

## Avaliação do desempenho de fundações termoativas em solo não saturado com uso intermitente

Luís Eduardo de Souza Cintra

Profa. Dra. Cristina de Hollanda Cavalcanti Tsuha

Escola de Engenharia de São Carlos - USP

luis.cintradu@usp.br

### Objetivos

O aproveitamento de fontes de energia renovável é essencial nos dias de hoje, principalmente pela forte necessidade de controle das emissões de gases do efeito estufa. A energia geotérmica superficial vem se mostrando uma sólida alternativa (Brandl, 2006), com estudos importantes sendo realizados associados ao aproveitamento do potencial geotérmico para climatização de edificações. Nesse sentido, a implementação de sistemas geotérmicos em elementos de fundação vem sendo uma solução muito explorada.

Com isso, essa pesquisa tem como principal objetivo analisar o desempenho de uma estaca termoativa instalada em solo não saturado sob regime climático tropical, e analisar o efeito térmico no solo resultante de sua operação a médio prazo por meio de análises numéricas.

### Métodos e Procedimentos

O estudo experimental foi realizado no Campo Experimental de Fundações da EESC, onde foi construída uma estaca escavada com diâmetro de 60cm e 8,8m de comprimento, cuja armadura possui 50cm de diâmetro ao longo de todo o comprimento da estaca. Anexados à armadura estão tubos de polietileno (PEAD), com diâmetro externo de 32mm e 3mm de espessura, organizados no formato U simples instalado assimetricamente na seção da estaca (Figuras 2 e 3) por onde circula o fluido trocador de calor

(água). O objetivo dessa tubulação é fazer a troca térmica entre o ambiente de uma edificação e o subsolo.

Um aparato de controle do fluxo de água nos tubos foi montado a partir de uma bomba e um boiler que mantém o fluido de saída a uma temperatura de, aproximadamente, 35°C. Com isso, dois modos de operação foram estudados: contínuo, em que a bomba funciona constantemente; e intermitente, com 12h de operação (rejeitando calor no subsolo) e 12h desligada. Há também sensores de temperatura instalados na entrada e na saída de fluido da estaca, que permitem a obtenção de dados para se estimar a taxa de troca de calor ao longo da fundação.

Essa estimativa é realizada por meio de ensaios TPT (*Thermal Performance Test*) que permitem, a partir da variação da temperatura de entrada e saída do fluido, estimar a taxa de troca de calor por metro de estaca  $q$  segundo a Equação 1:

$$q = \frac{c \cdot \dot{m} \cdot (T_{\text{entrada}} - T_{\text{saída}})}{L} \quad (1)$$

Sendo  $c$  a capacidade térmica do fluido,  $\dot{m}$  a vazão mássica do fluido e  $L$  o comprimento da estaca.

Por fim, utilizando-se o software *COMSOL Multiphysics* 6.2, os domínios da estaca e do solo foram modelados para permitir a observação do gradiente de temperatura no solo após 1 mês de operação em ambos os modos.

## Resultados

A Figura 1 apresenta os resultados do ensaio TPT para as duas operações, note que ambos os métodos perdem sua capacidade de troca térmica ao longo do tempo. Essa medida é um indicativo claro do efeito do aquecimento do solo no entorno da fundação, que acaba por entrar em equilíbrio térmico com o fluido circulante, influenciando negativamente na capacidade da estaca de rejeitar calor.

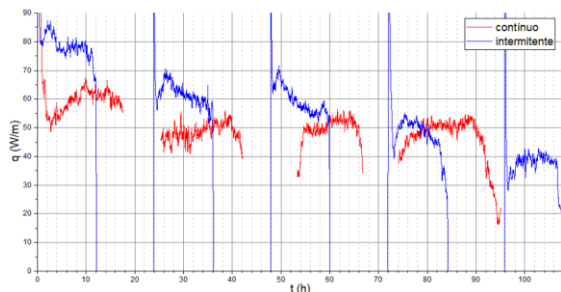


Figura 1: Taxa de troca de calor por profundidade para ambos os modos de operação (Formigari, 2024)

Inicialmente o modo intermitente apresenta performance superior, porém com o passar do tempo ambos convergem para níveis muito similares.

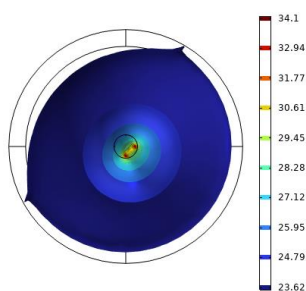


Figura 2: Isotermas para modo contínuo com 720h de aquecimento

As Figuras 2 e 3 apresentam a seção transversal da estaca (círculo preto com loop de tubo PEAD em vermelho) e do solo com as isotermas obtidas após a simulação

computacional da operação do sistema geotérmico durante 1 mês. É notável que a assimetria do posicionamento dos tubos PEAD gera uma assimetria na distribuição das isotermas, de forma que o lado da estaca que contém os tubos propaga calor por uma distância superior em relação ao lado oposto.

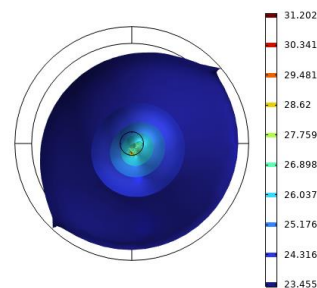


Figura 3: Isotermas para modo intermitente com 720h de aquecimento

Por fim, o modo de operação intermitente apresenta temperaturas mais baixas no entorno da estaca em decorrência dos períodos de desligamento do sistema, possibilitando ao solo recuperar parte de seu estado térmico inicial.

## Conclusões

Conclui-se que o modo de operação intermitente possui uma performance superior durante seu período inicial de funcionamento, convergindo após 3 ciclos para uma taxa de troca de calor muito similar à operação contínua.

O posicionamento assimétrico dos tubos PEAD provocam uma alteração na distribuição de calor no solo adjacente à estaca, fator que pode ser relevante no posicionamento de um conjunto de estacas termoativas em uma obra de grande escala, por exemplo.

## Referências

FORMIGARI, R. C. Comportamento térmico de fundações termoativas em solo não saturado. 2024. Dissertação (Mestrado) — Universidade de São Paulo, 2024. No prelo.

BRANDL, H. Energy foundations and other thermo-active ground structures. Geotechnique, v. 56, 2006. ISSN 00168505.