

# Inserindo as fundações: Coeficientes de recalque horizontal e vertical do solo.

//

Aplica-se às versões: EBv5, EBv5Gold, EBv6, EBv6Gold, EBv7, EBv7Gold, PMv7, PMv7G, PMv8, PMv8G

## Assunto

Como obter os coeficientes de recalque vertical e horizontal do solo?

## Artigo

Esse artigo tem como função demonstrar algumas possibilidades para auxiliar na adequada determinação dos coeficientes de recalque vertical e horizontal utilizados pelo eberick para o dimensionamento de fundações em base elástica, como fundações em radier, sapata corrida, tubulões e, exemplificar a sua importância no comportamento da estrutura.

O modelo do coeficiente de recalque vertical e horizontal originalmente proposto por Winkler em 1867, utilizado para definir o comportamento do solo, caracteriza o solo como uma série de molas elásticas lineares desconectadas, de tal modo que as deformações ocorrem somente onde o carregamento existe.

No modelo de Winkler, é assumido que a pressão  $p$  e o deslocamento  $d$  de cada ponto estão relacionados por um módulo de reação (modulos of subgrade reaction) ou coeficiente de recalque (horizontal ou vertical), denominado  $k_h$  e  $k_v$ .

Portanto, no caso das molas usadas no modelo discretizado dos tubulões e estacas têm-se em cada nó a relação:

$$P = K_v \cdot d$$

Onde:

$P$  é a tensão aplicada

$d$  é o deslocamento

$K_v$  é o coeficiente de recalque ou de reação vertical que pode ter como unidade  $\text{kgf/cm}^3$  ou  $\text{tf/m}^3$  etc.

O método mais indicado para a obtenção dos coeficientes de recalque vertical e horizontal do solo é através de ensaios efetuados com o solo disponível, como por exemplo o ensaio de placa. Através desse ensaio obtêm-se valores que poderão ser utilizados para simular, com maior confiabilidade, o comportamento da estrutura

Na falta desse ensaios, ou mesmo para a confirmação da ordem de grandeza esperada para a resistência dos solos, podem ser utilizadas tabelas de valores típicos ou correlações empíricas.

# Inserindo as fundações: Coeficientes de recalque horizontal e vertical do solo.

## COEFICIENTES DE REAÇÃO VERTICAL, Kv

### USO DE TABELAS

Uma tabela que pode ser utilizada para a obtenção do coeficiente de recalque vertical é a de Béton-Kalender (1962).

Valores de Kv (kgf/cm <sup>3</sup> )	
Turfa leve - Solo pantanoso	0,5 a 1,0
Turfa pesada - Solo pantanoso	1,0 a 1,5
Areia fina de praia	1,0 a 1,5
Aterro de silte, areia e cascalho	1,0 a 2,0
Argila molhada	2,0 a 3,0
Argila úmida	4,0 a 5,0
Argila seca	6,0 a 8,0
Argila seca endurecida	10,0
Silte compactado com areia e pedra	8,0 a 10,0
Silte compactado com areia e muita pedra	10,0 a 12,0
Cascalho miúdo com areia fina	8,0 a 12,0
Cascalho médio com areia fina	10,0 a 12,0
Cascalho grosso com areia grossa	12,0 a 15,0
Cascalho grosso com pouca areia	15,0 a 20,0
Cascalho grosso com pouca areia compactada	20,0 a 25,0

Fonte: Béton – Kalender (1962)

Outra possibilidade, ainda, é a utilização da fórmula indicada por Rausch em 1959.

$$K_v = \frac{E_0}{f \sqrt{F}}, \text{ em t/m}^3$$

Onde

$E_0$  – Módulo edométrico do solo, em t/m<sup>2</sup>.

F – Superfície da fundação, em m<sup>2</sup>.

f – Coeficiente adimensional, que depende da superfície da fundação, tomado com o valor de 0,4.

É importante lembrar que o valor Kv não é uma constante, mas que depende de uma série de fatores, tais como forma e dimensões da fundação, tipo de construção e ainda das flutuações de carregamento.

# Inserindo as fundações: Coeficientes de recalque horizontal e vertical do solo.

Valores de  $E_0$  e  $E$

Na ausência de ensaios apropriados pode-se adotar para o valor  $E_0$  (Módulo Endométrico) e  $E$  (Módulo de Elasticidade), em solos submetidos à tensões inferiores a  $10\text{kg/cm}^2$  os valores indicados por Cestelli Guidi.

Valores de $E$ e $E_0$ em $\text{kg/cm}^2$	$E_0$	$E$
Turfa	1 a 5	0,66 a 3,50
Argila molhada	15 a 40	9,9 a 22
Argila plástica	40 a 80	26 a 53
Argila endurecida - plástica	80 a 150	53 a 99
Areia solta	100 a 200	66 a 132
Areia compacta	500 a 800	330 a 530

Fonte: Cestelli Guidi

## CORRELAÇÃO EMPÍRICA

Uma possibilidade de obtenção do coeficiente de reação vertical é a correlação empírica com a tensão admissível, que pode ser obtida através do ensaio de SPT.

Para obter a tensão média admissível a partir desse ensaio, utiliza-se o número médio de golpes aplicando a seguinte fórmula

$$s = 0,20 * SPT_{\text{Médio}} \quad (\text{kgf/m}^2)$$

A partir dos valores de tensão média admissível é possível obter o valor de  $K_v$  por correlação, utilizando a tabela abaixo:

## Inserindo as fundações: Coeficientes de recalque horizontal e vertical do solo.

Tensão admissível (kgf/cm <sup>2</sup> )	Kv (kgf/cm <sup>3</sup> )	Tensão admissível (kgf/cm <sup>2</sup> )	Kv (kgf/cm <sup>3</sup> )
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

# Inserindo as fundações: Coeficientes de recalque horizontal e vertical do solo.

Fonte: Safe, Morrison (1993)

## COEFICIENTES DE REAÇÃO HORIZONTAL, Kh

Pode-se, também, obter o valor do coeficiente de reação horizontal (Kh) e partir do coeficiente de Poisson obter o coeficiente de reação vertical Kv. Para a obtenção do coeficiente de recalque horizontal pode se utilizar o método recomendado por Teng [1962], a partir das correlações empíricas dadas por Terzaghi [1955]:

Para solos arenosos:

$$k_h = k_1 * \frac{z}{B}$$

Valores de k1 para solos arenosos (em kgf/cm<sup>3</sup>)

	Areia fofa	Areia média	Areia compacta
Seca ou saturada	0,2	0,7	1,8
Submersa	0,1	0,4	1,1

Para solos argilosos:

$$k_h = 0.2 * \frac{k_1}{B}$$

Valores de k1 para solos argilosos (em kgf/cm<sup>3</sup>)

	Argila mole	Argila média	Argila rija	Argila dura
Seca ou saturada	0 a 1,5	2	5	10

Onde:

z = profundidade da fundação (em metro)

B = largura ou diâmetro da estaca ou tubulão (em metro)

De acordo com esta metodologia, tendo encontrado o valor de kh, pode-se obter o valor de kn (coeficiente de recalque vertical), a partir da seguinte relação:

$$K_h = K_n *$$

onde:

# Inserindo as fundações: Coeficientes de recalque horizontal e vertical do solo.

$K_n$  - coeficiente de recalque vertical

$n$  - coeficiente de Poisson

Como valores indicativos têm-se:

<b>NATUREZA DO SOLO</b>	<b>COEFICIENTE DE POISSON</b>
Arenoso	0,29
Argiloso	0,40

Os procedimentos indicados acima são alguns exemplos de metodologia para a obtenção dos parâmetros do solo. Existem ainda diversas outras maneiras de se obter os coeficientes de recalque vertical e horizontal, tais como os métodos advindos dos ensaios do solo.

## Exemplo numérico

Utilizaremos como exemplo para a determinação dos coeficientes de recalque vertical e horizontal a formulação indicada por Teng [1962].

Neste exemplo, o solo utilizado será um solo do tipo arenoso, com areia fofa seca. A fundação utilizada será do tipo tubulão com diâmetro de 80 centímetros e comprimento total de 250 centímetros.

Para solos arenosos:

$$K_h = k_1 * z/B.$$

$$K_1 = 0,2 \text{ (kgf/cm}^3\text{)}$$

$$Z = 2,5 \text{ metros}$$

$$B = 80 \text{ centímetros} = 0,80 \text{ m}$$

$$K_h = 0,2 * (2,5/0,80) = 0,625 \text{ (kgf/cm}^3\text{)}.$$

No Eberick os valores são informados em  $\text{tf/m}^3$ , assim, convertendo as unidades, chega-se ao valor de  $625 \text{ tf/m}^3$ .

$$K_h = 625 \text{tf/m}^3.$$

Utilizando a relação  $K_h = K_v * n$ , pode-se isolar  $k_v$ , obtendo-se:

$$K_v = K_h/n$$

Considerando -se  $n = 0,29$ , pois tem-se um solo arenoso, tem-se:

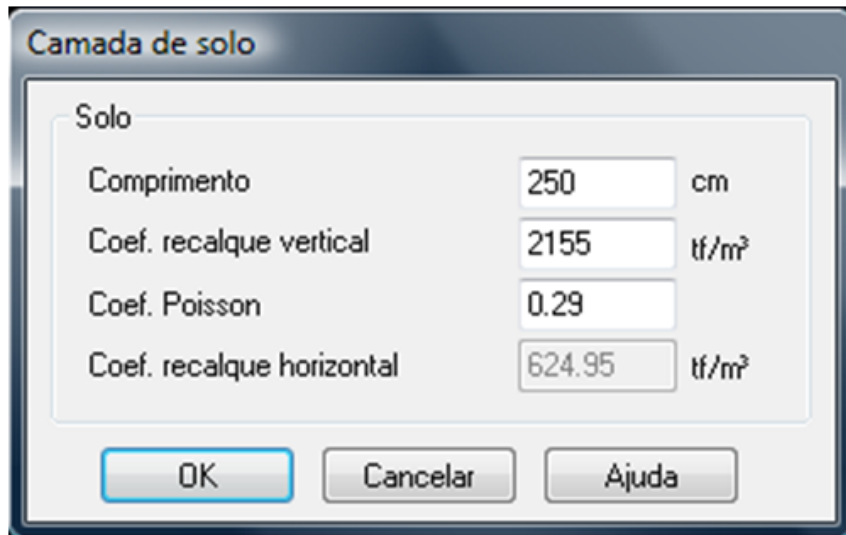
$$k_v = 625/0,29 = 2155 \text{ tf/m}^3.$$

# Inserindo as fundações: Coeficientes de recalque horizontal e vertical do solo.

Observa-se, portanto, que os valores obtidos são diferentes da configuração padrão do programa.

Os coeficientes padrão do programa são valores apenas didáticos e não devem ser utilizados em projetos estruturais.

Para verificar a influência dos coeficientes no comportamento da estrutura, utilizaremos uma mesma estrutura com duas configurações diferentes para os coeficientes de recalque. No primeiro modelo serão utilizados os valores calculados nesse artigo para a areia fofa, conforme indicado abaixo:



The screenshot shows a dialog box titled "Camada de solo" with the following fields and values:

Propriedade	Valor	Unidade
Solo		
Comprimento	250	cm
Coef. recalque vertical	2155	tf/m <sup>3</sup>
Coef. Poisson	0.29	
Coef. recalque horizontal	624.95	tf/m <sup>3</sup>

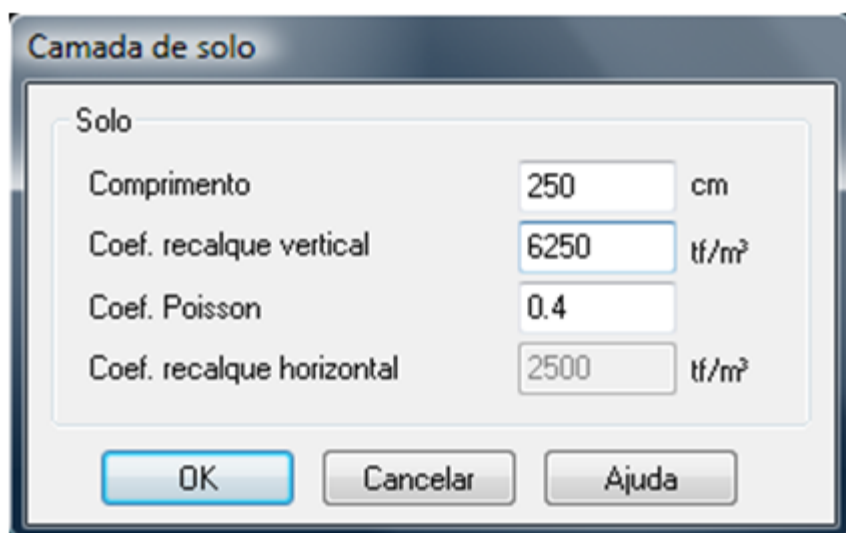
Buttons: OK, Cancelar, Ajuda

No segundo modelo será considerado um solo do tipo argila dura, obtendo-se os seguintes valores para os coeficientes.

$$K_h = 0,2 \cdot (10/0,8) = 2,5 \text{ kgf,cm}^3 = 2500 \text{ tf/m}^3$$

$$n = 0,40$$

$$K_v = 2500/0,40 = 6250.$$



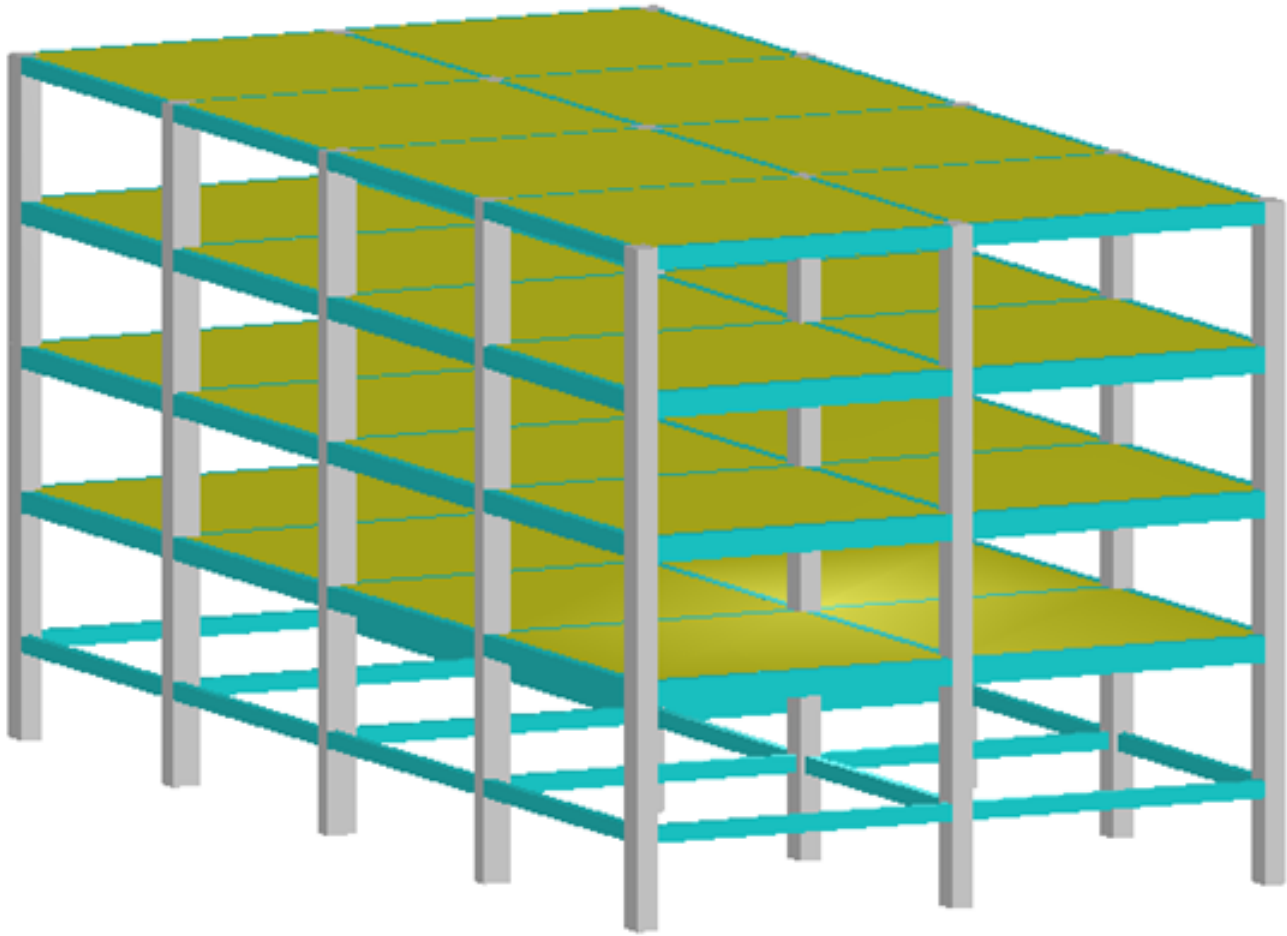
The screenshot shows the same dialog box "Camada de solo" with updated values:

Propriedade	Valor	Unidade
Solo		
Comprimento	250	cm
Coef. recalque vertical	6250	tf/m <sup>3</sup>
Coef. Poisson	0.4	
Coef. recalque horizontal	2500	tf/m <sup>3</sup>

Buttons: OK, Cancelar, Ajuda

# Inserindo as fundações: Coeficientes de recalque horizontal e vertical do solo.

A estrutura a ser utilizada para essa comparação será o modelo indicado abaixo:

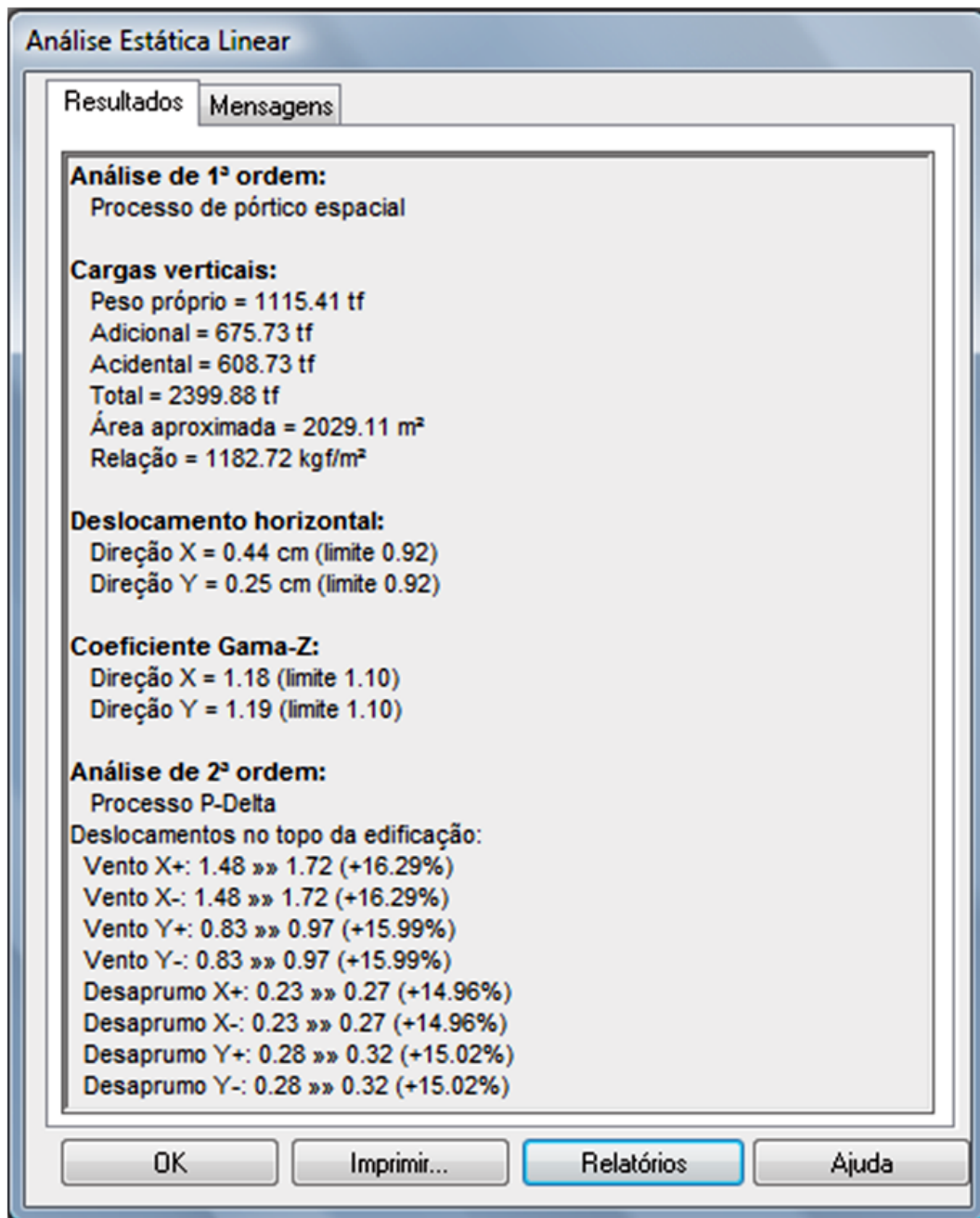


Nos dois modelos foi utilizada a mesma configuração de ações, carregamentos, seções e vinculações, sendo que a única diferença entre os dois arquivos é a configuração dos parâmetros do solo.

Após processar a estrutura clicamos sobre o botão “ Resultados ” e verificamos que para o modelo com o solo do tipo areia fofa chegou-se ao seguinte resultado:

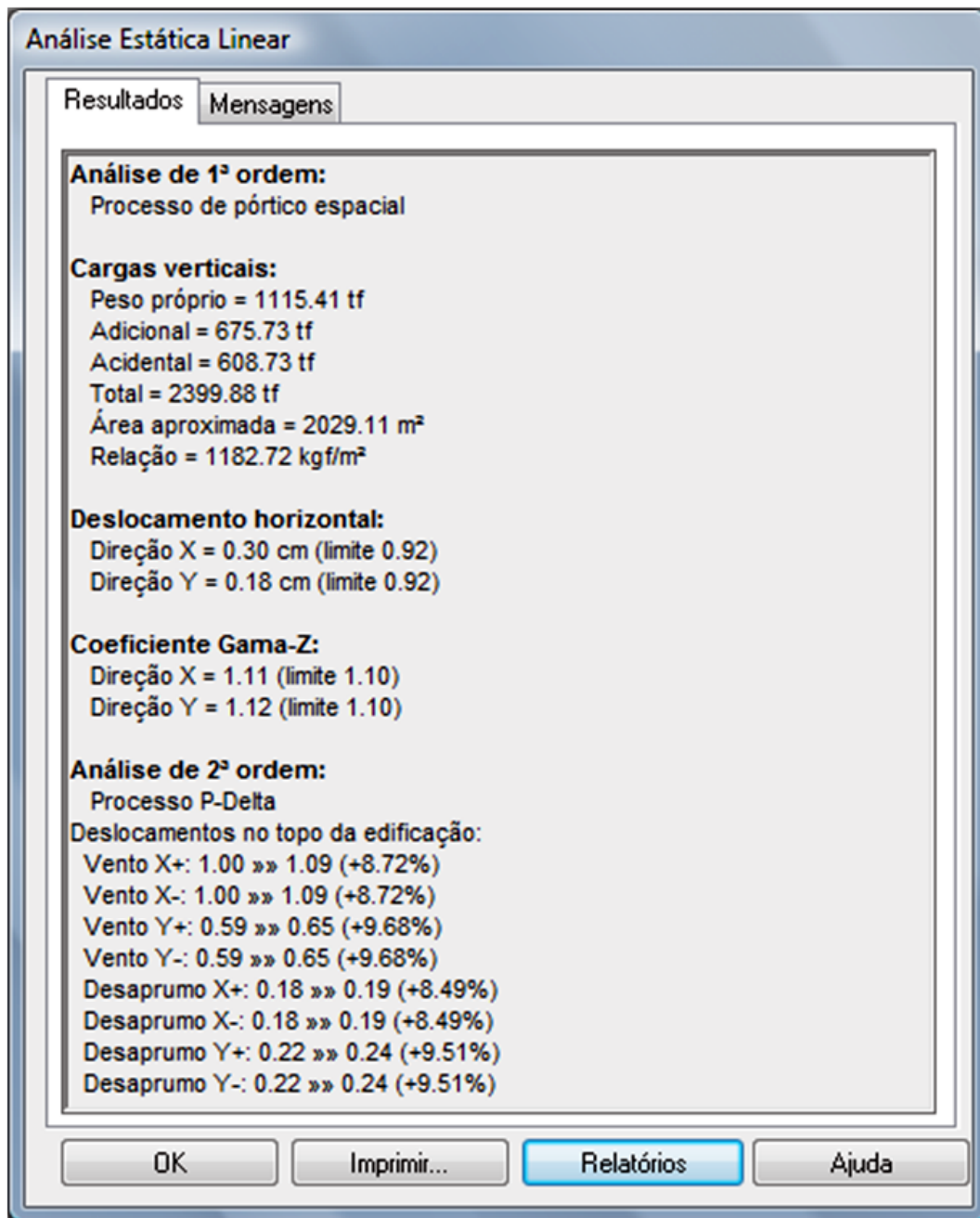


# Inserindo as fundações: Coeficientes de recalque horizontal e vertical do solo.



Já para o modelo utilizando o solo do tipo argila dura obteve-se o seguinte resultado:

# Inserindo as fundações: Coeficientes de recalque horizontal e vertical do solo.



Verifica-se, portanto, que mesmo em um projeto relativamente pequeno e com boa simetria obtiveram-se diferenças significativas em relação ao deslocamento horizontal da estrutura. Fica clara, portanto, a necessidade da adequação desses valores em cada projeto, visando sempre a criação de um modelo que se aproxime das condições reais da obra.

ID de solução único: #2044

Autor: : Mário César Alexandre Júnior.

Última atualização: 2017-12-19 14:53