

DESENVOLVIMENTO DE SOFTWARE PARA CÁLCULO DE FUNDAÇÕES PROFUNDAS

WILLIAN RAFAEL SOARES¹
DANIEL AUGUSTO BATISTELLA²

RESUMO: A heterogeneidade do solo traz consigo incertezas a respeito de seu comportamento mecânico quando solicitado pela estrutura, para tanto, formulações teóricas e métodos semiempíricos foram elaborados com o intuito de prever a capacidade de carga de estacas e permitir o seu dimensionamento de modo seguro. A variação de profundidade, a estratigrafia assim como outros parâmetros do solo e das estacas tornam os métodos trabalhosos e pouco práticos. O avanço da informática permite o desenvolvimento de *softwares* que executem, de modo automático, os cálculos necessários às estimativas de capacidade de carga para diversas situações. O desenvolvimento do *software*, “Profundos – Fundações por estacas”, para o dimensionamento geotécnico de blocos rígidos sobre estacas cilíndricas a partir do Método de Schiel e a Regra de Feld, munido com diferentes tipos de estaca e com os métodos semiempíricos Aoki-Velloso, Décourt-Quaresma e Teixeira, estabelecem-no como uma ferramenta prática e didática tanto para estudantes como para profissionais da Construção Civil.

Palavras-chave: Fundações profundas. *Software*. Métodos semiempírico.

DEVELOPMENT OF A SOFTWARE FOR COMPARATIVE ANALYSIS OF DETAILED MATERIAL BUDGETS

ABSTRACT: Soil heterogeneity brings uncertainties about its mechanical behavior when requested by the structure, so theoretical formulations and semiempirical methods were elaborated in order to predict the load capacity of cuttings and allow their sizing in a safe way. Depth variation, stratigraphy as well as other soil and cutting parameters make the methods laborious and impractical. The advancement of information technology allows the development of *software* that automatically performs the calculations necessary for load capacity estimates for various situations. The development of the software, "Deep – Foundations by Piles", for the geotechnical dimensioning of rigid blocks on cylindrical piles from the Schiel Method and the Feld Rule, equipped with different types of cutting and with the semiempirical methods Aoki-Velloso, Décourt-Quaresma and Teixeira, makes it a practical and didactic tool for both students and civil construction professionals.

Keywords: Deep foundations. Software. Semiempirical methods.

¹ Acadêmico de Graduação, Curso de Engenharia Civil, UNIFASPE Centro Universitário, R. Carine, 11, Res. Florença, Sinop - MT. CEP: 78550-000. Endereço eletrônico: willian@athenassistemas.com.br

² Professor Bacharel em Engenharia Civil, Curso de Engenharia Civil, UNIFASPE Centro Universitário, R. Carine, 11, Res. Florença, Sinop - MT. CEP: 78550-000. Endereço eletrônico: danielbatistella@hotmail.com

1. INTRODUÇÃO

Atualmente, todas as edificações possuem fundações as quais ficam incumbidas da transmissão ao solo dos esforços provenientes de ações verticais e horizontais a que a estrutura está submetida. Na região de Sinop – MT, o solo é constituído predominantemente de latossolo vermelho – amarelo argiloso de consistência mole nas camadas superiores (SEMA – MT 2020), tornando essencial o uso de fundações profundas em suas construções, tal como fundações por estaca.

Segundo a Norma Brasileira -ABNT NBR 6122:2010 -, as estacas são elementos de fundações profundas produzidas inteiramente por equipamentos, sem que seja necessária a descida de pessoas para a execução em qualquer fase do processo. A transmissão desse tipo de fundação para o solo é feita através da base (resistência de ponta) bem como da superfície lateral (resistência de fuste) ou entre a combinação das duas.

As estacas são classificadas em diversos tipos. Velloso e Lopes (2012) destacam a separação de acordo com o efeito provocado no solo ao serem executadas, classificadas como “de deslocamento”; nessa categoria, estão inclusas as estacas cravadas e “de substituição”, sendo que, nesta última, encontram-se as estacas escavadas.

A Norma Brasileira - ABNT NBR 6122:2010 - determina que, para qualquer edificação, deve ser realizada uma campanha de investigação geotécnica preliminar, constituída por, no mínimo, sondagens à percussão, para determinar a estratigrafia e realizar a classificação dos solos que, em conformidade com a ABNT NBR 6502:1995, apresentam a posição do nível d’água e a medida do índice à penetração N_{SPT} , de acordo com a ABNT NBR 6484:2001.

Três métodos semiempíricos destacam-se na obtenção da capacidade de carga de estacas: Aoki Velloso (1975), Décourt-Quaresma (1978) e Teixeira (1996), os quais são utilizados em posse dos dados obtidos no ensaio *Standard Penetration Test* (SPT). O SPT é uma ferramenta comum e econômica de investigação geotécnica utilizada em todo o mundo. Ele serve como referência de densidade de solos granulares, é usado também na edificação de consistência de solos coesivos e de rochas brandas. No Brasil, empregam-se, frequentemente, os resultados de SPT em métodos para projetos de fundações diretas e profundas. Os resultados obtidos pelo método apresentam certa precisão, porém não são os mesmos, logo cabe ao projetista a escolha deste e considerações (SCHNAID; ODEBRECHT, 2009).

Quando são utilizadas duas ou mais estacas unidas em um bloco de fundação, estas apresentam comportamentos distintos de quando isoladas, possuem cargas diferentes se submetidas a momentos fletores provenientes dos carregamentos ou excentricidades, além de terem sua capacidade de carga reduzida, segundo o efeito de grupo. Para estes casos, podem ser empregados o Método de Schiel e a regra de Feld respectivamente.

Este trabalho objetivou desenvolver um *software* capaz de realizar o dimensionamento geotécnico de fundações por estacas, segundo a capacidade de carga, obtida por meio dos métodos semiempíricos Aoki Velloso, Décourt-Quaresma e Teixeira, de acordo com o método de Schiel e a regra de Feld, aceitos pela norma brasileira ABNT NBR 6122:2010.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Fundações por estacas

Fundações profundas são alternativas em solos de baixa resistência axial, onde a resistência necessária só é obtida em camadas inferiores do solo. Uma opção para tal tipo de solo é o emprego de estacas, as quais são elementos esbeltos de, pelo menos, três metros de comprimento, constituído por concreto, madeira ou aço. Sua interação com o solo dá-se por meio do atrito lateral e/ou da força normal à base.

2.2 Sondagens do Solo

O reconhecimento das condições do solo é pré-requisito para fundações seguras e econômicas. As sondagens constituem entre 0,2% a 0,5% do valor total de uma obra e as informações sobre a estratigrafia do subsolo e as propriedades geomecânicas de seus materiais são primordiais para o dimensionamento correto da infraestrutura de uma edificação.

2.2.1 Standard Penetration Test (SPT)

O SPT é o ensaio geotécnico mais utilizado no mundo, embora pobre em informações, é amplamente difundido, de fácil execução e de baixo custo. Tal ensaio é normatizado pela ABNT NBR 6484:2001 e é exigido como requisito mínimo na investigação geotécnica preliminar na norma de projeto e execução de fundações ABNT NBR 6122:2010.

Segundo Schnaid e Odebretch (2012, p.23), o ensaio SPT é constituído de uma medida de resistência dinâmica junto a uma sondagem de simples reconhecimento. O procedimento do ensaio consiste na cravação de um amostrador de 50 mm de diâmetro externo por meio da queda de um peso de 65 kg a uma altura de 75 cm. O valor N_{SPT} é o número de golpes necessários para a penetração de 30 cm após a cravação inicial de 15 cm. As amostras são coletadas a cada metro de profundidade pelo amostrador.

2.3 Bloco de Fundação

A norma brasileira ABNT NBR 6118:2014 define os blocos de fundação como estruturas de volume com a função de transmitir às estacas e aos tubulões as cargas de fundação.

Os blocos podem ter diversas geometrias, a variar de acordo com o número de estacas, que dependem dos esforços solicitantes do pilar em que se apoia sobre o bloco. A distribuição das cargas sobre as estacas pode variar de acordo com a rigidez do bloco, excentricidade da carga do pilar, excentricidade acidental de execução e momentos aplicados.

A definição de blocos rígidos, segundo a ABNT NBR 6118:2014, é análoga ao critério utilizado para sapatas rígidas, portanto, as dimensões do bloco devem satisfazer a equação abaixo:

$$h \geq \left(\frac{a - ap}{3} \right)$$

onde: h = altura do bloco;

a = maior distância entre as faces bloco;

ap = dimensão do pilar na mesma direção.

Para blocos rígidos, a fração da carga resistida por cada uma de suas estacas pode ser encontrada por meio do método do professor Schiel.

2.4 Método Schiel

O método do professor Schiel, segundo Alonso (1989), considera as seguintes hipóteses:

- Estacas são admitidas como hastes bi-rotuladas;
- O bloco de coroamento das estacas é infinitamente rígido, ou seja, suas deformações podem ser desprezadas diante da grandeza da deformação das estacas;
- O material da estaca idealizado obedece à lei de Hooke;
- As estacas possuem o mesmo comprimento e seção;
- As estacas são do mesmo material;
- A carga em cada estaca é proporcional à projeção do deslocamento do topo da estaca sobre o eixo desta, antes do deslocamento.

O método, por representar as estacas, segundo suas coordenadas e de utilizar cálculo matricial, é de fácil programação. Com sua manipulação e utilização dos eixos x e y, a partir do centroide do bloco como referência, obtém-se a seguinte equação:

$$R_i = \left(\frac{N}{n_e} - \frac{M_x \cdot Y_i}{\sum_1^{n_e} X_i^2} \right)$$

onde: R_i = Carga suportada pela estaca i ;

N = Carga vertical sobre o bloco, por convenção: para baixo positivo e para cima negativo;

n_e = Número de estacas no bloco M_x = Momento no eixo X;

Y_i = Coordenada Y do centroide da estaca i ;

M_y = Momento no eixo Y;

X_i = Coordenada X do centroide da estaca i .

2.5 Efeito de Grupo

Segundo a ABNT NBR 6122:2010, o efeito de grupo de estacas é o processo de interação dos elementos da fundação ao transmitirem ao solo as cargas que lhe são aplicadas. Esta interação acarreta uma superposição de tensões, de tal modo que o recalque do grupo seja, em geral, diferente daquele do elemento isolado.

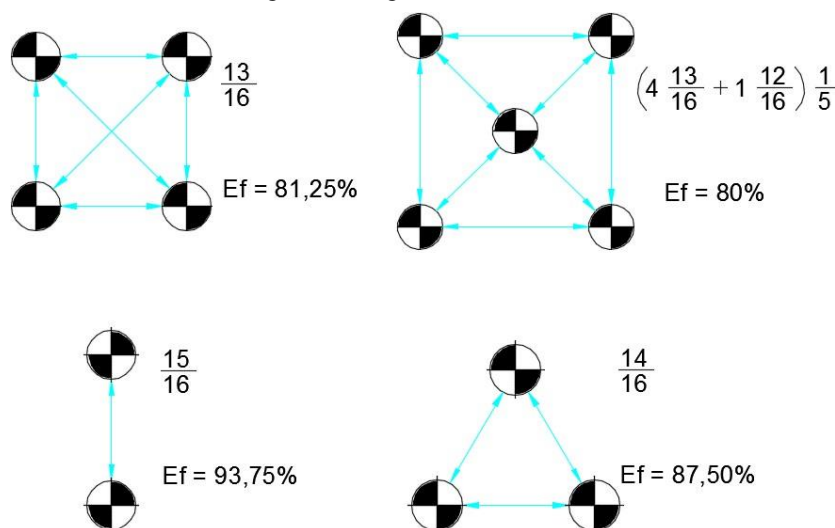
Decorrente deste efeito, para a satisfação da carga solicitante com um grupo de estacas, é necessário realizar a redução da sua capacidade de carga, considerando que essa redução, também chamada “eficiência”, é indispensável para assegurar que a capacidade do grupo seja maior ou igual à carga recebida pelo bloco.

2.1.1 Regra de Feld

Segundo Fernandes (2006), a Regra de Feld é o método mais prático para a verificação da eficiência de um grupo de estacas. A regra consiste na redução de 1/16 da carga da estaca para cada estaca vizinha na mesma fila ou diagonal. Quando se têm estacas com número de estacas vizinhas diferentes dentro do mesmo bloco, é necessário realização da média ponderada entre elas.

Na Figura 1, é demonstrada a aplicação da Regra de Feld para quatro geometrias diferentes de blocos, onde as setas indicam quais estacas relacionam-se como vizinhas.

Figura 1 - Regra de Feld



Fonte: FERNANDES (2006, p.5)

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Elaboração Do Software

O *software* foi elaborado inteiramente no ambiente de desenvolvimento integrado Visual Studio, o qual possui versão gratuita para *download* e dispõe da sintaxe de linguagem CSharp de programação em seu código-fonte.

A criação da interface foi realizada por meio da inserção de botões, textos e imagens com o intuito de facilitar a compreensão e utilização do *software*. Como demonstrado no fluxograma da Figura 3, foram criadas seis páginas de interação do código com o usuário.

Devido ao grande número de tabelas utilizados nos métodos semiempíricos, foi necessária a criação de uma página apenas para armazenamento das tabelas, que só pode ser acessada no modo de desenvolvimento do *software*.

Com a interface pré-definida, os elementos foram configurados de acordo com a proposta de trabalho e de modo a evitar possíveis erros que comprometeriam a execução do programa, como a limitação de campos alfanuméricos a numéricos, os quais, se preenchidos com caracteres alfabéticos, gerariam erros fatais de execução devido à realização de operações matemáticas.

Já com a interface estabelecida, foram configurados roteiros de cálculos com variáveis criadas dentro do próprio programa e os elementos da interface foram vinculados ao código.

3.2 Adaptações dos Métodos Semiempíricos

Foram tomadas, como base para a elaboração do *software*, os tipos de solo calibrados para o método Aoki-Velloso e 11 tipos de estacas. Devido à ausência de parâmetros

para todos os tipos de estacas e solos empregados no programa de métodos semiempíricos, algumas adaptações foram necessárias para englobá-los.

Os valores originais de F_1 e F_2 do método Aoki-Velloso (1975), (Tabela 1 em anexo no apêndice), foram expandidos de modo semelhante às adaptações propostas por Ferreira, Delalibera e Da Silva (2014).

Para o método Décourt-Quaresma, também foram necessárias expansões dos valores do coeficiente C contidos na Tabela 2 em anexo no apêndice, do fator α para as Tabelas 3 e 4 (anexas em apêndice) e do fator β para os valores presentes nas Tabelas 5 e 6 (anexas em apêndice). Para as estacas de substituição, as expansões foram realizadas segundo os valores originais do método; já para as estacas de deslocamento, que não possuem valores calibrados na metodologia de 1978, foram inseridos valores propostos por Décourt (1996).

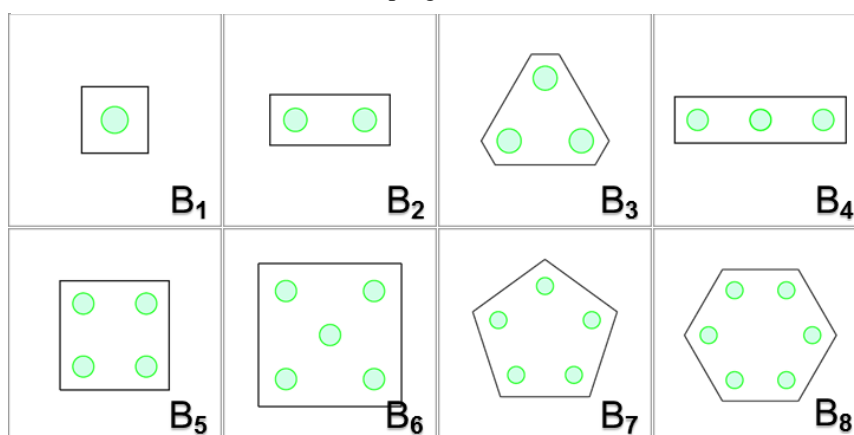
Devido à variação dos valores de N_I (índice de resistência à penetração da camada) de acordo com o efeito da estaca no solo, foi criada a Tabela 7 (anexa em apêndice).

Para o método Teixeira (1996), foram adaptados os valores do parâmetro α , conforme a interpolação linear realizada por Ferreira, Delalibera e Da Silva (2014), para contemplar todos os tipos de estacas e solos presentes no programa e não descritos pelo autor em seu método (Tabelas 6 anexo em apêndice); também foi retirado o tipo de solo “Areia com pedregulhos”, pois este não é apresentado pelos autores dos outros métodos e também não havia, em seus métodos, solo com característica semelhante. Já os valores do parâmetro β foram expandidos de modo a facilitar seu emprego no programa, o que gerou a Tabela 7.

3.3 Blocos de Fundação

Limitado a blocos rígidos, optou-se pela utilização do Método de Schiel para a determinação das solicitações nas estacas. Foram selecionadas para o programa, geometrias diferentes para blocos de fundação, de modo a empregar até seis estacas (Figura 2). Para estes, foi analisado o efeito em grupo das estacas de modo simplificado, segundo a regra de Feld e, para tal, originou-se a Tabela 8 (anexo em apêndice), com a eficiência de cada um dos blocos.

Figura 2 - Geometrias dos blocos de acordo com a regra de Feld empregadas no programa



Fonte: Imagem de elaboração própria (2020).

As coordenadas de cada uma das estacas são obtidas mediante as relações geométricas seno e cosseno com a soma do ângulo na posição inicial (Tabela 9 anexa em apêndice) de cada estaca (Figura 2) com a rotação do bloco inserida pelo usuário multiplicado pelo seu raio, o qual é obtido de acordo com os diâmetros das estacas (Tabela 10 anexa em apêndice).

3.4 Determinação da Profundidade das Estacas

Mediante o método adotado, de suas variáveis e dos parâmetros do solo, são obtidas suas resistências de ponta e lateral acumuladas em cada uma das camadas do solo. Com estes valores, o programa cria uma matriz com os valores de compressão resistente na camada (Equação 1) e de tração resistente na camada (Equação 2) da qual, segundo a recomendação de Poulos e Davis (1980), devem-se considerar apenas dois terços de seu valor calculado. Nesta matriz, também são incluídos os valores de resistência das estacas de cada bloco penalizadas conforme sua eficiência, tanto para tração quanto para compressão, conforme Equações 3 e 4 respectivamente.

$$R_c = R_l + R_p \quad (1)$$

onde: R_c = Resistência Admissível à compressão na camada;

R_p = Resistência de Ponta na camada;

R_l = Resistência Lateral na camada.

$$R_t = \frac{2}{3} \cdot R_l \quad (2)$$

onde: R_t = Resistência Admissível à tração na camada;

$$R_{tBi} = R_t \cdot E_{fBi} \quad (3)$$

onde: R_{tBi} = Resistência Individual das estacas do Bloco i à tração;

E_{fBi} = Eficiência das Estacas do Bloco i devido ao efeito de grupo;

$$R_{cBi} = R_c \cdot E_{fBi} \quad (4)$$

onde: R_{cBi} = Resistência Individual das estacas do Bloco i à compressão;

Através das coordenadas do centroide de cada estaca dos blocos, são obtidos valores de suas reações, conforme a equação de Schiel; em posse das reações, são identificados os seus valores máximo e mínimo.

Por meio da matriz de capacidade de carga, o programa busca qual a profundidade necessária para a satisfação das solicitações nas estacas do bloco tanto para a máxima quanto para a mínima reação, devido à possível ocorrência de tração nas estacas, retornando à maior profundidade entre estas.

Na Figura 3, é demonstrado o fluxograma de funcionamento do programa.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Como resultado do estudo deste trabalho, obteve-se o software “Profundos – Fundações por estacas”, o qual possibilita a comparação entre os métodos semiempíricos de capacidade de carga de estacas, Aoki-Velloso, Décourt-Quaresma e Teixeira, e a aplicação dos mesmos para a escolha do bloco de fundação e a profundidade das estacas que satisfaça as solicitações inseridas pelo usuário do *software*.

A tela inicial do software (Figura 4) tem a função de apresentar a logo do programa e creditar o autor e o orientador deste trabalho.

Figura 4: Tela inicial do software



Fonte: Própria (2020).

Na tela seguinte (Figura 5) o programa recebe os tipos de solo e valores de NSPT de cada camada, foram inseridos 15 tipos de solos e a profundidade foi limitada a 40 metros.

Figura 5: Tela com informações de solo e NSPT

NSPT

Nível d'água

Profundidade:

Profundidade (m)	NSPT	Tipo de Solo
1	3,0	Areia
2	4,0	Areia siltosa
3	5,0	Areia siltoargilosa
4	6,0	Areia argilosa
5	7,0	Areia argilossiltosa
6	8,0	Silte
7	9,0	Silte arenoso
8	10,0	Silte arenoargiloso
9	12,0	Silte argiloso
10	15,0	Silte argiloarenoso
11	20,0	Argila
12	25,0	Argila arenosa
13	26,0	Argila arenossiltosa
14	28,0	Argila siltosa
15	30,0	Argila siltoarenosa
16	0,0	Silte arenoargiloso
17	0,0	Silte argiloso
18	0,0	Silte argiloarenoso
19	0,0	Argila
20	0,0	Argila arenosa
21	0,0	Argila arenossiltosa
22	0,0	Argila siltosa
23	0,0	Argila siltoarenosa
24	0,0	

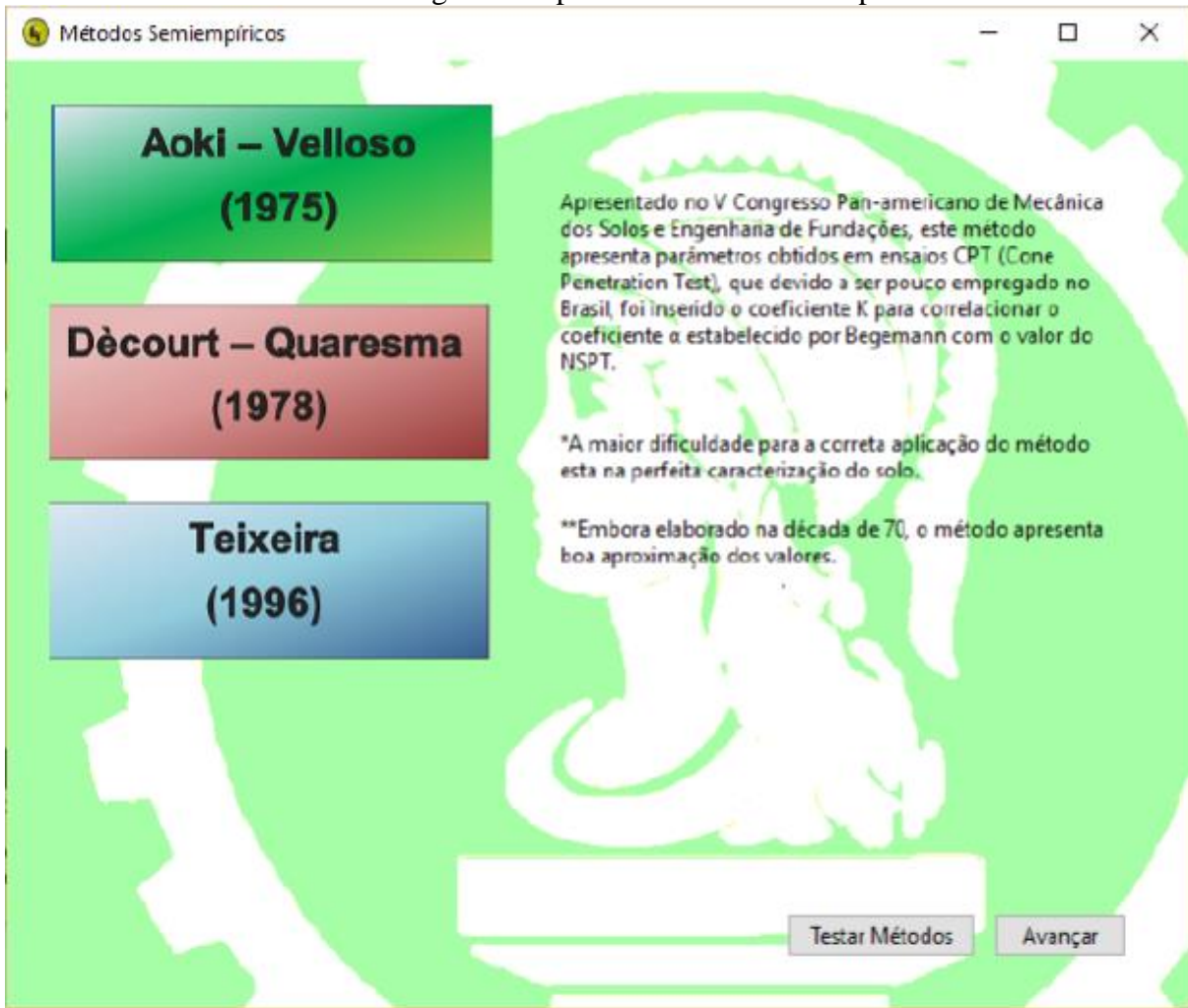
O SPT é o ensaio geotécnico mais utilizado no mundo, embora pobre em informações, é amplamente difundido, de fácil execução e de baixo custo. Tal ensaio é normatizado pela ABNT NBR 6484:2001 e é exigido como requisito mínimo na investigação geotécnica preliminar na norma de projeto e execução de fundações ABNT NBR 6122:2010.

Avançar

Fonte: Própria (2020).

A tela seguinte (Figura 6) define qual o tipo de método semiempírico que será utilizado bem como a opção de “Testar Métodos”, que possui a finalidade de testar métodos semiempíricos, diferentes tipos de estacas, diâmetro, entre outros parâmetros para os valores de NSPT e tipo de solo preenchido na página ilustrada (Figura 7).

Figura 6: Tipos de métodos semiempíricos



Fonte: Própria (2020).

Figura 7: Teste de valores entre métodos semiempíricos

Métodos Semiempíricos

Método Semiempírico: Teixeira (1996)
 Tipo de estaca: Franki

Resistência Lateral: 100,00 %
 Resistência de ponta: 50,00 %
 Coeficiente de Segurança: 1,00

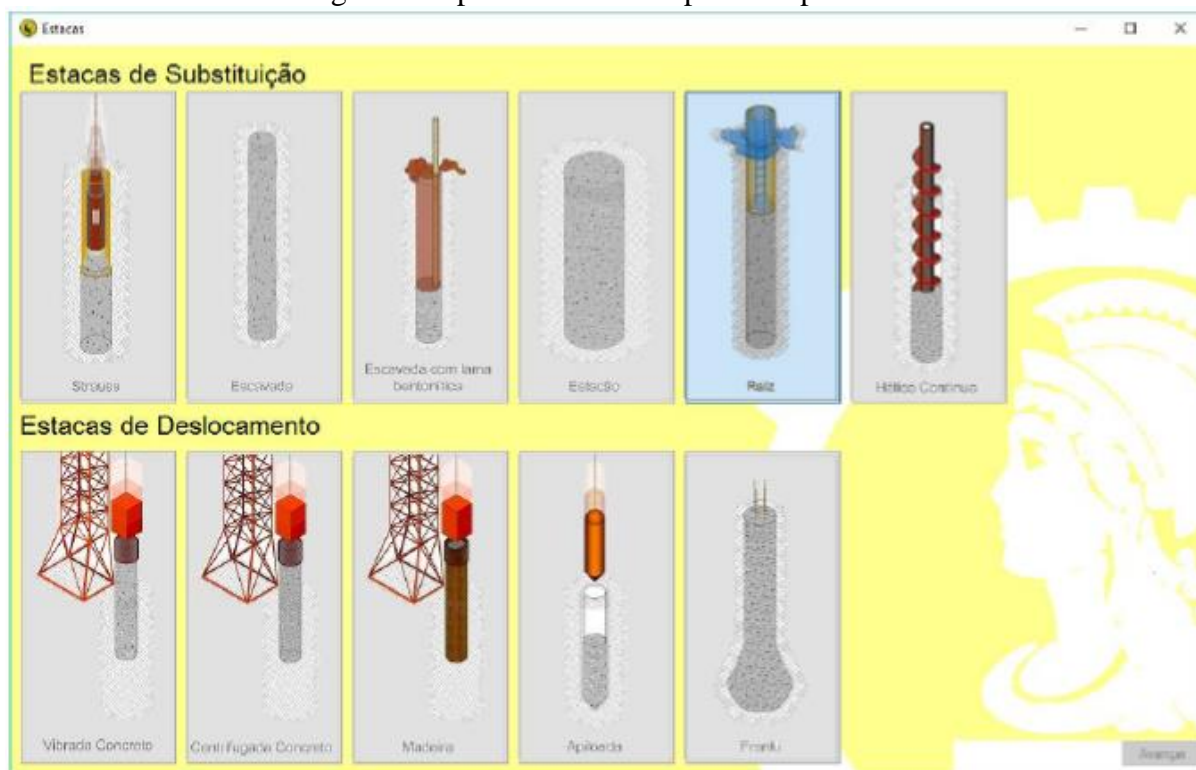
Diâmetros de Fuste: 20,00 cm
 Diâmetros de ponta: 30,00 cm

Profundidade	Nspt	Solo	NspTeixeira	Nspt Acumulado	Ni	α	β	Np	RP	RL	RL Acumulada	R Compressão	R Tração
1	3	Areia	4	4	4	340	5	4	96,08	12,56	12,56	60,6	8,37
2	4	Areia siltosa	4	8	4	300	5	4	84,78	12,56	25,12	67,51	16,75
3	5	Areia siltoosa	5	13	4,33	270	5	5	95,38	13,61	38,73	86,42	25,82
4	6	Areia argilosa	6	19	4,75	240	5	6	101,74	14,92	53,64	104,51	33,76
5	7	Areia argilosa	7	26	5,2	270	5	7	133,53	16,33	69,97	136,73	46,65
6	8	Silte	8	34	5,66	120	5	8	67,82	17,79	87,76	121,68	58,51
7	9	Silte arenoso	9	43	6,14	210	5	9	133,53	19,29	107,05	173,82	71,37
8	10	Silte arenoso	10	53	6,62	165	5	10	116,57	20,8	127,85	186,14	85,24
9	12	Silte argiloso	12	65	7,22	120	5	12	101,74	22,68	150,53	201,4	100,35
10	15	Silte argiloso	15	80	8	165	5	15	174,86	25,12	175,65	263,08	117,1
11	20	Argila	20	100	9,09	100	5	20	141,3	28,55	204,2	274,85	136,13
12	25	Argila areno	25	125	10,4	160	5	25	282,6	32,71	236,91	378,21	157,94
13	26	Argila areno	26	151	11,6	130	5	26	238,8	36,47	273,38	392,78	182,25
14	28	Argila siltosa	28	179	12,7	100	5	28	197,82	40,15	313,53	412,44	209,02
15	30	Argila siltosa	30	209	13,9	130	5	30	275,54	43,75	357,28	495,04	238,18
16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Fonte: Própria (2020).

Ao pressionar o botão avançar na tela de escolha de métodos (Figura 6), abre-se uma nova página (Figura 8) para a escolha do tipo de estaca a ser utilizado a partir de botões ilustrados com esquematizações dos tipos de estacas adotados no trabalho.

Figura 8: Tipos de estacas disponíveis para uso no software

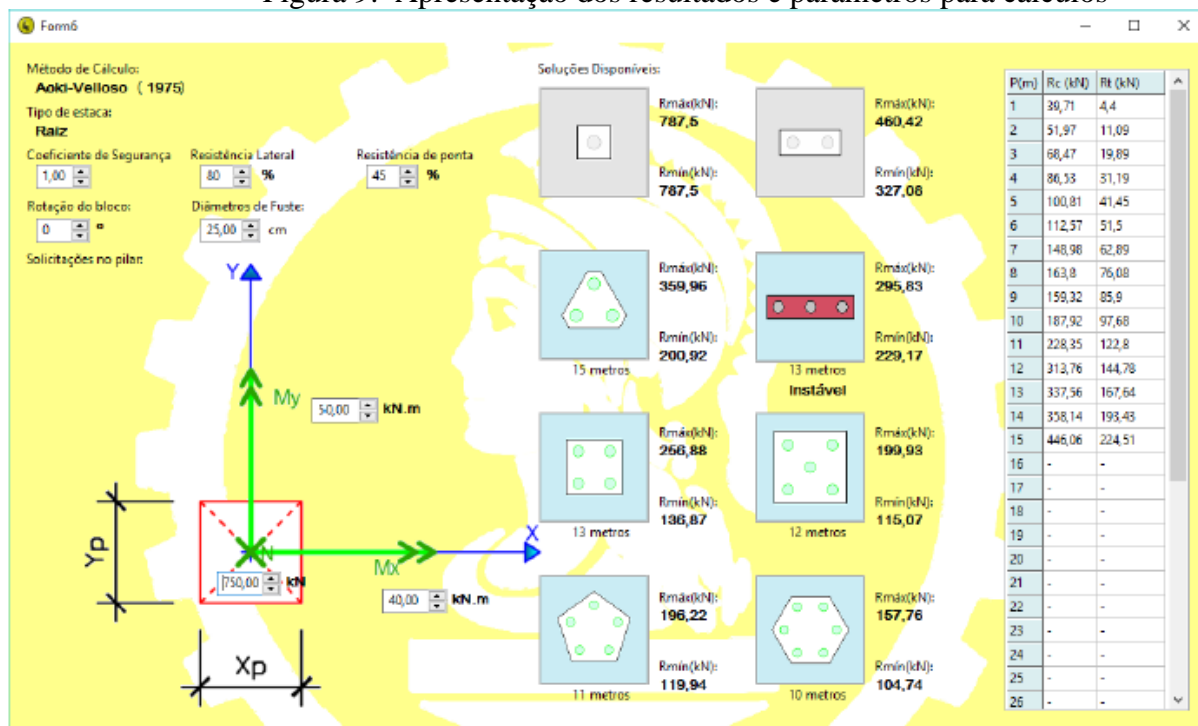


Fonte: Própria (2020).

Ao selecionar um dos botões ilustrados nesta tela (Figura 8), o botão do canto inferior direito é desbloqueado e ao pressioná-lo a última tela é aberta (Figura 9), nesta tela é possível alterar o coeficiente de segurança, a porcentagem de resistência lateral e de ponta, a rotação do bloco a partir da posição inicial e diâmetro das estacas. Além destes parâmetros utilizados para a determinação da capacidade de carga, o usuário também fornece solicitações às quais o pilar está submetido e o programa retorna ao lado direito da tela possíveis soluções que satisfaçam as solicitações inseridas, juntamente com a máxima e a mínima reação sobre a estaca de cada bloco.

As soluções que o software retorna consideram o efeito de grupo e a equação de Schiel para a determinação das reações dos blocos.

Figura 9: Apresentação dos resultados e parâmetros para cálculos



Fonte: Própria (2020).

Para o desenvolvimento do *software*, foi necessário um estudo bem específico para implementar algumas funcionalidades. O estudo foi realizado por meio de fóruns de discussões em que programadores expuseram informações sobre o uso de determinadas funcionalidades.

Também foi necessário um estudo aprofundado sobre fundações, mais especificamente nos tipos de literaturas usadas para este trabalho, para que pudesse ser realizado um levantamento de requisitos de forma objetiva.

Em um primeiro momento, o resultado obtido foi, de certa forma, satisfatório; porém sem dar suporte à comparação entre resultados de diferentes metodologias de cálculo. Então, para que o *software* pudesse atender os requisitos, foi elaborada uma forma de configurar quais os tipos de cálculo poderiam ser realizados, observando-se a possibilidade de calcular usando mais de uma metodologia ou fazer a análise comparativa entre os resultados obtidos. Desta forma, foi possível obter resultados de diferentes metodologias e uma comparação entre os resultados alcançados.

5. CONCLUSÃO

Levando em consideração o cenário do mercado atual em que o dinamismo e velocidade na realização de tarefas são exigidas, a utilização de um sistema capaz de realizar as tarefas mais repetitivas que demandam tempo, torna-se de grande valia, uma vez que, com os dados de SPT e tipo de metodologia de cálculo inserido no sistema, os resultados de blocos de estacas e tipos de agrupamentos serão obtidos de forma automática. Isso possibilita a apresentação do projeto de forma mais rápida e com resultados mais confiáveis.

O *software* realizou os cálculos necessários em um período muito breve, apresentando aumento do tempo de execução da tarefa apenas no momento de fazer a

comparação entre resultados de metodologias diferentes. Essa condição pode, efetivamente, auxiliar o engenheiro calculista ou acadêmico a chegar a diferentes resultados em segundos apenas, favorecendo que realize análises mais aprofundadas sobre cada metodologia de forma mais objetiva.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AOKI, N. & VELLOSO, D. A. **An proximate method to estimative the bearing capacity of pile**. In: Pan American V – P.C.S.M.F.E., Buenos Aires, Proceedings. Vol. 1, p. 367 – 376. 1979.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118**: Projeto de estruturas de concreto - Procedimento. Rio de Janeiro, 2014.

ALONSO, Urbano Rodriguez. **Dimensionamento de fundações profundas**. São Paulo: Editora Edgard Blucher, 1989.

CINTRA, J. C. A. & AOKI, N. **Fundações por estacas**: projeto geotécnico. São Paulo: Oficina de textos, 2010.

DÉCOURT, L. & QUARESMA, A. R. **Capacidade de carga de estacas a partir de valores de SPT**. In: VI COBRAMSEF – Rio de Janeiro, 1978.

DÉCOURT, L.; ALBIERO, J. H. & CINTRA, J. C. A. **Análise e projeto de fundações profundas**. HACHICH, W.; FALCONI, FF; SAES, JL; FROTA, RGQ, (eds), Editora PINI Ltda, São Paulo, SP, 265-327, 1996

FERNANDES, G.B. **Fundações em estacas**, Notas de aula do curso de EC 802 da Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, UNICAMP. Campinas, 2006.

FERREIRA, C. V.; ALBIERO, J. H.; LOBO, A. da S. & CARVALHO, D. **Correlações entre atrito lateral medido e, provas de carga, em estacas apiloadas, instrumentadas e resultados de ensaios SPT-T e CPT**, Solos e Rochas, São Paulo, 1998.

FERREIRA, T. R.; DELALIBERA, R. G. & SILVA, W. A. da. **Rotina computacional para a previsão da capacidade de cargas em estacas**. REEC, Goiás, v. 8, n. 3, p. 38-50, jun. 2014.

FREEDMAN, G.; METTEM, C.; LARSEN, P.; EDWARDS, S.; REYNOLDS, T. & ENJILY, V. **Timber Bridges and Foundations**: a report produced for the Forestry Commission. 2002

GONÇALVES, R. L. **Estudo do comportamento de estacas apiloadas em solo colapsível da região de Londrina, Pr.** Dissertação (Mestrado em Engenharia de Edificações e Saneamento) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2006.

HACHICH, W.; FALCONI, F. F.; SAES, J. L.; FROTA, R. G. Q.; CARVALHO, C. S. & NIYAMA, S. **Fundações: teoria e prática.** 2. ed. São Paulo: Pini, 1998.

POULOS, H. G. & DAVIS, E. H. **Pile foundation analysis and design.** Sydney: Rainbow-Bridge Book Co. 1980.

SCHNAID, F. & ODEBRECHT, E. **Ensaio de campo e suas aplicações à Engenharia de Fundações.** 2. ed. São Paulo: Oficina de textos, 2012.

STRAUB, H. **A History Of Civil Engineering; An Outline From Ancient To Modern Times.** Cambridge: The M.I.T. Press, 1964.

TEIXEIRA, A. H. **Projeto de execução de fundações.** SEFE, 3, São Paulo, vol. 1. 1996.

TSCHEBOTARIOFF, G. P. **Fundações, estruturas de arrimo e obras de terra: a arte de construir e suas bases científicas na mecânica dos solos.** 1. ed. São Paulo: Mc Graw-Hill do Brasil, 1978.

VELLOSO, D. A. & LOPES, F. L. **Fundações: critérios de projeto, investigação do subsolo, fundações superficiais, fundações profundas.** São Paulo, Oficina de Textos, 2010.

APÊNDICE – TABELAS DE ADAPTAÇÕES DO MÉTODOS SEMIEMPÍRICOS

Tabela 1 - Fatores de correção F1 e F2 adaptados para o método Aoki-Velloso (1975)

Tipos de Estaca	F1	F2
Franki e Apilolada	2,50	2F1
Madeira, Vibrada Concreto e Centrifugada Concreto	1 + D/0,80	2F1
Escavada, Escavada com Lama Bentonítica, Estação e Strauss	3,00	2F1
Raiz, Hélice contínua	2,00	2F1

Fonte: CINTRA e AOKI (2010, p.26)

Tabela 2 - Valores adaptados de C para o método Décourt-Quaresma

Tipo de solo	C (kN/m²)
Areia	400
Areia argilosa	400
Areia argilossiltosa	400
Areia siltoargilosa	400
Areia siltosa	400
Argila	120
Argila arenosa	120
Argila arenossiltosa	120
Argila siltoarenosa	120
Argila siltosa	120
Silte	200
Silte arenoargiloso	250
Silte arenoso	250
Silte argiloarenoso	200
Silte argiloso	200

Fonte: SCHNAID (2000, p.35)

Tabela 3 - Fator α adaptado para o método Décourt-Quaresma, parte 1

Tipo de Estaca	Tipo de solo							
	Areia	Areia argilosa	Areia argilossiltosa	Areia siltoargilosa	Areia siltosa	Argila	Argila arenosa	Argila arenossiltosa
Escavada com lama bentonítica	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,85	0,85	0,85
Escavada	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,85	0,85	0,85
Estacão	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,85	0,85	0,85
Apiloadas	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Franki	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Hélice contínua	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30
Vibrada Concreto	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Centrifugada Concreto	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Madeira	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Raiz	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,85	0,85	0,85
Strauss	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,85	0,85	0,85

Fonte: CINTRA e AOKI (2010, p.28)

Tabela 3 - Fator α adaptado para o método Décourt-Quaresma, parte 2

Tipo de Estaca	Tipo de solo						
	Argila siltoarenosa	Argila siltosa	Silte	Silte arenoargiloso	Silte arenoso	Silte argiloarenoso	Silte argiloso
Escavada com lama bentonítica	0,85	0,85	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60
Escavada	0,85	0,85	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60
Estacão	0,85	0,85	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60
Apiloadas	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Franki	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Hélice contínua	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30
Vibrada Concreto	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Centrifugada Concreto	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Madeira	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Raiz	0,85	0,85	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60
Strauss	0,85	0,85	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60

Fonte: CINTRA e AOKI (2010, p.28)

Tabela 4 - Fator β adaptado para o método Décourt-Quaresma, parte 1

Tipo de Estaca	Tipo de solo							
	Areia	Areia argilosa	Areia argilossiltosa	Areia siltoargilosa	Areia siltosa	Argila	Argila arenosa	Argila arenossiltosa
Escavada com lama bentonítica	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,90	0,90	0,90
Escavada	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,80	0,80	0,80
Estacão	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,80	0,80	0,80
Apiloadas	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Franki	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Hélice contínua	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Vibrada	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Concreto	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Centrifugada	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Concreto	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Madeira	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Raiz	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50
Strauss	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,80	0,80	0,80

Fonte: CINTRA e AOKI (2010, p.28)

Tabela 1 - Fator β adaptado para o método Décourt-Quaresma, parte 2

Tipo de Estaca	Tipo de solo						
	Argila siltoarenosa	Argila siltosa	Silte	Silte arenoargiloso	Silte arenoso	Silte argiloarenoso	Silte argiloso
Escavada com lama bentonítica	0,90	0,90	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
Escavada	0,80	0,80	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65
Estacão	0,80	0,80	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65
Apiloadas	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Franki	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Hélice contínua	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Vibrada	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Concreto	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Centrifugada	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Concreto	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Madeira	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Raiz	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50
Strauss	0,80	0,80	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65

Fonte: CINTRA e AOKI (2010, p.28)

Tabela 5 - Valores de N_L para o método Décourt-Quaresma

Tipo de Estaca	N_L max
Escavada com lama bentonítica	50
Escavada	15
Estacão	15
Apiloadas	50
Franki	50
Hélice contínua	15
Vibrada Concreto	50
Centrifugada Concreto	50
Madeira	50
Raiz	15
Strauss	15

Fonte: CINTRA e AOKI (2010, p.30)

Tabela 6 - Parâmetro α adaptado para o método Teixeira (1996) - parte 1

Solo	Tipo de estaca				
	Vibrada Concreto	Centrifugada Concreto	Madeira	Strauss	Escavada com lama bentonítica
Areia	400	400	400	270	270
Areia siltosa	360	360	360	240	240
Areia siltoargilosa	330	330	330	220	220
Areia argilosa	300	300	300	200	200
Areia argilossiltosa	330	330	330	220	220
Silte	160	160	160	110	110
Silte arenoso	260	260	260	160	160
Silte arenoargiloso	210	210	210	135	135
Silte argiloso	160	160	160	110	110
Silte argiloarenoso	210	210	210	135	135
Argila	110	110	110	100	100
Argila arenosa	210	210	210	130	130
Argila arenossiltosa	160	160	160	115	115
Argila siltosa	110	110	110	100	100
Argila siltoarenosa	160	160	160	115	115

Fonte: CINTRA e AOKI (2010, p.30)

Tabela 6 - Parâmetro α adaptado para o método Teixeira (1996) - parte 2

Solo	Tipo de Estaca					
	Escavada	Estacão	Hélice contínua	Apiloadada	Franki	Raiz
Areia	270	270	270	340	340	260
Areia siltosa	240	240	240	300	300	220
Areia siltoargilosa	220	220	220	270	270	205
Areia argilosa	200	200	200	240	240	190
Areia argilossiltosa	220	220	220	270	270	205
Silte	110	110	110	120	120	110
Silte arenoso	160	160	160	210	210	160
Silte arenoargiloso	135	135	135	165	165	135
Silte argiloso	110	110	110	120	120	110
Silte argiloarenoso	135	135	135	165	165	135
Argila	100	100	100	100	100	100
Argila arenosa	130	130	130	160	160	140
Argila arenossiltosa	115	115	115	130	130	120
Argila siltosa	100	100	100	100	100	100
Argila siltoarenosa	115	115	115	130	130	120

Fonte: CINTRA e AOKI (2010, p.32)

Tabela 7 - Parâmetro β adaptado para o método Teixeira (1996)

Tipo de Estaca	β (kPa)
Vibrada Concreto	4
Centrifugada Concreto	4
Madeira	4
Strauss	4
Escavada com lama bentonítica	4
Escavada	4
Estacão	4
Hélice contínua	4
Apiloadada	5
Franki	5
Raiz	6

Fonte: CINTRA e AOKI (2010, p.32)

Tabela 8 - Eficiência dos blocos, segundo a regra de Feld

Bloco	Eficiência
B ₁	100,00%
B ₂	93,75%
B ₃	87,50%
B ₄	91,67%
B ₅	81,25%
B ₆	80,00%
B ₇	87,50%
B ₈	87,50%

Fonte: CINTRA e AOKI (2010, p.34)

Tabela 9 - Ângulos na posição zero de cada bloco

Blocos	Estacas					
	1	2	3	4	5	6
B1	Fixo	-	-	-	-	-
B2	0	180	-	-	-	-
B3	90	210	270	-	-	-
B4	180	Fixo	0	-	-	-
B5	45	135	225	315	-	-
B6	45	135	fixo	225	315	-
B7	18	90	162	234	306	-
B8	0	60	120	180	240	300

Fonte: CINTRA e AOKI (2010, p.35)

Tabela 10 - Raios em função do diâmetro "D" da estaca

Blocos	Estacas					
	1	2	3	4	5	6
B1	0	-	-	-	-	-
B2	1,5.D	1,5.D	-	-	-	-
B3	1,73205081.D	1,73205081.D	1,73205081.D	-	-	-
B4	3.D	0	3.D	-	-	-
B5	2,12132034.D	2,12132034.D	2,12132034.D	2,12132034.D	-	-
B6	3.D	3.D	0	3.D	3.D	-
B7	2,55195243.D	2,55195243 D	2,55195243.D	2,55195243.D	2,55195243.D	-
B8	3.D	3.D	3.D	3.D	3.D	3.D

Fonte: CINTRA e AOKI (2010, p.38)