

# Otimização topológica de estruturas sujeitas à vibração do solo

Palavras-Chave: Otimização Topológica, Interação Solo-Estrutura, Vibração do solo

Autores/as:

Gabriel Peron Negrucci – FEM/UNICAMP

Prof. Dr. Josué Labaki Silva – FEM/UNICAMP

## INTRODUÇÃO:

Por diversas razões as vibrações geradas por elementos externos podem ser propagadas pelo solo. Como uma obra civil em que maquinários estão escavando o solo, uma autoestrada com grande movimentação de veículos pesados ou uma linha de metrô que circula no subsolo. Todos esses exemplos são atividades que podem gerar vibrações que irão se propagar pelo solo até que se dissipem para cada vez para o interior ou aos arredores como em estruturas que estejam próximas (Figura 1). No caso em que as estruturas podem ser o meio de dissipação, essas vibrações podem causar efeitos indesejados, interferindo no que é realizado dentro da construção (como em caso de laboratórios ou centros de pesquisa) ou causando a deterioração da estrutura de forma prematura.

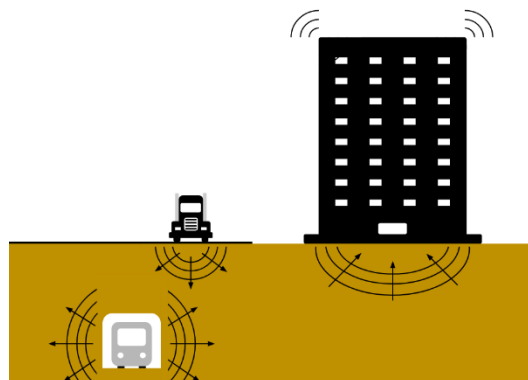


Figura 1 – Representação esquemática de vibrações sendo propagadas pelo solo até uma estrutura.

A Otimização Topológica é uma ferramenta computacional capaz de gerar estruturas otimizadas que minimizem uma função objetivo para dados condições de carregamento. Alguns exemplos de aplicações do algoritmo são para maximização da rigidez, minimização dos deslocamentos, modos de vibração, transferências de calor e entre outros que podem ser equacionados. Por se tratar de um algoritmo computacional iterativo, discretização em malha, resolver elementos finitos e estudos de convergência são algumas das partes que compõem um algoritmo de Otimização Topológica.

Este estudo propôs utilizar do algoritmo de Otimização Topológica para minimizar a vibração de um ponto específico de uma estrutura. Essa estrutura possui um conjunto de estacas para sustentação aterradas em um solo sujeito a vibrações sísmicas. De forma que, ao minimizar a vibração o algoritmo encontre uma solução de forma a atender aos critérios.

## FORMULAÇÕES E RESULTADOS:

Para que fosse possível implementar o algoritmo de Otimização Topológica em uma estrutura sujeita a vibrações provenientes do solo como, por exemplo, uma carga sísmica, alguns passos iniciais de implementação foram necessários. Visto que o algoritmo requer que uma solução de Elementos Finitos fosse executada, um algoritmo implementado em MATLAB pelo grupo de pesquisa foi utilizado. Foram realizados alguns ensaios de casos simples para validação das soluções 2D e 3D dos deslocamentos (Figura 2), comparando com as soluções obtidas segundo as equações diferenciais e as condições de contorno e iniciais detalhadas por Hibbeler (2010) e Rao (2008) para carregamentos estáticos e dinâmicos.

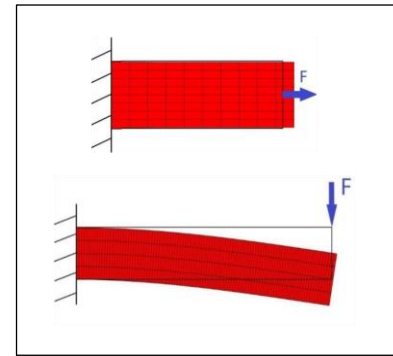


Figura 2 – Ensaio de solução de Elementos Finitos para barra e viga engastado-livre.

Com a implementação do algoritmo de Elementos Finitos implementado, a segunda fase foi realizar a implementação do algoritmo de Otimização Topológica segundo o algoritmo detalhado na publicação de Huang e Xie (2007). O algoritmo foi validado segundo casos clássicos da literatura de maximização da rigidez de vigas 2D engastado-livre, vigas bi-engastadas (Figura 3) e viga 3D engastada-livre com minimização da massa. Para o caso 2D a solução se mostrou idêntica a solução da literatura, com independência da discretização e

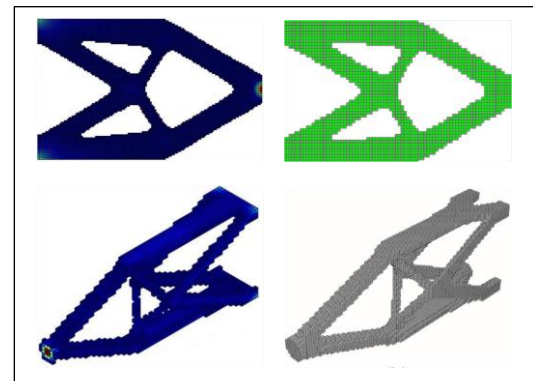


Figura 3 – Soluções obtidas pelo algoritmo de Otimização Topológica (esquerda) validadas para os casos 2D e 3D disponíveis em Huang e Xie (2007) (direita).

compliance idênticas. O caso 3D foi realizado um ensaio de viga engastada-livre e a solução obtida foi próxima da solução disponível, com variação observada devido a discretização da estrutura não ser tão detalhada quanto a utilizado por Huang e Xie (2010).

Após as implementações dos algoritmos anteriores terem sido validados, a terceira fase do entendimento do problema passou por entender como utilizar um algoritmo disponível por Kaynia e Kausel (1991) que modela o comportamento dinâmico de um grupo de estacas inseridas em camadas do solo (Figura 4). Este algoritmo seria responsável por fornecer para o algoritmo de Otimização Topológica os deslocamentos do grupo de estacas quando uma vibração oriunda do solo excitasse o grupo de estacas e essa excitação fosse transmitida para a estrutura. A transmissão do deslocamento do grupo de estacas para a estrutura é feita por meio do acoplamento da compatibilidade cinemática e que está melhor detalhado na publicação de Tavares (2020).

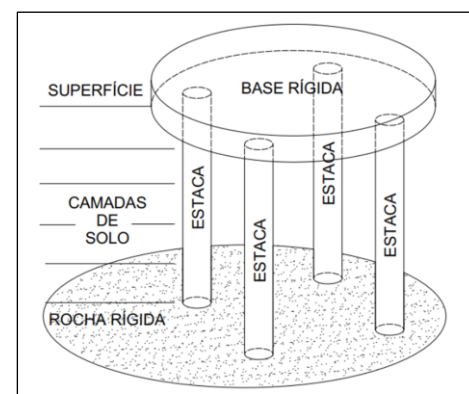


Figura 4 – Representação esquemática do grupo de 4 estacas acopladas em uma base rígida inseridas no solo.

Para isso, o estudo do algoritmo consistiu em entender como escrever as entradas de acordo com o modelo desejado e as saídas que eram obtidas para cada modelagem. Nos estudos realizados, a saída era fornecida em forma de deslocamentos das “cabeças” das estacas (partes superiores das estacas que estariam acopladas junto a base rítida). Os deslocamentos foram convertidos em: rigidez e normalizadas pela rigidez estática; amortecimento e normalizada pelo primeiro amortecimento. Os resultados (Figura 5) foram comparados com os resultados apresentados na publicação de Kaynia e Kausel (1991), obtendo um erro inferior a 5% se comparados visualmente com os dados apresentados pelo artigo.

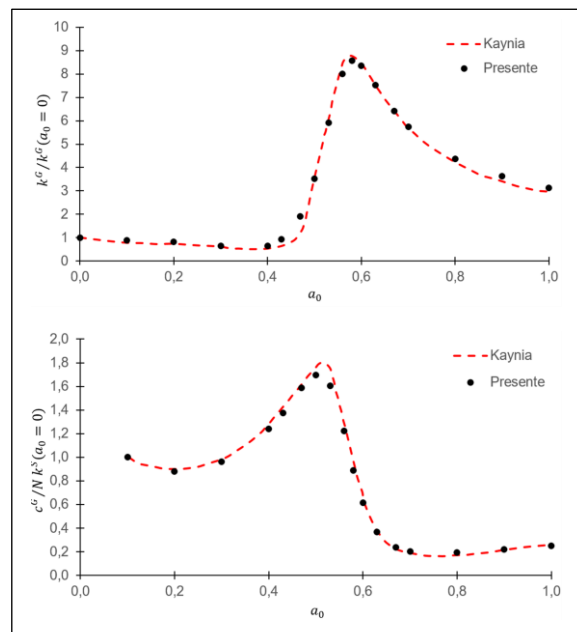


Figura 5 – Comparação da rigidez e amortecimento normalizados obtidos pelo algoritmo (Presente) com o publicado na literatura (Kaynia).

## CONCLUSÕES:

Das etapas necessárias para atingir o objetivo, desde a implementação de um algoritmo capaz de resolver Elementos Finitos até o entendimento do modelo do conjunto de estacas e do modelo de acoplamento necessário para a interação do solo com a estrutura foi realizado e validado segundo resultados apresentados pela literatura com boas aproximações.

## BIBLIOGRAFIA

- HIBBELER, R. C. **Resistência dos Materiais**. 7ª Ed., São Paulo, Pearson Prentice Hall, 2010
- RAO, Singiresu S. **Vibrações Mecânicas**. São Paulo, Pearson Prentice Hall, 2008.
- HUANG, X.; XIE, Y. M. **Convergent and mesh-independent solutions for the bidirectional evolutionary structural optimization method**. School of Civil and Chemical Engineering, RMIT University, 2007
- HUANG, X.; XIE, Y. M. **Evolutionary topology optimization of continuum structures: methods and applications**. John Wiley & Sons, 2010
- KAYNIA, A. M. e KAUSEL, E. **Dynamics of piles na pile groups in layered soil media**. Department of Civil Engineering, M.I.T., Cambridge, Massachusetts, 1991
- TAVARES, E. S. **Influência da presença da fundação na otimização topológica de estruturas estaqueadas**. Universidade Estadual de Campinas, UNICAMP. Campinas, SP. 2020