



## MODELAÇÃO NUMÉRICA DA INTERACÇÃO TÉRMICA SOLO-ESTRUTURA: FUNDAÇÕES TERMOACTIVAS

Ana Vieira <sup>1</sup>, J.R. Maranha <sup>2</sup>

<sup>1</sup> LNEC, Lisboa, Portugal, [avieira@lnec.pt](mailto:avieira@lnec.pt)

<sup>2</sup> LNEC, Lisboa, Portugal, [jmaranha@lnec.pt](mailto:jmaranha@lnec.pt)

**Palavras-chave:** Energias renováveis; Fundações termoactivas; Caracterização do comportamento térmico de materiais geomecânicos; Modelação numérica de estruturas geotécnicas

**Sumário:** O comportamento de uma geoestrutura energética, uma estaca permutadora de calor, é investigado através de um modelo numérico em estado axisimétrico. Como acção térmica é utilizada uma aproximação harmónica da temperatura anual na cidade de Lisboa. É estudada, inicialmente, a evolução do campo de temperaturas no terreno para diferentes estados de saturação. Em seguida inclui-se o elemento de fundação, submetido a diferentes ciclos térmicos, sendo avaliado também o efeito da convexão da água no solo no comportamento térmico do sistema de fundação.

### 1. INTRODUÇÃO. PRINCÍPIOS DE FUNCIONAMENTO DE ESTRUTURAS TERMOACTIVAS

A gestão dos recursos energéticos é um tema central das sociedades modernas. A par de uma tendência de aumento da população e das maiores exigências a nível energético, surge a preocupação da escassez das energias fósseis [1] e da minimização dos impactes ambientais.

A ideia de base das designadas geoestruturas energéticas ou estruturas termoactivas é tomar partido da capacidade do terreno para armazenar energia calorífica, através das fundações de um determinado edifício (estacas, paredes moldadas e lajes de fundo) ou de uma estrutura em contacto com o terreno (túneis e outras obras subterrâneas). O factor chave da sustentabilidade de um tal sistema é o uso de elementos do edifício que são já necessários por razões estruturais [1, 2]. Os exemplos da aplicação destes sistemas são já numerosos na Europa central [3, 4, 5]. Estas estruturas têm geralmente uma operação sazonal, ou seja, são sistemas combinados de aquecimento/arrefecimento; a energia calorífica é injectada no terreno no Verão (para arrefecimento do edifício) ou retirada do terreno, sendo usada como fonte de calor no Inverno (para aquecimento do edifício).

As estruturas termoactivas permitem o estabelecimento de trocas de calor entre o terreno e o betão, por via de tubos inseridos no betão no interior dos quais circula um fluido transportador de calor e, posteriormente, para o ambiente de um edifício. As estruturas termoactivas tomam partido do terreno como um sistema de armazenamento e deposição de energia térmica, usando os elementos de fundação de uma estrutura.

Neste trabalho é tratado o tema das estruturas termoactivas abordado numa perspectiva geotécnica, não sendo analisados outros aspectos, tais como os relacionados com questões ambientais e de viabilidade económica. Actualmente, e apesar de o número de instalações deste tipo ter vindo a aumentar, o conhecimento no que respeita aos efeitos térmicos e estruturais no comportamento destes sistemas é ainda limitado. Constata-se que há uma quantidade limitada de dados robustos provenientes da investigação nesta área [3, 5], não sendo do conhecimento dos autores casos reportados para o território nacional. A escassez de dados não apenas limita a

compreensão sobre a resposta térmica real destes sistemas, mas também inibe a validação de modelos de previsão.

## 2. SIMULAÇÕES NUMÉRICAS DA INTERACÇÃO SOLO-ESTRUTURA EM FUNDAÇÕES TERMOACTIVAS

Apresentam-se resultados de simulações numéricas em condições de simetria axial relativas ao funcionamento de uma estaca permutadora de calor. Foram efectuadas análises preliminares para definir o perfil de distribuição da temperatura no terreno em profundidade, tomando apenas em conta uma idealização da temperatura atmosférica na cidade de Lisboa como uma oscilação harmónica, sendo esta aplicada como uma condição de fronteira no topo do modelo. Assumiu-se assim uma identidade entre a temperatura atmosférica e a temperatura à superfície do terreno. Em princípio, esta aproximação será mais adequada se forem ignoradas as oscilações térmicas diárias. Note-se que a contribuição da radiação solar incidente no solo, que depende das condições prevaletentes na superfície do terreno, será maior se se pretender incluir nas análises as oscilações térmicas diárias. O mesmo se aplica ao processo convectivo do ar que também influencia a temperatura à superfície do terreno. As análises efectuadas com e sem a consideração da oscilação média diária da temperatura, revelaram que a sua consideração tem apenas um efeito muito superficial, pelo que foi considerada irrelevante. Os perfis em termos de temperaturas extremas calculados são consistentes com o tipo de perfis obtidos a partir de registos de temperatura efectuados em diversos locais. A simulação do fluido transportador de calor na estaca foi simplificada, considerando igualmente uma oscilação harmónica da temperatura anual ao longo do eixo da estaca. Deste procedimento resultaram picos de temperatura no fluido superiores à temperatura atmosférica registada no Verão (quando o calor é transportado do edifício para o terreno) e inferiores a esta no Inverno (quando é extraído calor do terreno para o edifício).

O modelo de condutividade térmica escolhido, para levar em conta a influência da saturação do terreno, foi proposto recentemente e permite obter a condutividade do solo desde o estado seco ao estado totalmente saturado [6]. Os resultados obtidos evidenciam a influência da saturação do meio no processo de condução de calor, em termos de fluxos de calor e do padrão de distribuição de temperaturas. A influência do processo de convexão da água do solo foi também analisado na distribuição da temperatura.

## 3. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Laloui, L.; Nuth, M.; Vuillet, L. (2006). Experimental and numerical investigations of the behaviour of a heat exchanger pile. *Int. Journal of Numerical and Analytical Methods in Geomechanics*, 30, Nº 8, pp. 763-781.
- [2] Brandl, H. (2006). Energy foundations and other thermo-active ground structures. *Géotechnique*, 56, Nº 2, pp. 81-122.
- [3] Thomas, H. R.; Rees, S. W. (2009). Measured and simulated heat transfer to foundation soils. *Géotechnique*, 59, Nº 4, pp. 365-375.
- [4] Adam, D; Markiewicz, R. (2009). Energy from coupled structures, foundations, tunnels and sewers. *Géotechnique*, 59, Nº. 3, pp. 229-236.
- [5] Knellwolf, C.; Peron, H.; Laloui, L. (2011). Geotechnical analysis of heat exchanger piles. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, ASCE, vol. 137, Nº 10, pp. 890-902.
- [6] Jougnot, D.; Revil, A. (2010). Thermal conductivity of unsaturated clay-rocks. *Hydrology and Earth System Sciences*, nº 14, pp. 91-98.