrica é baseada no método constructal design (RODRIGUES et al., 2015), que consiste em variar livremente a forma geométrica de uma estrutura de fluxo, respeitando restrições volumétricas, na direção das principais correntes que por ela fluem, visando maximizar um determinado objetivo. Em TCSA, a corrente é o calor e ele flui dos dutos para o solo. A função objetivo é a maximização do potencial térmico (PT), que consiste em uma média temporal das diferenças entre as temperaturas na entrada e na saída dos dutos.

As variáveis dos arranjos geométricos são apresentadas na Figura 2. Para variar a estrutura na direção das correntes de fluxo, são modificados os espaçamentos verticais  $S_v$  e os horizontais  $S_h$ , entre os dutos. Um grau de liberdade nos arranjos de três dutos é dado pela razão  $\frac{S_v}{S_h}$ , enquanto nos de dois dutos, considera-se apenas as variações de  $S_h$ .

Figura 2: (a) Arranjos de três dutos (b) Arranjos de dois dutos.

Fonte: (Rodrigues et al., 2015)



Para o arranjo com três dutos a movimentação é restrita a razão de volume  $\psi$  para a área de instalação 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 arranjo foi utilizado  $\psi=0,003$ .

Foram realizadas 15 diferentes simulações para cada um dos arranjos, totalizando 30 simulações, e para seu desenvolvimento foi considerado um modelo completo, utilizando equações de conservação de massa, energia e de momento, como feito em BRUM et al. (2012), validado através dos dados experimentais de VAZ et al. (2014). O domínio computacional e a geração da malha do problema em estudo foram desenvolvidos através do programa GAMBIT. Para resolver as equações e o processamento dos dados foi utilizado o software Fluent, versão 6.3, adotando um passo de tempo de 3600s por um período de dois anos. Foi adotado um máximo de 200 interações para convergência, como feito em BRUM et al. (2013).

As propriedades do solo e do ar foram as mesmas medidas no trabalho de VAZ et al. (2014), na cidade de Viamão (RS). 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 30 simulações, onde o grau de liberdade ( $S_v/S_h$ ) para o arranjo triangular variou entre 25 e 0,04 e o espaçamento do arranjo de dois dutos entre 9,77m e 0,18m, o desempenho dos arranjos são apresentados na Figura 3. A Figura 4 abaixo é o comparativo entre os melhores resultados encontrados para cada um dos dois arranjos.

Figura 3: Média mensal do desempenho dos trocadores

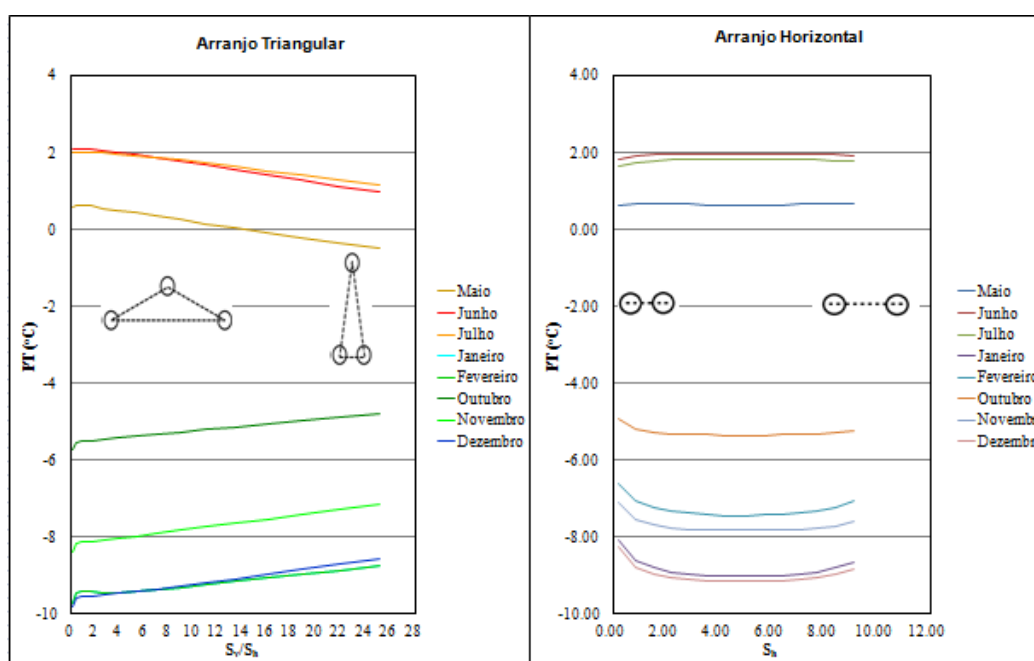
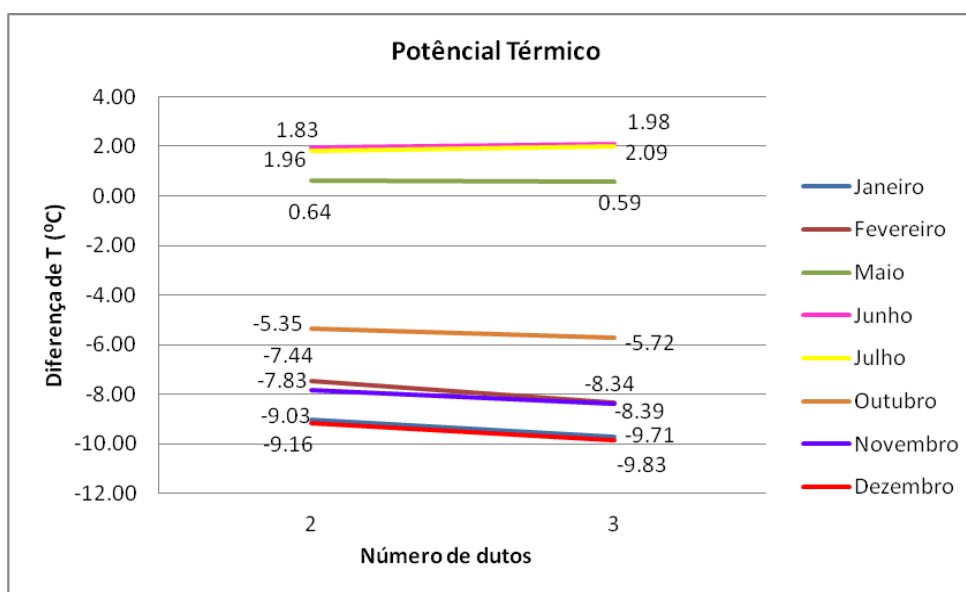


Figura 4: Comparação do potencial térmico dos trocadores



Os meses que não foram apresentados neste estudo possuem desempenho 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.

O arranjo triangular obteve o melhor desempenho com grau de liberdade da razão  $\frac{S_v}{S_h}=0,04$  (Fig. 3) proporcionando aquecimento em junho de 2,09 °C e resfriamento em dezembro de -9,83°C, isto ocorre devido a menor interação térmica entre eles, perceptível que quanto menor a altura do triângulo ( $S_v$ ) e mais afastados se encontram os dutos ( $S_h$ ), melhor seu desempenho. Já para o segundo arranjo, o espaçamento ótimo encontrado foi de 4,29m, atingindo um potencial de aquecimento de 1,96°C também para o mês de junho, e de resfriamento de 9,16°C para dezembro.

Como pode ser observado, o arranjo com três dutos proporcionou uma maior troca térmica entre o ar e o solo envolto e em comparação com o arranjo com apenas dois dutos, com potencial de resfriamento superior de 6,85% e para aquecimento de 6,22%.

#### 4. CONCLUSÕES

Esse trabalho usou a teoria constructal para melhorar a troca térmica de TCSA. Notou-se com a aplicação do método constructal design uma melhoria maior para o resfriamento de temperatura, já observado em outros trabalhos. Os TCSA se mostraram mais eficazes no verão, apresentando uma maior magnitude de potencial térmico. Os TCSA são uma tecnologia promissora para amenizar temperaturas dentro de edificações, e 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.; VAZ, J.; SANTOS, E. D.; ISOLDI, L. A. Development of simplified numerical model for evaluation of the influence of soil-air heat exchanger installation depth over its thermal potential. **International Journal of Advanced Renewable Energy Research**, v. 1, p. 505-514, 2012.
- BRUM, R. S.; VAZ, J.; ROCHA, L. A. O.; SANTOS, E. D.; ISOLDI, L. A. A new computational modeling to predict the behavior of earth-air heat exchangers. **Energy and Buildings**, v. 64, p. 395-402, 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.
- RODRIGUES, L. T.; GILLOTT, M. A novel low-carbon space conditioning system incorporating phase-change materials and earth-air heat exchangers. **International Journal of Low-Carbon Technologies**, v. 10, p. 176-187, 2015.
- VAZ, J.; SATTler, 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.