

Estimativa de Vínculos Elásticos de Fundação

O conceito de “edifício engastado na base” não representa corretamente o comportamento das fundações, independentemente de seu tipo (sapatas ou estacas) e já vem sendo atacado a muito tempo para todos os tipos de estruturas.

Para casos mais simples de elementos de fundação, é possível estimar o comportamento da interação solo-estrutura de forma simplificada e com poucos parâmetros de entrada. Obviamente esta estimativa é muito genérica e pode não representar corretamente o comportamento esperado, mas é um bom “ponto de partida”.

Sapatas

Para o caso das sapatas, a principal característica do solo que devemos ter é o coeficiente de reação vertical do solo (k_v).

Atualmente, no sistema TQS, o usuário precisa definir um valor de tensão admissível do solo (σ_{adm}) para o dimensionamento das sapatas. Com base neste valor e na utilização da tabela do autor Morrison (SAFE - 1993) é feita a correlação entre σ_{adm} e k_v .

O usuário também define o valor do coeficiente de atrito (μ) no arquivo de critérios.

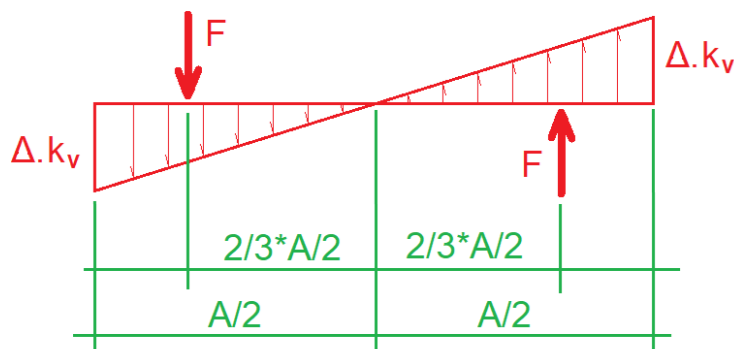
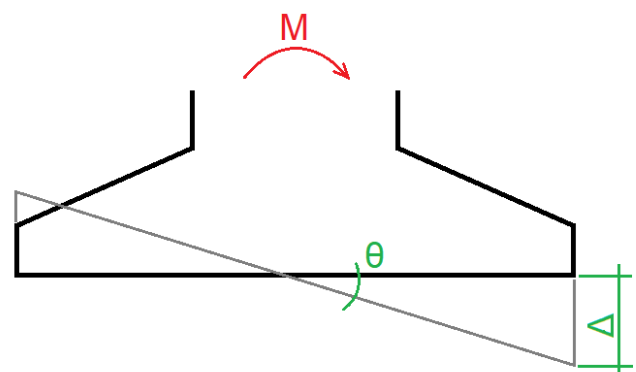
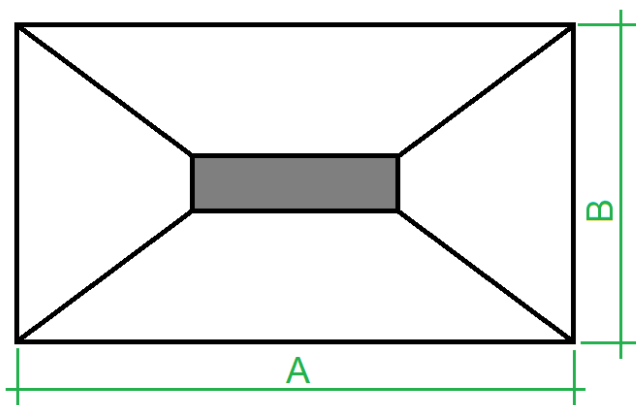
Dedução da formulação

Para o caso de sapatas, os dados necessários são:

Geometria (A, B);

Coeficiente de reação vertical (k_v);

Coeficiente de atrito (μ);



$$F = \frac{1}{2} \cdot \left(\frac{A}{2} \cdot \Delta \cdot K_v \right) \cdot B$$

$$\operatorname{tg} \theta \sim \theta \sim \frac{\Delta}{\left(\frac{A}{2} \right)} = \frac{2 \cdot \Delta}{A}$$

$$K_\theta = \frac{M}{\theta} = \frac{F \cdot 2 \cdot \left(\frac{2}{3} \cdot \frac{A}{2} \right)}{\theta} = \frac{\frac{1}{2} \cdot \left(\frac{A}{2} \cdot \Delta \cdot k_v \right) \cdot B \cdot \left(\frac{2}{3} \cdot A \right)}{\frac{2 \cdot \Delta}{A}} = \frac{\frac{1}{6} \cdot A^2 \cdot \Delta \cdot k_v \cdot B}{\frac{2 \cdot \Delta}{A}}$$

$$K_\theta = \frac{M}{\theta} = \frac{1}{12} \cdot A^3 \cdot B \cdot K_v = I \cdot k_v$$

$$K_v = A \cdot B \cdot k_v$$

$$K_h = \mu \cdot K_v$$

Tabela SAFE

A tabela do SAFE a ser utilizada é a seguinte:

Tensão admissível (kgf/cm ²)	Kv (kgf/cm ²)	Tensão admissível (kgf/cm ²)	Kv (kgf/cm ²)
0,25	0,65	2,15	4,30
0,30	0,78	2,20	4,40
0,35	0,91	2,25	4,50
0,40	1,04	2,30	4,60
0,45	1,17	2,35	4,70
0,50	1,30	2,40	4,80
0,55	1,39	2,45	4,90
0,60	1,48	2,50	5,00
0,65	1,57	2,55	5,10
0,70	1,66	2,60	5,20
0,75	1,75	2,65	5,30
0,80	1,84	2,70	5,40
0,85	1,93	2,75	5,50
0,90	2,02	2,80	5,60
0,95	2,11	2,85	5,70
1,00	2,20	2,90	5,80
1,05	2,29	2,95	5,90
1,10	2,38	3,00	6,00
1,15	2,47	3,05	6,10
1,20	2,56	3,10	6,20
1,25	2,65	3,15	6,30
1,30	2,74	3,20	6,40
1,35	2,83	3,25	6,50
1,40	2,92	3,30	6,60
1,45	3,01	3,35	6,70
1,50	3,10	3,40	6,80
1,55	3,19	3,45	6,90
1,60	3,28	3,50	7,00
1,65	3,37	3,55	7,10
1,70	3,46	3,60	7,20
1,75	3,55	3,65	7,30
1,80	3,64	3,70	7,40
1,85	3,73	3,75	7,50
1,90	3,82	3,80	7,60
1,95	3,91	3,85	7,70
2,00	4,00	3,90	7,80
2,05	4,10	3,95	7,90
2,10	4,20	4,00	8,00

Fonte: (SAFE, MORRISON 1983 apud ALEXANDRE JUNIOR, 2012)

Para simplificação, a tabela SAFE será linearizada para a seguinte expressão:

$$K_v = -0.0257 \cdot \sigma_{adm}^4 + 0.2294 \cdot \sigma_{adm}^3 - 0.6517 \cdot \sigma_{adm}^2 + 2.5467 \cdot \sigma_{adm} + 0.1083$$

Bloco sobre Estacas

Para o caso dos blocos, o problema é mais complexo. O cálculo das molas depende da previsão de recalque da estaca, que possui diversas variáveis e não são de fácil obtenção.

Como informação básica, é necessário que o usuário forneça um perfil de sondagem, que pode ser real ou estimado. O perfil de sondagem é a informação mínima para que o programa consiga estimar as molas na fundação. Além do perfil de sondagem, a geometria do bloco e estacas também serão utilizadas.

As demais variáveis necessárias para o problema são:

Capacidade de carga da estaca (F_{adm});

Módulo de elasticidade da estaca (E_p);

E_s e ν do solo;

Coefficiente de atrito (μ);

A capacidade de carga da estaca é uma informação existente no arquivo de critérios. O mesmo ocorre com o coeficiente de atrito.

O módulo de elasticidade da estaca será tomado considerando que a estaca sempre terá o mesmo valor, independentemente do valor declarado nos dados do edifício: $f_{ck} = 15MPa$.

$$E_p = 5600 \cdot \sqrt{15} = 21.688MPa \sim 21GPa$$

Os valores e E_s e ν do solo devem ser definidos através do perfil de sondagem. Caso não sejam definidos, será utilizada uma correlação entre SPT e os valores de características elásticas do solo.

Para o módulo de elasticidade existe uma infinidade de correlações, mas utilizamos a correlação empírica apresentada pelo autor Schmertmann, pois é simples:

$$E_s = 3,0 \cdot K \cdot N_{SPT} (MPa)$$

O valor de K sai da tabela a seguir:

Descrição do tipo de solo	K (MPa)
Areia com pedregulhos	1,10
Areia	0,90
Areia Siltosa	0,70
Areia argilosa	0,55
Silte arenoso	0,45
Silte	0,35
Argila arenosa	0,30
Silte argiloso	0,25
Argila siltosa	0,20

A priori, cada camada de solo poderia ser definida como Areia ($K = 0,90$) ou Argila ($K = 0,20$).

Para o valor do coeficiente de Poisson, ele pode ser tomado fixo com o valor de:

$$v = 0,30$$

Estimativa do recalque

Após pesquisas diversas, o método de Randolph e Wroth (1978) nos pareceu ser o mais simples e direto para o cálculo de recalques em estacas isoladas, podendo ser utilizado também em estacas em grupo.

Para o cálculo do recalque, os seguintes dados são necessários:

Capacidade de carga da estaca (F_{adm});

Módulo de elasticidade da estaca (E_p);

Geometria das estacas (\emptyset , comprimento e disposição)

E_s e v do solo;

$$G = \frac{E_s}{2 \cdot (1 + v)}$$

$$\Delta = w_t \sim \frac{P_t}{\frac{2 \cdot \pi}{\zeta} \cdot l \cdot G_l \cdot \rho \cdot \frac{\tanh(\mu \cdot l)}{\mu \cdot l}}$$

$$\rho = \frac{G_{l/2}}{G_l}$$

$$r_m = 2,5 \cdot l \cdot \rho \cdot (1 - v)$$

$$\zeta = \ln\left(\frac{r_m}{r_0}\right)$$

$$\mu = \sqrt{\frac{2}{\zeta} \cdot \frac{G_l}{E_p} \cdot \frac{1}{r_0}}$$

Grupo de estacas

A metodologia descrita não considera efeitos deletérios devidos ao agrupamento de estacas.

Dedução da formulação

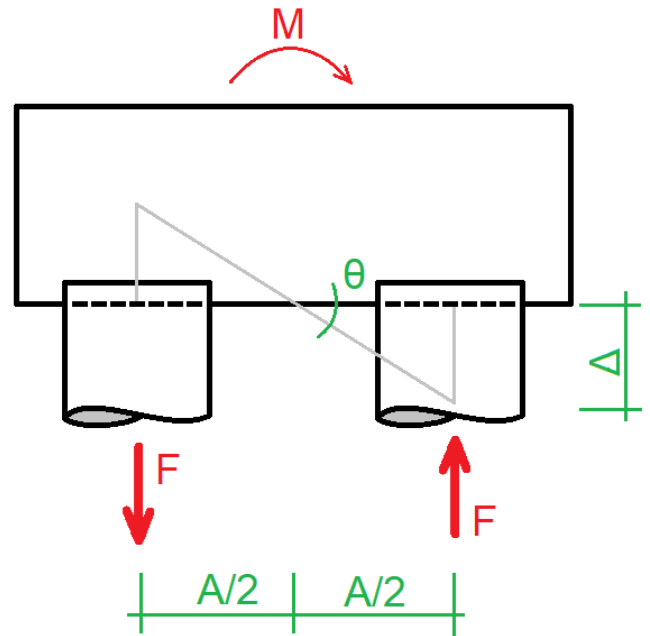
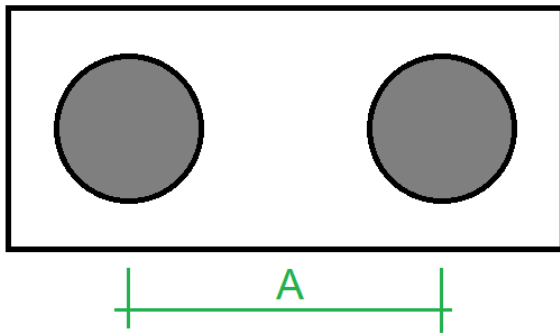
Para o caso de blocos sobre estacas, os dados necessários são:

Capacidade de carga da estaca (F_{adm});

Geometria das estacas (\emptyset , comprimento e disposição)

Recalque previsto para o topo da estaca para a capacidade de carga (Δ);

Coefficiente de atrito (μ);



$$\text{tg}\theta \sim \theta \sim \frac{\Delta}{\left(\frac{A}{2}\right)} = \frac{2 \cdot \Delta}{A}$$

$$K_{\theta} = \frac{M}{\theta} = \frac{F \cdot A}{\theta} = \frac{F \cdot A}{\left(\frac{2 \cdot \Delta}{A}\right)} = \frac{F \cdot A^2}{2 \cdot \Delta}$$

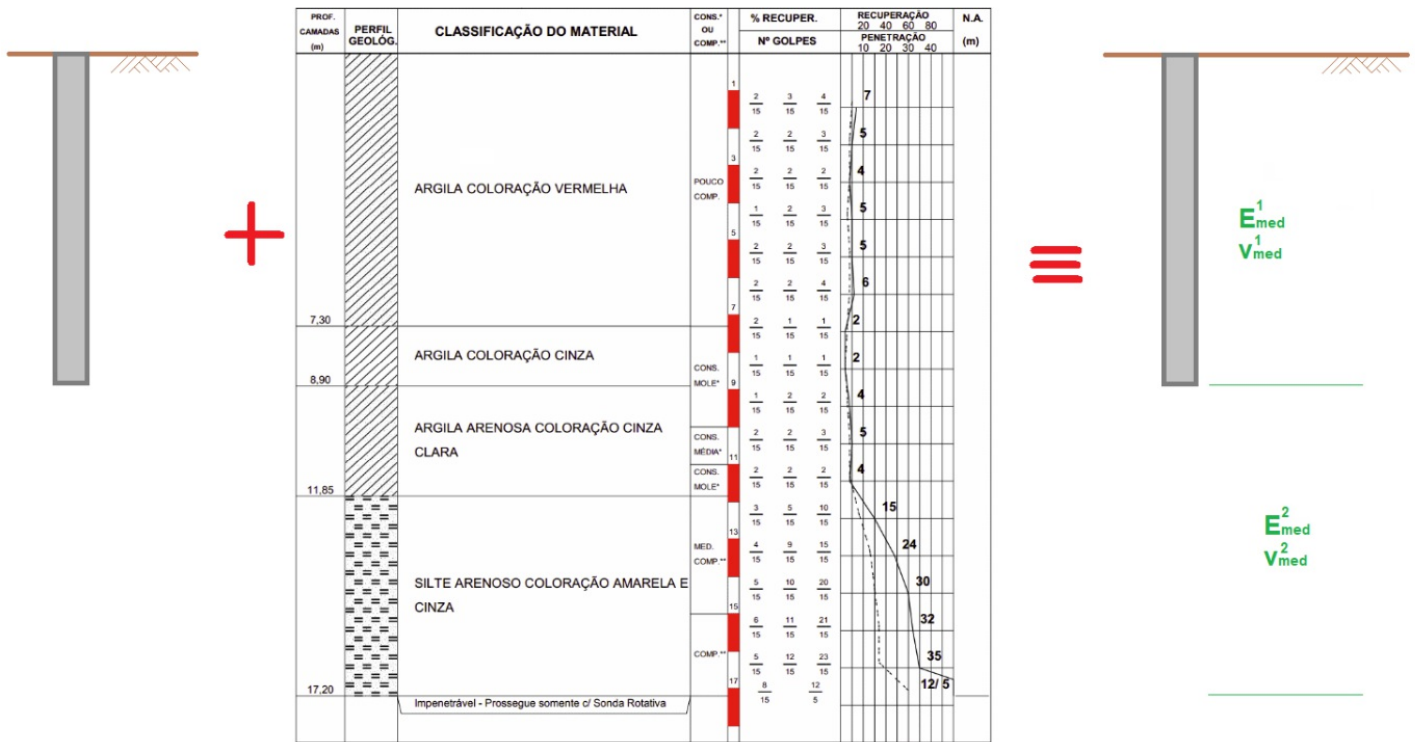
$$K_v = \frac{F}{\Delta} \cdot 2$$

$$K_h = \mu \cdot K_v$$

Importante observar que a dedução acima é válida para uma geometria com duas estacas. Para mais estacas, devemos fazer algumas contas diferentes, mas sempre podemos partir do esquema apresentado.

Diversas camadas de solo

No caso de solo com diversas camadas, iremos dividir o problema em apenas duas camadas equivalentes: uma camada que contém a estaca e uma camada abaixo da ponta da estaca.

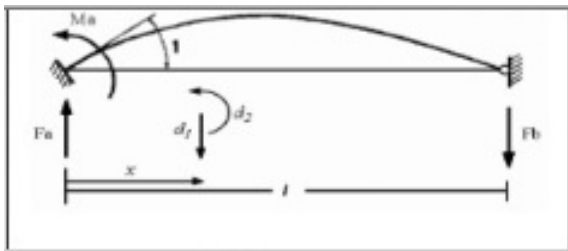


As camadas equivalentes deveram ter a média dos módulos de elasticidade e dos poissons.

Mola de rotação em torno na estaca única ou em linha

Para o caso de estacas únicas ou em linha, o método apresentado acima não é possível de ser utilizado, uma vez que ele toma como base o braço de alavanca entre duas estacas. Desta forma, para o caso de estacas únicas ou em linha será utilizado um método diferente.

Iremos tomar para estes casos a ideia de que a estaca estaria engastada-apoiada (no bloco e na sua ponta), conforme figura abaixo:



O momento fletor gerado no apoio engastado (bloco) será:

$$M_a = \frac{3 \cdot E \cdot I}{l}$$

A mola de rotação será dada por:

$$K'_\theta = \frac{M}{\theta} = \frac{3 \cdot E \cdot I}{1.0} = \frac{3 \cdot E \cdot \left(\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot r^4\right)}{l}$$

$$K'_\theta = \frac{3}{4} \cdot \frac{E \cdot \pi \cdot r^4}{l}$$

Onde:

E : módulo de elasticidade da estaca (E_p);

r : é o raio da estaca;

l : comprimento da estaca.

Como a ligação entre a estaca e o bloco não é bem estudada e não conseguimos garantir o real engastamento entre ambos, será adotado um fator de correção de 50% para a mola efetivamente adotada. Ou seja:

$$K_{\theta} = 0,5 \cdot \frac{3}{4} \cdot E \cdot \pi \cdot r^4 / l$$

Funcionamento dentro do Modelador Estrutural

A estimativa das molas de fundação é acionada dentro do Modelador Estrutural, através do seguinte comando: "Fundações" - "Pré-dimensionamento" - "Estimar molas".

Para que o comando funcione perfeitamente, é necessário que todos os dados mínimos para sapatas e blocos já tenham sido definidos. Seguem eles:

Sapatas

Geometria

Definida no Modelador Estrutural;

Coefficiente de reação vertical (k_v)

Definido no arquivo de critérios;

Coefficiente de atrito (μ)

Definido no arquivo de critérios;

Blocos

Geometria e disposição das estacas

Definida no Modelador Estrutural;

Capacidade de carga da estaca (F_{adm});

Definida no arquivo de critérios;

Perfil de sondagem

Definido no arquivo de critérios;

E_s e ν de cada camada de solo

Definidos no arquivo de critérios ou estimados conforme documentação anterior;

Após a correta execução do comando, os dados da aba "Pórtico" do elemento de fundação serão preenchidos de modo automático.