

## CRH – Estacas

O CRH (coeficiente de reação horizontal) pode ser entendido como a rigidez do contato estaca-solo, mas nesse caso, ao contrário do CRV, na direção horizontal.

As forças horizontais podem ser causadas por vento, empuxo de terra, sismo, etc. No projeto de uma fundação profunda submetida a um carregamento deste tipo é necessário calcular os deslocamentos e obter os diagramas de momento fletor e esforço cortante.

## Coeficiente e Módulo de Reação Horizontal

Para o estudo de estacas submetidas a esforços de tração são frequentemente utilizados métodos decorrentes do coeficiente de reação horizontal estimado, na grande maioria dos casos a partir dos resultados de sondagens à percussão (SPT) associada à classificação táctil-visual dos solos.

O coeficiente de reação horizontal ( $k_z$ ) tem como hipótese básica a consideração de que a pressão atuante na profundidade  $z$  é proporcional ao deslocamento sofrido pelo solo:

$$k_z = \frac{\sigma_z}{y}$$

Conforme ALLONSO (1989), essa conceituação, semelhante à hipótese de Winkler, embora aplicada ao caso de vigas horizontais sobre apoios, perde o sentido quando aplicada a estacas, sendo modernamente utilizado o módulo de reação horizontal ( $K$ ). Este módulo é definido como a relação entre a reação do solo, na profundidade  $z$ , e o deslocamento horizontal:

$$K = \frac{P}{y}$$

## Variação do Módulo de Reação com a Profundidade

O valor do módulo de reação horizontal possui dois tipos de variação: constante ou linearmente crescente com a profundidade. Nas argilas pré-adensadas, o módulo ( $K$ ) é constante com a profundidade ( $z$ ), mas nas areias e argilas normalmente adensadas varia linearmente com a profundidade, de acordo com a expressão ( $K = nH z$ ), onde  $nH$  é denominado “constante do coeficiente de reação horizontal”.

As tabelas abaixo apresentam valores típicos para  $K$  e  $nH$  :

| ARGILAS PRÉ-ADENSADAS | VALOR DE K (MPa) |
|-----------------------|------------------|
|-----------------------|------------------|

| CONSISTÊNCIA | ORDEM DE GRANDEZA | VALOR PROVÁVEL |
|--------------|-------------------|----------------|
| Média        | 0,7 a 4,0         | 0,8            |
| Rija         | 3,0 a 6,5         | 5,0            |
| Muito Rija   | 6,5 a 13,0        | 10,0           |
| Dura         | > 13,0            | 19,5           |

Tabela 14.1 – Valores do módulo de reação K para argilas pré-adensadas.

| COMPACIDADE DA AREIA ou CONSISTÊNCIA DA ARGILA | VALOR DE nH (MPa) |          |
|--|-------------------|----------|
|  | SECA              | SUBMERSA |
| Areia fofa                                     | 2,6               | 1,5      |
| Areia medianamente                             | 8,0               | 5,0      |
| Areia compacta                                 | 20,0              | 12,5     |
| Silte muito fofo                               | -                 | 0,2      |
| Argila muito mole                              | -                 | 0,55     |

Tabela 14.2 – Valores da constante do coeficiente de reação horizontal nH.

## Modelo Conforme SPT/m

Ainda para o cálculo de fundações profundas carregadas tran. sversalmente, foi implantado no sistema SISEs o modelo de Waldemar Tietz Este método, apresentado na revista ESTRUTURAS nº. 76, foi concebido inicialmente para tubulões com diâmetro igual ou superior a 1m.

Diferentemente das estacas submetidas somente ao esforço axial de compressão, que depende mais do tipo de solo abaixo da ponta, para estacas submetidas à ação horizontal o mais importante é o solo que envolve os primeiros metros de profundidade do fuste. Quando um tubulão dentro do solo se desloca no sentido horizontal, o solo exerce sobre sua superfície lateral bC (reduzida) uma pressão variável com a profundidade:

$$C_z = m \cdot z \quad (\text{tf/m}^3)$$

Onde:  $C_z$  : é denominado “coeficiente de recalque do solo;

m: em  $(\text{tf/m}^4)$  é o coeficiente de proporcionalidade que caracteriza a variação do coeficiente  $C_z$  em relação à

qualidade do solo;

z: é a profundidade das respectivas camadas do solo consideradas a partir da superfície do solo ou do nível da base do bloco.

As tabelas abaixo apresentam os valores típicos de m:

| SOLO ARENOSO | COMPACIDADE     | SPT | m (tf/m <sup>4</sup> ) |
|--------------|-----------------|-----|------------------------|
| Areia        | Fofa            | 1   | 150                    |
| Silte        | Pouco compacta  | 7   | 300                    |
| Silte        | Medianamente c. | 20  | 500                    |
| Areia        | Compacta        | 40  | 800                    |
| Argila       | Muito compacta  | 50  | 1500                   |

Tabela 14.3 – Valores do coeficiente de proporcionalidade m para solos arenosos.

| SOLO ARGILOSO | CONSISTÊNCIA | SPT  | m (tf/m <sup>4</sup> ) |
|---------------|--------------|------|------------------------|
| Turfa         | Meio líquido | 0    | 25                     |
| Argila        | Muito mole   | 1    | 75                     |
| Argila        | Mole         | 3    | 150                    |
| Argila        | Média        | 6    | 300                    |
| Argila        | Rija         | 12   | 500                    |
| Argila        | Muito rija   | 22   | 700                    |
| Argila        | Dura         | > 30 | 900                    |

Tabela 14.4 – Valores do coeficiente de proporcionalidade m para solos argilosos.

A correlação do número de SPT com os coeficientes de proporcionalidade do solo tabelado pela norma russa precisa ser comprovada para o solo brasileiro. Existem algumas correlações para relacionar o NSPT com a capacidade de ruptura, mas em princípio, o autor (WALDEMAR TIETZ) desconhece método semi-empírico prático tal como ocorre para estacas axialmente carregadas como os métodos de AOKI-VELLOSO e DÉCOURT-QUARESMA.

Outra observação importante é que atualmente o SISEs não aborda todas as análises propostas por TIETZ para a determinação do coeficiente de recalque do solo CZ, sendo estes (largura efetiva, efeito de grupo, continuidade do solo, etc) incluídos posteriormente no sistema.

## Resumo dos Diversos Métodos

Abaixo é apresentada uma tabela resumindo os diversos métodos para cálculo do Coeficiente de Reação Horizontal com algumas características importantes de cada um, tais como: consideração de camadas, associação de camadas, grau de dependência do SPT, etc. Esta tabela tem o objetivo de auxiliar a seleção do método desejado e apresentar o número de variáveis a serem definidas na associação às camadas da sondagem.

| Método para cálculo do CRH | Tipo Solo           | Considera Diversas Camadas? | Associação Camada Sondagem pelo SPT | Associação Camada Sondagem pelo Titulo | Variáveis a definir por camada | Depen-dência do Método / SPT |
|----------------------------|---------------------|-----------------------------|-------------------------------------|--|--------------------------------|------------------------------|
| Tipo do Solo               | Argila Dura         | Sim                         | Não                                 | Sim                                    | K                              | Nenhum                       |
|                            | Areia Argilas moles | Sim                         | Não                                 | Sim                                    | nh                             | Nenhum                       |
| SPT/m                      | Argila Areia        | Sim                         | Sim                                 | Não                                    | ----                           | Total                        |