

## Dimensionamento e análise da deformação de um grupo de estacas

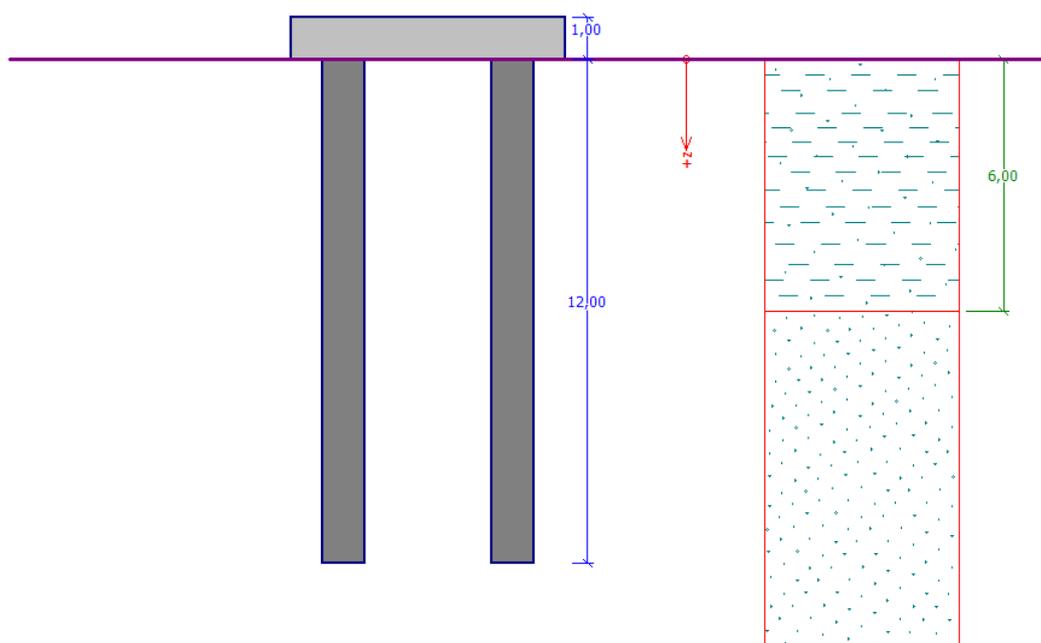
Programa: Grupo de Estacas

Arquivo: Demo\_manual\_18.gsp

O objetivo deste capítulo é explicar como utilizar o programa GEO5 Grupo de Estacas para analisar a rotação angular e o deslocamento de uma placa rígida de capeamento de estacas, determinar as forças internas atuantes ao longo da cada estaca e dimensionar a secção transversal das estacas.

### Definição do problema

A definição geral do problema é descrita em um dos capítulos anteriores (*12. Fundações por estacas – introdução*). Todas as análises da capacidade de suporte vertical de um grupo de estacas devem ser executadas, de acordo com o problema anterior (*17. Análise da capacidade de suporte vertical e assentamento de um grupo de estacas*). O carregamento resultante, que compreende  $N, M_y, H_x$ , atua no centro da superfície superior da placa de capeamento das estacas. O dimensionamento das estacas deve ser realizado de acordo com a Norma EN 1992-1-1 (EC 2), considerando os valores standard para os coeficientes parciais.



*Esboço do problema – grupo de estacas*

## Resolução

Para resolver este problema, vamos utilizar o programa GEO5 Grupo de Estacas. Para simplificar o problema e tornar a configuração dos parâmetros gerais mais rápida, **vamos utilizar os dados base definidos para o Manual anterior No. 17. Análise da capacidade de suporte vertical e assentamento de um grupo de estacas.**

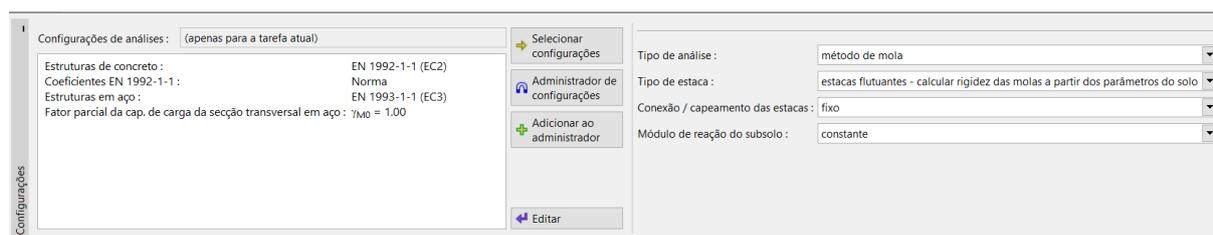
Vamos analisar o grupo de estacas através do *Método de Mola*, que permite a modelação individual de estacas como se fossem vigas assentes em solo elástico. Cada estaca é dividida internamente em dez secções, para as quais são computados os valores de molas horizontais e verticais. A laje base (placa de capeamento) é considerada como infinitamente rígida. A análise é realizada considerando a deformação variável do Método dos Elementos Finitos.

## Definição do procedimento

Começamos por abrir o ficheiro relativo ao Manual No. 17, no programa Grupo de Estacas. Depois, na janela “Configurações”, alteramos o método de análise para a opção “Método de Mola”. Vamos considerar a ligação entre as estacas e a base da laje como **rígida, isto é, fixa**. Assume-se que para esta condição de fronteira, o momento fletor será transferido na cabeça das estacas.

Para a capacidade da estaca na base, selecionamos a opção “estacas flutuantes – calcular rigidez das molas a partir dos parâmetros do solo”.

*Nota: O programa permite várias opções para as condições de fronteira, para a capacidade vertical das estacas. Para a capacidade das extremidades das estacas, ou para estacas fixas no bedrock, a rigidez vertical das molas não é definida – a base das estacas é modelada como uma junta ou uma junta deslizante. Para estacas flutuantes, é necessário definir a dimensão das molas verticais, tanto na superfície como na base da estaca. O programa permite definir a dimensão das molas, mas é mais razoável selecionar a opção “computar tamanho das molas”. Neste caso, o programa computa a dimensão das molas a partir das propriedades de deformação dos solos para o carregamento definido (mais detalhes em Ajuda – F1).*



Janela “Configurações” – Método de Mola

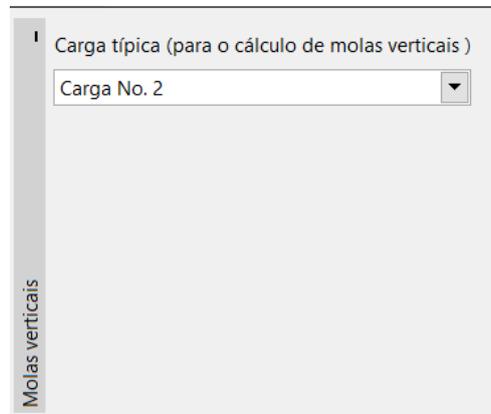
O módulo de reação horizontal do subsolo caracteriza o comportamento das estacas na direção horizontal. Nesta análise, vamos considerar o módulo  $k_h$  (incluindo os parâmetros que afetam o seu valor) como idêntico ao utilizado na análise de uma estaca isolada (ver Manual No. 16. *Análise da capacidade de suporte horizontal de uma estaca isolada*). Na primeira parte deste capítulo, vamos realizar a análise considerando um módulo de reação do subsolo **constante** e, na segunda parte, vamos comparar as diferenças entre os resultados obtidos através de outros métodos (linear – de acordo com Bowles, de acordo com a Norma CSN 73 1004 e de acordo com Vesic).

Ao alterar o método de determinação do módulo de reação do subsolo, também é necessário editar os parâmetros do solo na janela “Solos”. Os valores considerados para estes parâmetros serão os mesmo que os utilizados no Manual No. 16. Para clarificar, a tabela seguinte mostra estes valores.

Módulo de reação do subsolo $k_h$ [ $MN/m^3$ ]	Ângulo de dispersão $\beta$ [–]	Coefficiente $k$ [ $MN/m^3$ ]	Módulo de elasticidade $E$ [ $MPa$ ]	Módulo de compressibilidade horizontal $n_h$ [ $MN/m^3$ ]
CONSTANTE	10 – CS	---	---	---
	15 – S-F			
LINEAR (Bowles)	10 – CS	60 – CS	---	---
	15 – S-F	150 – S-F		
CSN 73 1004	Solo coesivo – CS, consistência firme			---
	Solo não coesivo – S-F, mediamente denso			4.5
VESIC	---	---	5.0 – CS	---
			15.5 – S-F	

*Tabela com sumário dos parâmetros do solo para a capacidade de suporte horizontal de uma estaca isolada*

Na janela “Molas verticais”, vamos selecionar o carregamento típico, que serve para calcular a rigidez das molas verticais. No nosso caso, vamos escolher a opção “Carga No. 2 – Serviço”.



Janela “Molas Verticais” – carregamento típico

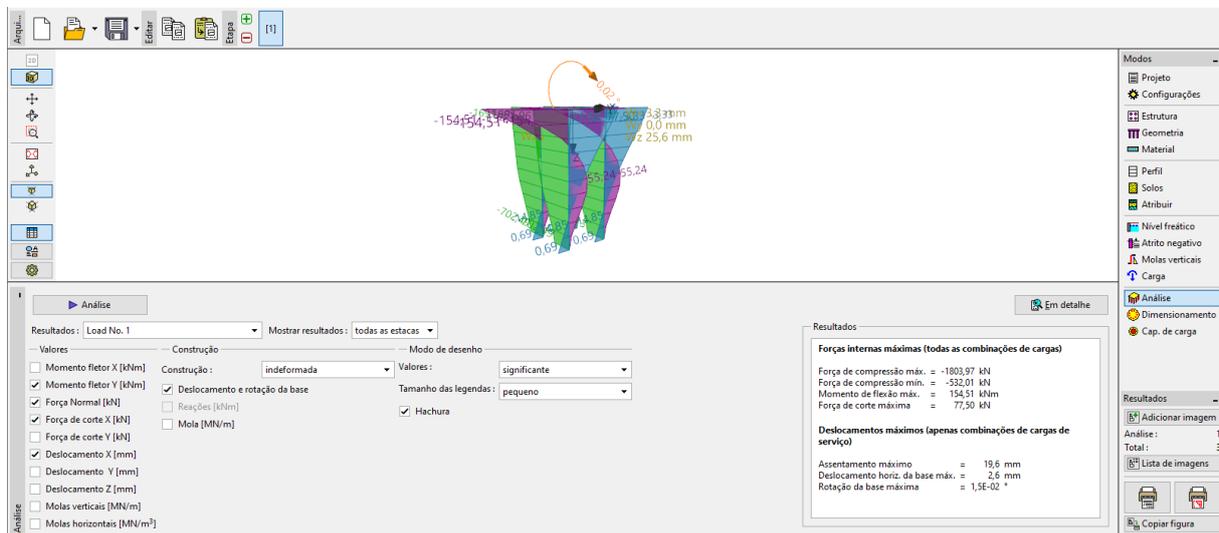
*Nota: Para o caso da opção Carregamento típico, deve ser aplicada a carga de serviço (característica) que melhor se adequa ao comportamento real da estrutura (para mais detalhes veja a Ajuda do Programa – F1). O procedimento para computar as molas verticais é o seguinte:*

- a) O carregamento calculado é distribuído ao longo de cada estaca.*
- b) A dimensão das molas verticais na superfície da estaca e na sua base é determinado para cada estaca, dependendo do carregamento e dos parâmetros do solo.*

*O efeito do carregamento é significativo para a rigidez calculada – por exemplo, a rigidez da mola na base é sempre nulo para uma estaca tracionada. Assim, em alguns casos poderá ser vantajoso executar vários cálculos, para diferentes carregamentos típicos.*

## Análise: Método de Mola

Na janela “Análise”, vamos realizar a análise do grupo de estacas, de acordo com as configurações iniciais (módulo de reação horizontal do subsolo **constante**) e vamos visualizar os resultados com os diagramas das forças internas.



Janela “Análise” – Método de Mola (módulo de reação do subsolo constante)

*Nota: A rigidez das estacas do grupo é automaticamente alterada de acordo com a sua localização. As estacas exteriores e as interiores de um grupo de estacas têm a rigidez horizontal e transversal reduzidas em comparação com as estacas isoladas. As molas na base das estacas não são reduzidas (mais detalhes na Ajuda – F1).*

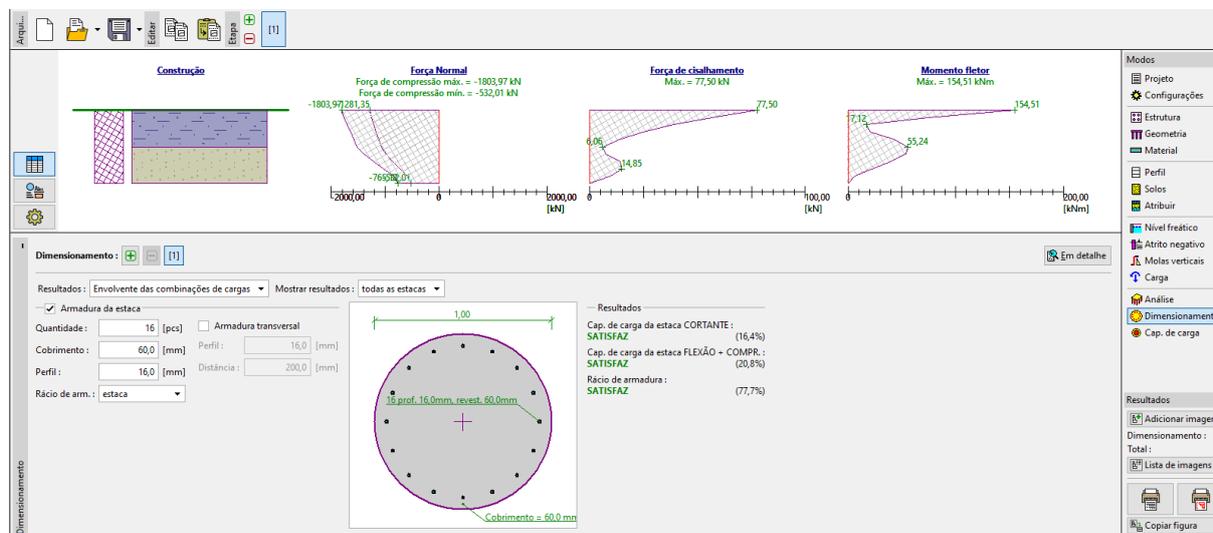
Os resultados da análise para as configurações iniciais (para a deformação máxima) são:

- Assentamento máximo: **19.6 mm**
- Desloc. horizontal máx. da placa de capeamento: **2.6 mm**
- Rotação máxima da placa de capeamento:  **$1.5 \cdot 10^{-2} \text{ }^\circ$**

## Dimensionamento

Agora, passamos à janela “Dimensionamento” e, de forma semelhante ao realizado no capítulo No. 16. *Análise da capacidade de suporte horizontal de uma estaca isolada*, vamos dimensionar a armadura principal das estacas. Vamos considerar um rácio de armadura idêntico em todas as estacas do grupo – **16 barras Ø 16 mm** e um recobrimento de concreto mínimo de **60 mm**, para uma classe de exposição XC1.

O rácio de armadura para um grupo de estacas sob um carregamento comum, é considerado, para este caso, de acordo com a norma CSN EN 1536:1999 (de forma idêntica ao capítulo No. 16). No programa, esta opção é definida como uma “estaca” (mais detalhes na Ajuda – F1).



Janela “Dimensionamento” – resultados para todas as estacas do grupo a partir da envolvente das combinações de cargas

É possível observar a utilização da secção transversal de todas as estacas do grupo, para flexão e condição do rácio de armadura mínima, para a envolvente global das combinações de cargas:

– Cap. de suporte da estaca em concreto armado (corte):	16.4 %	SATISFAZ
– Cap. de suporte da estaca em concreto armado (flexão):	20.8 %	SATISFAZ
– Rácio de armadura:	77.7 %	SATISFAZ

## Resultados da análise

O procedimento para as outras análises disponíveis no programa é análogo ao procedimento aplicado nos problemas anteriores. É sempre necessário alterar o método de cálculo do módulo de reação do subsolo, na janela “Configurações”, editar os parâmetros do solo conforme necessário e realizar a análise do grupo de estacas, nas janelas “Análise” e “Dimensionamento”. Os resultados obtidos estão presentes nas tabelas seguintes.

Módulo de reação do subsolo $k_h$ [ $MN/m^3$ ]	Força de compressão (máximo, mínimo) [ $kN$ ]	Momento fletor máximo [ $kNm$ ]	Força de cisalhamento máxima [ $kN$ ]
CONSTANTE	-1803.97	154.51	77.50
	-532.01		
LINEAR (Bowles)	-1822.08	190.74	77.50
	-526.06		
de acordo com a Norma CSN 73 1004	-1815.70	177.97	77.50
	-528.18		
de acordo com VESIC	-1827.92	202.41	77.50
	-524.15		

*Sumário de resultados (forças internas) – Verificação do grupo de estacas (método de mola)*

Módulo de reação do subsolo $k_h$ [ $MN/m^3$ ]	Assentamento máximo [ $mm$ ]	Deslocamento máximo [ $mm$ ]	Rotação máxima da laje [ $^\circ$ ]	Cap. suporte da estaca [%]
CONSTANTE	19.6	2.6	$1,5 \cdot 10^{-2}$	20.8
LINEAR (Bowles)	19.9	3.5	$2 \cdot 10^{-2}$	22.1
de acordo com a Norma CSN 73 1004	19.8	3.3	$1,8 \cdot 10^{-2}$	21.6
de acordo com VESIC	20.1	4.7	$2,2 \cdot 10^{-2}$	22.6

*Sumário de resultados – deslocamentos e dimensionamento do grupo de estacas*

## Conclusão

Os valores para o assentamento máximo do grupo de estacas, deslocamentos e rotação da laje estão dentro dos limites permitidos.

A partir dos resultados da análise, é possível verificar que os valores das forças internas ao longo de cada estaca e as deformações máximas na cabeça das estacas variam ligeiramente, mas a influência do método selecionado para o cálculo do módulo de reação do subsolo  $k_h$  não é significativa.

A armadura proposta para as estacas é satisfatória. A condição principal para o rácio de armadura das estacas também é verificada.