

PROJETO ÓTIMO DE COLUNAS SEMI-ENTERRADAS

Thiago Alves de Queiroz; Sezimária F. Pereira Saramago

Colunas semi-enterradas são elementos estruturais com grande aplicação no dia-a-dia, principalmente na fundação/estrutura de plataformas, pontes, construções civis, torres, etc. Estes elementos possuem comportamento instável, exigindo o desenvolvimento de modelos teóricos confiáveis para o seu projeto estrutural. O objetivo deste trabalho é o projeto ótimo de colunas semi-enterradas, cujas variáveis de decisão são os parâmetros dimensionais da coluna.

Com esta finalidade é escrito um problema de otimização multi-objetivo que busca maximizar a distâncias entre as três primeiras frequências naturais, ao mesmo tempo em que considera outra função objetivo, conflitante, relacionada com a minimização do volume da coluna. Este problema de otimização é sujeito a restrições que limitam a altura da fundação e verificam se a carga crítica de Euler foi obedecida.

O modelo dinâmico desenvolvido para a coluna utiliza a formulação de Lagrange para descrever o comportamento em um solo não-linear. Para resolver o problema de otimização, são aplicados dois métodos numéricos que trabalham com populações de indivíduos e baseiam-se no processo de evolução natural: o método da Evolução Diferencial e o Algoritmo Genético.

Os resultados obtidos são comparados e a performance dos métodos analisada através dos seguintes critérios: esforço computacional, esforço algorítmico e tempo de execução. Várias simulações numéricas são apresentadas, comprovando a eficácia da metodologia desenvolvida. O projeto ótimo da coluna semi-enterrada é calculado, resultando em uma solução segura em termos de prevenção das oscilações dinâmicas e econômica em termos de custo material, obedecendo às condições estabelecidas pelo projetista.

Então, parte-se da coluna apresentada na Fig. 1 como esbelta tendo comprimento total L e rigidez flexional EI , enterrada a certa altura H , carregada por uma força axial P que mantém a mesma intensidade e direção à medida que a coluna se deforma, sendo F a força aplicada transversalmente, além de desconsiderar todo e qualquer atrito lateral que a coluna venha a sofrer. Também, considera-se que P é menor que a carga crítica de Euler, isto é, supõe-se que a coluna não flambou.

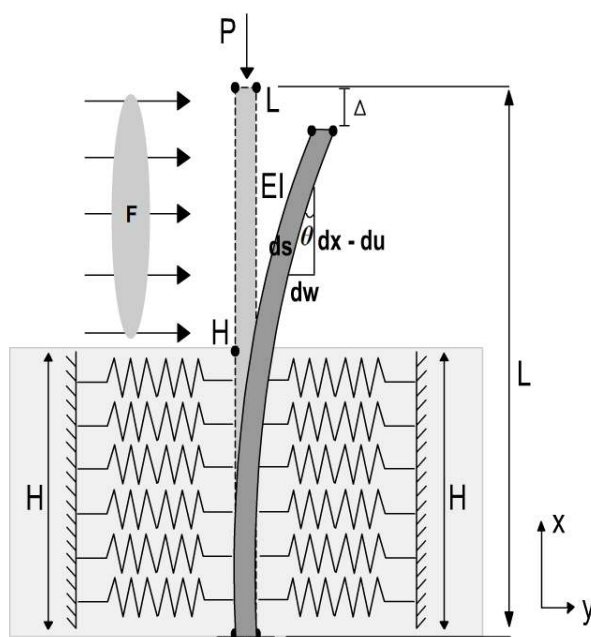


Figura 1: Modelo da coluna semi-enterrada.

Obtida as frequências naturais da coluna, apresenta-se o problema de otimização multi-objetivo irrestrito que é composto por três objetivos: maximizar a primeira frequência natural da coluna; maximizar a distância entre a primeira e a segunda frequência natural; maximizar a distância entre a segunda e a terceira frequência natural.

Assume-se a coluna de aço fundido com módulo de elasticidade $E = 206 \text{ GPa}$ e densidade $\rho = 7.860 \text{ kg/m}^3$, com seção hexagonal regular de lado a_h , uma carga aplicada $P = 140 \text{ KN}$ e enterrada em um solo de argila mole com rigidez $E_{ti} = 3,6 \text{ MPa}$. Ao aplicar os métodos de otimização na função objetivo, chega-se nos resultados apresentados nas Tabs. 1 e 2.

Tabela 1: Valores das variáveis de projeto do problema e critérios de comparação dos métodos.

	H (m)	L (m)	a_h (m)	Esforço Computacional	Esforço Algorítmico	Tempo (s)
Evolução Diferencial	30	40	0,6	10400 avaliações	103 iterações	1
Algoritmo Genético	29,983	41,393	0,6	3700 avaliações	36 iterações	0,279

Tabela 2: Resultados obtidos para as frequências naturais e funções objetivo.

	ω_1 (Hz)	ω_2 (Hz)	ω_3 (Hz)	$f_1(X)$	$f_2(X)$	$f_3(X)$
Evolução Diferencial	2,173	5,295	11,115	2,173	3,123	5,820
Algoritmo Genético	1,988	5,081	10,418	1,988	3,092	5,337

O valor da densidade linear de massa é igual a $m = 7351,5 \text{ kg/m}$, sendo o volume resultante de $37,412 \text{ m}^3$.

Tais resultados, Tab. 1 e 2, mostram que a coluna deve ter a maior área de seção transversal, conseqüentemente, gerando o maior momento de inércia de área e densidade linear de massa, o menor comprimento total e estar enterrado o mais profundo possível. Portanto, traduz em maior estabilidade a coluna, pois suas frequências tendem a se maximizar garantindo a segurança necessária do projeto. Por outro lado, o peso calculado torna o projeto impraticável. Desta forma, é dada continuidade ao trabalho, de modo a estabelecer um novo objetivo que considera a minimização do volume.

Em relação aos métodos, diante das simulações realizadas e dos problemas considerados, verificou-se que todos obtiveram resultados muito similares, mas a Evolução Diferencial obteve resultados melhores em termos de solução do problema, enquanto o Algoritmo Genético em termos computacionais.

A principal contribuição deste trabalho, além de obter o projeto ótimo da coluna utilizando as técnicas de otimização, foi o desenvolvimento de um modelo analítico adequado para a coluna semi-enterrada. Este problema não é trivial, resultando em equações extensas, de difícil manipulação. A formulação analítica para o modelo dinâmico da coluna semi-enterrada permitiu uma melhor performance dos métodos de otimização, obtendo resultados precisos e com menor esforço computacional.

REFERÊNCIAS

- DYM, C. L.; SHAMES, L. H. **Solid Mechanics: A Variational Approach**. Tokyo: McGraw-Hill Kogakusha LTD., 1973.
- JARADAT, Y. M. M. **Soil-Structure Interaction of FRP Piles in Integral Abutment Bridges**. 2005. PhD Thesis – University of Maryland, Maryland, USA.
- OLIVEIRA, G. T. S. **Estudo e Aplicações da Evolução Diferencial**. 2006. Dissertação de Mestrado – Universidade Federal de Uberlândia, Minas Gerais, Brasil.
- QUEIROZ, T. A.; SANTEE, D. M. Modelagem Matemática e Comparação dos Métodos de Perturbação e Numéricos Aplicados a Vibração de Colunas Semi-Enterradas em um Solo Não-Linear. **Mecânica Computacional**, Vol. XXV, p. 1013-1032, 2006.