

SOFTWARE PARA PRÉ-DIMENSIONAMENTO DE ESTACAS PRÉ-MOLDADAS EM CONCRETO

ANDERSON SROCZYNSKI ZACCHI¹
WESLEY SILVA OLIVEIRA²

RESUMO

As fundações têm por função resistir as cargas provenientes da superestrutura e transmiti-las ao solo, constata-se que o solo apresenta características variadas dentro de um mesmo setor dificultando que sua resistência seja estimada. Desta forma o desenvolvimento de um software que otimize e dimensione estacas pré-moldadas, através de boletins de sondagem SPT, e forneça como resultados, a quantidade de estacas por bloco e a capacidade de carga da interação estaca-solo é vista com bons olhos por parte dos projetistas. Para se atingir os parâmetros propostos de se pré-dimensionar estacas pré-moldadas de concreto e a capacidade de carga no solo, são introduzidos na rotina de cálculo do software os métodos semi-empíricos de capacidade de carga para fundações profundas, Aoki-Velloso e Décourt-Quaresma. A variação de profundidade e outros parâmetros do solo e das estacas tornam estes métodos trabalhosos e pouco práticos. Sendo assim o objetivo do trabalho é realizar por meio da linguagem de programação Delphi se formular um algoritmo para resolução destes cálculos, tornando esta uma ferramenta prática, eficiente e confiável para profissionais da área de engenharia de fundações profundas. Desta forma os valores apresentados pelo software condizem com os aferidos de forma manualmente.

Palavras-chave: Concreto, Estacas, Fundações, Semi-empírico, Software.

SOFTWARE FOR DIMENSIONING PRECAST CONCRETE PILES ABSTRACT

Foundations have the function of resisting loads from the superstructure and transmitting them to the soil, it appears that the soil presents varied characteristics within the same sector, making it difficult to estimate its resistance. In this way, the development of software that optimizes and sizes precast piles, through SPT drilling reports, and provides as a result, the number of piles per block and the load capacity of the pile-soil interaction is viewed with good eyes by part of the designers. In order to reach the proposed parameters of pre-dimensioning precast concrete piles and the load capacity in the soil, the semi-empirical methods of load capacity for deep foundations, Aoki-Velloso and Décourt-Quaresma. The variation in depth and other soil and pile parameters make these methods laborious and impractical. Thus, the objective of the work is to use the Delphi programming language to formulate an algorithm to solve these calculations, making this a practical, efficient and reliable tool for professionals in the field of deep foundation engineering. In this way, the values presented by the software match those measured manually.

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

² Professor especialista em segurança do trabalho, Curso de Engenharia Civil, UNIFASPE Centro Universitário, R. Carine, 11, Res. Florença, Sinop - MT. CEP: 78550-000. Endereço eletrônico: wesley_s14@hotmail.com.br

Keywords: Concrete, Piles, Foundations, Semi-empirical, Software.

1. INTRODUÇÃO

Com o aumento da população e a presença cada vez maior do acúmulo de pessoas nos centros urbanos, a verticalização das edificações se torna uma maneira de sanar o problema de espaço nas grandes metrópoles.

Diante disso, Alves (2014) aponta que em obras de grande porte a solução mais viável são fundações do tipo estaca, sendo estas encarregadas de transmitir tensões até as camadas mais a fundo do solo. Fundações tipo estaca já eram utilizadas a vários séculos, principalmente em obras de grande porte, como, catedrais, torres, dentre outros (TERZAGUI; PECK; MESRI, 1996).

É fato se dizer que na Engenharia Civil, a especialidade de fundações, é a que necessita maior experiência, na forma de que o profissional já tenha projetado e executado várias fundações, de diversos tipos e condições (VELLOSO; LOPES, 2010, p. 2). Sendo assim a escolha do tipo de fundação certa a ser empregada na edificação projetada é de suma importância, passando primeiramente por uma análise das características do solo, juntamente com o levantamento de cargas atuantes que serão transmitidas para a subestrutura.

Para a realização do dimensionamento de fundações profundas tipo estacas, diversos coeficientes necessitam ser considerados, seja pelos tipos de solo, como pelo tipo de fundação. Estes coeficientes, quando solicitados pelo cálculo são designados automaticamente pelo algoritmo, trazendo facilidade e rapidez na hora do dimensionamento. Posteriormente a toda essa análise se possibilita a escolha do tipo e diâmetro de fundação mais produtiva, com melhor custo benefício.

Com o avanço tecnológico, as soluções computacionais têm cada vez mais auxiliado engenheiros na análise de modelos estruturais, otimizando e proporcionando assim, uma maior comodidade para que o profissional não dependa de roteiros de cálculos extensos. Baseando-se em trabalhos da área como: Ferreira, Delalibera e Silva (2014), Costa, Moro e Baroni (2015) e Pedreira e Pacheco (2016) pode-se tomar como base a estrutura de linguagem para a realização do software.

É sabido da dificuldade de um projeto de dimensionamento de fundações profundas, desta maneira um trabalho que tem como objetivo o desenvolvimento de um software que realize este dimensionamento de forma gratuita e eficiente proporciona tanto a engenheiros mais experientes, como, engenheiros recém-formados que não dispõem de condições de adquirirem softwares mais completos do mercado, uma maior competitividade no mercado.

2. REVISÃO DE LITERATURA

Por mais rudimentar que seja, toda construção necessita de componentes estruturais com o papel disseminar as cargas da superestrutura para o solo. Estes elementos são denominados fundações, que são comumente divididas em fundações diretas ou rasas, e fundações profundas (VELLOSO; LOPES, 1998, p. 212).

A escolha do modelo de fundação a ser empregue depende, basicamente das características de resistência do solo, mas, condições como o custo e o prazo de execução são igualmente relevantes para a escolha do tipo mais adequado para a situação (VELLOSO; LOPES, 1998).

2.1 Fundações Profundas

Desde a pré-história se tem indícios que foram feitas construções com o emprego de fundações realizadas por estacas, como a construção de palafitas (VELLOSO; LOPES, 2010).

Segundo Staub (1964) já demonstra a utilização de estacas no passado, e se orientava para que se não fosse encontrado terreno com estabilidade necessária para o apoio da estrutura, sendo o mesmo pantanoso, o local fosse limpo e escavado, e que as estacas a serem inseridas deveriam receber um tratamento breve, sendo chamuscadas e posteriormente cravadas no solo e os vazios entre estacas sendo preenchidos com cinzas.

Segundo Costet e Sanglerat (1969) as primeiras fundações profundas confeccionadas em concreto armado foram utilizadas por Hennebique, em 1897, na construção das usinas Badcock-Wilcox.

Segundo NBR 6122 (2010) são caracterizadas fundações profundas aquelas que disseminam a carga ao solo pela base (sendo por resistência de ponta), ou por sua área lateral (resistência de fuste) ou também pela combinação das duas, e que esta esteja em profundidade maior que o dobro de seu menor tamanho em plano, e no mínimo 3 m.

Quando a camada de solo superficial não possui resistência adequada para suportar a carga da edificação são empregues os elementos de fundações profundas, estes utilizados, geralmente em edificações com número de pavimentos elevado, ou também, em edificações de alto valor agregado.

Em casos em que o solo proporciona pouca resistência em suas camadas superficiais, se faz necessário a utilização de um modelo de fundação que despeje as cargas nas camadas mais fundas do solo, sendo estas tubulões ou estacas (FERREIRA; DELALIBERA; SILVA, 2014).

Segundo Velloso e Lopes (2010), as estacas são descritas como um tipo de fundação profunda, efetuados com a assistência de ferramentas e equipamentos, através do método de cravação ou escavação, ou também, pelos dois, distinguindo-se como método misto.

Em sua maioria, a utilização das estacas está conectada com a aptidão de transmitirem cargas em solos de baixa resistência, ou por meio de solos com a presença de água, para que se apoie em uma camada resistente de solo, garantindo o apoio adequado (ALONSO, 2010).

A seleção de uma fundação deve ser feita após se analisar a viabilidade econômica e técnica da edificação a ser executada. Sendo assim deve se considerar alguns parâmetros: a proximidade dos edifícios vizinhos, características do solo e o grau das cargas a serem transmitidas à infraestrutura.

2.1.1 Estacas

Conforme Velloso e Lopes (2010) pode-se considerar as estacas em duas grandes categorias, as estacas de substituição e estacas de deslocamento. Além disso pode-se considerar estacas em outra categoria, designadas de estacas sem deslocamento, quando não há retirada do solo no processo. A tabela 1 mostra os tipos de estacas.

Tabela 1: Tipo de estacas

Tipos de execução	Estacas
De deslocamento	Madeira; Pré-moldada de concreto; Metálica;
De substituição	Estaca escavada sem auxílio de revestimento; Strauss; Hélice contínua;
Sem deslocamento	Estaca Raiz;

Fonte: Adaptado de Velloso e Lopes (2002).

A NBR 6122 (ABNT, 1996), tem o conceito de estacas como elementos de fundação profunda executados com o ajuda de ferramentas ou aparelhamentos sem que exista descida de trabalhador em qualquer etapa de implementação, podendo ser compostos de madeira, concreto e aço.

Segundo Alonso (1998) estas também podem ser chamadas de estacas cravadas, pois sua execução consiste essencialmente na cravação da estaca no solo por meio de prensagem, percussão ou vibração.

A cravação é feita por um bate-estacas no qual um martelo ou pilão realiza golpes contra a cabeça da estaca.

2.1.2 Pré-moldadas de concreto

Segundo a NBR 6122 (2010) esta classe de estaca é composta por frações de concreto pré-fabricado, consisti em ser cravada no solo por golpes de martelo, por gravidade, explosão ou vibração. Além disso, também podem ser classificadas referente a sua fabricação, podendo ser protendidas, vibradas ou centrifugadas.

De todos os materiais disponíveis para a construção destes elementos, o concreto e o aço, podem ser considerados os melhores para fabricação de estacas pré-moldadas, por seu controle de qualidade que se pode obter, tanto para confecção quanto para a execução (HACHICH, 1998).

Segundo Velloso e Lopes (2011) as vantagens das estacas deste gênero é um controle tecnológico do concreto aprimorado, pois os agentes encontrados no solo, não terão consequências na cura do concreto.

Mesmo com todo esse controle durante a execução, a mesma possui algumas desvantagens, como, alta taxa de ruído durante a execução e abalos no solo podendo causar rachaduras em edificações vizinhas. No quadro 1 abaixo estão as variações de estacas pré-moldadas e suas resistências.

Quadro 1: Tipos usuais de estacas e suas cargas de trabalho

Tipo de estaca	Dimensões (cm)	Carga Usual (kN)	Carga Máx. (kN)	Obs.
Pré-moldada vibrada, de concreto armado, quadrada maciça $\sigma = 6$ a 10 MPa	20 x 20	250*	400	Disponíveis até 8 m.
	25 x 25	400*	600	
	30 x 30	550*	900	
	35 x 35	750*	1200	
Pré-moldada vibrada, de concreto armado, circular com furo central $\sigma = 9$ a 12 MPa	Ø 22	300	400	Disponíveis até 10 m. Furo central a partir de Ø29 cm.
	Ø 25	450	550	
	Ø 29	600	750	
	Ø 33	700	800	
Pré-moldada vibrada, de concreto protendido $\sigma = 10$ a 14 MPa	Ø 20	300	350	Disponíveis até 12 m. Podendo ter furo central.
	Ø 25	500	600	
	Ø 33	800	900	
Pré-moldada centrifugada, de concreto armado $\sigma = 10$ a 14 MPa	Ø 20	250	300	Disponíveis até 12 m. Com furo central e paredes de 6 a 12 cm.
	Ø 26	400	500	
	Ø 33	600	750	
	Ø 42	900	1150	
	Ø 50	1300	1600	
	Ø 60	1700	2100	

Notas: σ = tensão de trabalho do concreto	*obras sem controle de cravação por ensaios estáticos ou dinâmicos
--	--

Fonte: Velloso e Lopes (2010).

Quando o projeto compreende estacas com comprimento superior a 12m, se é necessário que se faça emendas. Esta conexão entre os elementos deve ser feita através de anéis soldados ou outros dispositivos que resistam aos esforços especificados em projeto como durante o processo de cravação (NBR 6122, 2010).

O processo mais empregado para a execução de estacas pré-moldadas em concreto é a cravação por percussão. Sendo executadas pelo martelo do bate-estaca clássico em queda livre. Entre o martelo e à estaca são usados o capacete, que serve para conduzir à estaca e acomodar os amortecedores. Estes dispositivos servem para proteger a estaca dos impactos (VELLOSO; LOPES, 2010).

2.2 Métodos de capacidade de carga em fundações profundas

Segundo a NBR 6122 (1996) a definição da competência de carga de uma fundação profunda, consiste em se aplicar uma força sobre o elemento que atenta exclusivamente recalques que a edificação pode suportar, proporcionando ao mesmo tempo segurança aceitável contra a ruptura do solo ou do componente de fundação.

Segundo Milititsky, Consoli, Schnaid (2008) a estimativa de um problema de fundação provém da escolha de um solo e da determinação das cargas do projeto. A análise dessas informações é baseada no conhecimento sobre o comportamento do solo quando sujeita a carga transmitida pelos esforços.

Para a conclusão da capacidade de carga a ser tolerada por uma estaca, o projetista pode escolher entre duas formas, o implemento de provas de carga ou optar para cálculos como métodos semi-empíricos, destacando-se entre estes, os métodos de Aoki-Velloso e Decourt-Quaresma.

O ensaio de prova de carga estática incide em produzir a capacidade de carga da fundação, simulando o comportamento em que a estaca será solicitada. O ensaio é realizado por meio de um macaco hidráulico que reage com um material fazendo carga sobre o mesmo (ALONSO, 1983). Exemplificando na equação 1.

$$\text{Carga admissível} = \frac{\text{carga de ruptura}}{\text{fator de segurança}} \quad (1)$$

Deste modo a quantidade de carga suportada por um solo pode ser obtida por meio de metodologias racionais ou métodos semi-empíricos, também chamados de teóricos são baseados na teoria de capacidade de carga de Terzaghi (1943).

2.2.1 Aoki-Velloso

No início o método foi criado a partir do CPT, ensaio de penetração e cone. Com tudo, por esse ensaio não ser muito utilizado no Brasil, o ensaio SPT consolidou seu lugar ocorrendo assim uma adaptação da formulação por conexões entre os ensaios.

Cintra e Aoki (2010) definiram que as incógnitas R_L e R_P são relacionadas com ensaios de penetração estática CPT, pelos índices de resistência de ponta Q_c , e do atrito lateral unitário F_s .

Para se alcançar a capacidade de carga de ponta R_P , multiplica-se a resistência de ponta, pela área da seção da ponta da estaca A_p conforme mostra a equação 2 (CINTRA; AOKI, 2010).

$$R_p = r_p \cdot A \quad (2)$$

Para a obtenção da capacidade de carga do atrito lateral (RL) se realiza o somatório das forças resistentes pelo atrito lateral vezes a espessura da camada de solo Δ_L , multiplicando-se pelo perímetro do fuste (equações 3 e 4) (CINTRA; AOKI, 2010).

$$R = A_p r_p + U \sum (r_L \Delta l) \quad (3)$$

A_p = área seção transversal

U = perímetro

Δl = segmento de estaca

$$R = A_p \frac{\mathcal{K} N_p}{F1} + U \sum \frac{\alpha \mathcal{K} N_l}{F2} \Delta l \quad (4)$$

Onde fatores de correção são F1 e F2, conexos com os processos executivos de cada estaca e com a diferença de comportamento entre o CPT e à estaca. Desta forma como dito anteriormente, no Brasil o uso do CPT não é tão utilizado como o do SPT, optou-se por substituir a resistência de ponta Q_c com uma correlação com o N_{spt}.

Os valores N_p e N_l se referem respectivamente, ao valor de resistência a penetração na camada onde a ponta da estaca é assentada, e os valores de resistência a penetração média na camada de solo com profundidade Δl (CINTRA; AOKI, 2010).

Em razão do tipo de solo os coeficientes \mathcal{K} e α (CINTRA; AOKI, 2010). As tabelas 2 e 3 demonstram os valores destes coeficientes.

Tabela 2: Coeficiente \mathcal{K} em relação ao atrito α .

Tipos de solo	K (Mpa)	α (%)
Areia	1	1,4
Areia siltosa	0,8	2
Areia siltoargilosa	0,7	2,4
Areia argilossiltosa	0,5	2,8
Areia argilosa	0,6	3
Silte arenoso	0,55	2,2
Silte arenoargiloso	0,45	2,8
Silte	0,40	3
Silte argiloarenoso	0,25	3
Silte argiloso	0,23	3,4
Argila arenosa	0,35	2,4
Argila arenossiltosa	0,30	2,8
Argila siltoarenosa	0,33	3
Argila siltosa	0,22	4

Fonte: Cintra e Aoki (2010).

Tabela 3: Fatores de F1 e F2

Tipos de solo	F1	F2
Franki	2,5	5,0
Metálica	1,75	3,5
Pré-moldada	1,75	3,5

Fonte: Cintra e Aoki (2010).

Com estudos mais aprofundados verificou-se que a correção se dá pelos fatores de F1 e F2 para estacas pré-moldadas, são muito conservadores (CINTRA; AOKI, 2010). O valor de F1 pode ser calculado como apresentado na equação 5. Os fatores atualizados são também apresentados na tabela 4.

$$F1 = 1 + \frac{D}{0,8} \quad (5)$$

D = diâmetro ou lado da seção da estaca

Tabela 4: Fatores de F1 e F2 atualizados.

Tipos de solo	F1	F2
Franki	2,5	2F1
Metálica	1,75	2F1
Pré-moldada	$1 + D/0,8$	2F1
Escavada	3,0	2F1
Raiz e Hélice cont.	2,0	2F1

Fonte: Cintra e Aoki (2010).

2.2.2 Décourt-Quaresma

Este método compreende em avaliar a resistência da ponta e o atrito lateral da estaca, empregando coeficientes tabelados para os tipos de solo e cada tipo de estaca que o método é composto (VELLOSO; LOPES, 2011).

De acordo com Schnaid (2000), esse método foi criado unicamente para dimensionamento da capacidade de carga por meio do ensaio SPT e especialmente para ser utilizado em estacas pré-moldadas de concreto, porém com sua eficiência foi ampliado para outros tipos de estacas (equações 6 e 7).

$$R = A_p r_p + U r_L L \quad (6)$$

A_p = área seção transversal

U = perímetro

L = segmento de estaca

$$R = \alpha C N_p + U 10\beta \left(\frac{N_L}{3} + 1 \right) L \quad (7)$$

Segundo Cintra e Aoki (2010) a fórmula acima N_p representa a resistência a penetração de ponta pela estaca, este valor correspondente a média entre três valores: a camada de solo onde se apoia a ponta da estaca, a próxima e a anterior. E o valor de N_L corresponde ao valor médio da relação de resistência do SPT ao comprimento do fuste.

Segundo Décourt et al (1996) os valores α e β correspondem a níveis de majoração e minoração, para reação na ponta e o atrito lateral na estaca. Os valores adotados para α , β e C estão demonstrados nas tabelas 5, 6 e 7 respectivamente.

Tabela 5: Valores de coeficientes α em relação ao tipo de solo

Tipos de solo	Tipo de Estacas					
	Cravada	Escavada (geral)	Escavada (bentonita)	Hélice contínua	Raiz	Injetadas
Argilas	1,0	0,85	0,85	0,30	0,85	1,0
Solos residuais	1,0	0,60	0,60	0,30	0,60	1,0
Areias	1,0	0,50	0,50	0,30	0,50	1,0

Fonte: Quaresma et al (1998).

Tabela 6: Valores de coeficiente β em relação ao tipo de solo

Tipos de solo	C (KPa)
Argilas	120
Silte argiloso	200
Silte arenoso	250
Areia	400

Fonte: Quaresma et al (1998).

Tabela 7: Valores de coeficiente característicos do solo C

Tipos de solo	Tipo de Estacas					
	Cravada	Escavada (geral)	Escavada (bentonita)	Hélice contínua	Raiz	Injetadas
Argilas	1,0	0,85	0,90	1,0	1,50	3,0
Solos residuais	1,0	0,65	0,75	1,0	1,50	3,0
Areias	1,0	0,50	0,60	1,0	1,50	3,0

Fonte: Quaresma et al (1998).

2.3 Aplicação da linguagem de programação ao pré-dimensionamento de fundações profundas

Segundo Sebesta (2011) os computadores têm sido empregados em várias esferas, desde o controle de usinas nucleares até a disponibilização de jogos eletrônicos. Por conta dessa multiplicidade de usos, linguagens de programação com diferentes objetivos vêm sendo desenvolvidas.

Com a disseminação de computadores o processamento de dados vem otimizando cada vez mais a resolução de problemas. Na engenharia de fundações profundas isso possibilita uma diminuição no tempo de realização dos cálculos e maior confiabilidade nas estruturas.

A determinação de qual linguagem de programação usar é de grande importância, pois ela que irá servir para o desenvolvimento do software e que fará a interpretação dos dados e a realização dos cálculos propostos.

2.3.1 Delphi

De acordo com Leão (2003), O Delphi é um instrumento baseado na linguagem Object Pascal, e criado para o desenvolvimento de aplicações com interface gráfica.

De acordo com Cantú (2009) o Delphi foi divulgado inicialmente pela Borland em fevereiro de 1995, sendo desenvolvida para Windows. Com milhares de aplicações em sua linguagem Object Pascal, o Delphi gerou uma vasta gama de derivados, ferramentas, revistas e livros.

Conforme Lischner (2000) Delphi é uma linguagem de programação mesclada, muito parecida com C++ pois, foi criada por uma adição de suporte e orientação de objetos, a uma linguagem já existente, Pascal. Delphi é considerada por muitos uma linguagem mais confiável e menos complexa por já ser bastante difundida no mercado.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

O foco do trabalho será o desenvolvimento de um software em linguagem Delphi para desktops e a análise dos resultados obtidos.

As realizações das rotinas de cálculos do software foram baseadas nas literaturas já consagradas no ramo de fundações, Aoki-Velloso e Décourt-Quaresma, dimensionando a capacidade de carga nas estacas. Nesta parte do algoritmo, estarão presentes as variáveis de cálculo da resistência de ponta e resistência por atrito lateral.

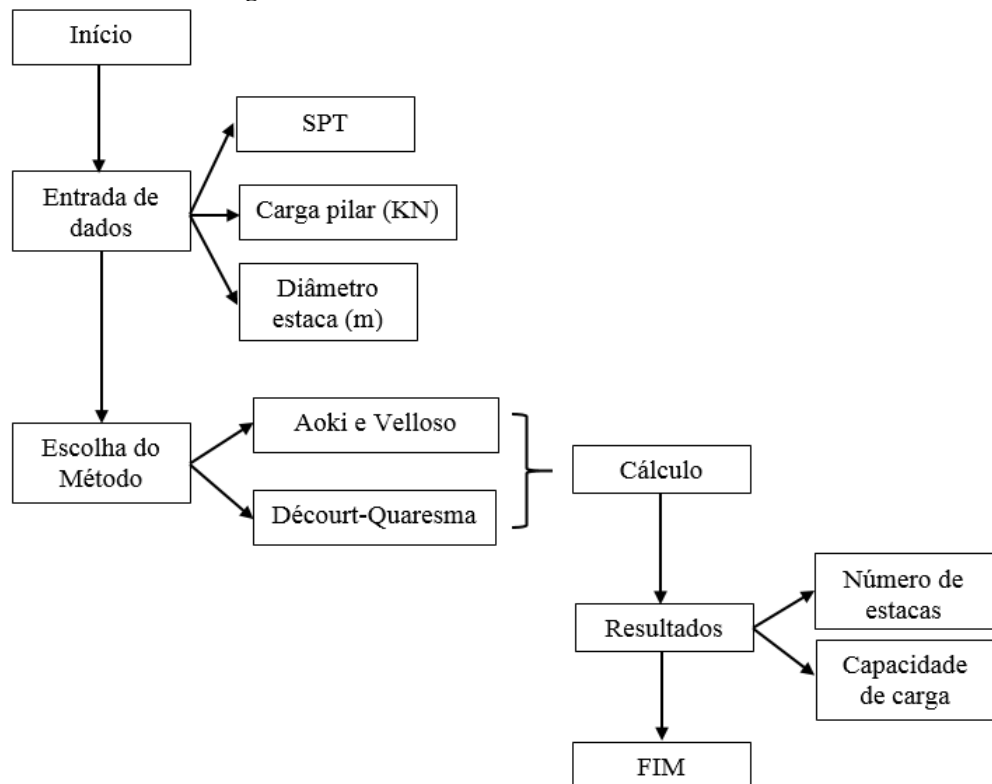
Para o emprego do software é essencial a realização prévia do ensaio SPT, pois a rotina de cálculos é baseada nos resultados obtidos no mesmo. A rotina computacional foi desenvolvida para que se fossem assegurados a confiabilidade e rapidez nos cálculos.

O software será dividido em duas partes, a interface, que será de simples operação, possibilitando ao usuário facilidade na entrada de dados e na visualização dos resultados, sendo esta parte a única em que o usuário terá acesso. Na segunda será a parte estrutural do software, onde somente o programador terá acesso, nesta parte conterà o banco de dados e aonde será realizada a execução dos cálculos.

devido ao grande número de coeficientes e tabelas necessárias para cálculo, foi preciso a criação de um banco de dados que armazenará todas as informações necessárias para a execução da rotina de cálculos, possibilitando assim ao software encontrar os coeficientes exatos dependendo do método de cálculo semi-empírico escolhido.

O passo a passo do software está representado no fluxograma abaixo (figura 1):

Figura 1: Funcionamento do software.



Fonte: Própria (2020).

A entrada de dados é a parte inicial do software, onde serão introduzidos os parâmetros para dimensionamento dos elementos. O usuário deverá informar o que constitui cada camada de solo e o índice de resistência do solo (N_{spt}). Posteriormente deve ser informado

a carga do pilar e o diâmetro da estaca escolhida. No próximo passo deve ser escolhido o método de cálculo.

Ao final dos cálculos será dado a capacidade de carga para estaca e o número de estacas necessárias para resisti-las.

Por fim, será realizado uma validação dos resultados por meio de comparação com literaturas de cálculos já consagradas, demonstrando assim a confiabilidade do software.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos neste trabalho são decorrências da entrada de parâmetros e normas das metodologias abordadas e inseridas no software, fazendo com que ele calcule automaticamente a quantidade de estacas necessárias e a estimativa da capacidade de carga para a fundação com base nas sondagens inseridas, executando de tal modo toda a parte lógica dos cálculos.

Para a validação dos valores aferidos pelo software foi feita uma comparação com valores obtidos pelo cálculo manual para o mesmo exemplo.

O exemplo utilizado para o uso no software e a aferição é o mesmo e se encontra a seguir.

Estaca vibrada quadrada pré-moldada com diâmetro 0,20 metros, carga provinda do pilar de 38 kn, comprimento do fuste de 12 metros, os demais coeficientes utilizados serão retirados das tabelas respectivas de acordo com o SPT (figura 2).

Figura 2: Sondagem geotécnica (SPT).



Fonte: Própria (2020).

4.1 Uso do software

O Funcionamento do software dará início com a apresentação dos mesmo em sua tela inicial (figura 3).

Figura 3: Tela inicial.



Fonte: Própria (2020).

Em uma segunda tela será feita a inserção dos dados necessários para a realização da rotina de cálculos. Assim se deve preencher o ensaio SPT, colocando o número de golpes de cada camada e o material constituinte da mesma (figura 4).

Figura 4: Inserção do SPT.



Fonte: Própria (2020).

Dando segmento o usuário informa o tipo de estaca, as dimensões da estaca, a carga provinda do pilar e a camada em qual se assentará à estaca (figura 5).

A partir desta tela o usuário pode fazer todas as alterações nos valores, podendo reutilizar assim o mesmo SPT inserido anteriormente, já que terá de ser adicionado a carga para cada pilar da edificação.

Figura 5: Inserção de dados.

MEDIA	TIPODESOLO	K	A	C
8,66	AREIA SILTOSA		0,8	2
7,75	ARGILA SILTOARENOSA		0,33	3
10	SILTE ARENOSO		0,55	2,2

Fonte: Própria (2020).

Na tela seguinte se deve escolher por forma de botões um dos dois métodos de cálculos disponíveis, Aoki-Velloso ou Décourt-Quaresma. Desta forma serão gerados os valores referentes ao que foi proposto a ser calculado.

Por fim a última tela apresentará os resultados obtidos a partir dos dados inseridos, sendo para os dois métodos de cálculo, exibindo os resultados da capacidade de carga, carga admissível e o número de estacas necessárias para suportar a carga (Figura 6 e 7).

Figura 6: Resultados Aoki-Velloso.

RLТ	10,76112
RP	0,1936
RT	10,95472
Tensão Admissível	5,47736
Qtde Estacas	6,93764879430967

Fonte: Própria (2020).

Figura 7: Resultados Décourt-Quaresma.

Resultado	Valor
RLT Quaresma	381,12
RP Quaresma	51,2016
RT Quaresma	432,32
Tensão Admissível	216,1608
Qtde Estacas	0,175795056272923

Fonte: Própria (2020).

4.2 Validação dos valores obtidos

Utilizando os métodos desenvolvidos por Décourt-Quaresma e Aoki-Velloso foram aferidos os cálculos do software manualmente de acordo com o exemplo proposto.

Aoki-Velloso:

$$R = A_p \frac{\mathcal{K}N_p}{F1} + U \sum \frac{\alpha \mathcal{K}N_l}{F2} \Delta l$$

- Resistência lateral:

$$RLT: \frac{\left(\frac{8+7+7+9}{4}\right) * 0,80 * 3 * 0,33 + \left(\frac{7+10+9}{3}\right) * 0,80 * 2 * 0,8 + \left(\frac{9+10+10+9+12}{5}\right) * 0,80 * 2,2 * 0,55}{2,50} = 10,76 \text{ Kn}$$

- Resistência de ponta:

$$RP: \frac{0,55 * 11 * 0,04}{1,25} = 0,1936 \text{ Kn}$$

- Resistência Total:

$$RT: 10,76 + 0,1936 = 10,953 \text{ Kn}$$

- Carga admissível:

$$P_{adm}: \frac{10,953}{2} = 5,476 \text{ Kn}$$

- Quantidade de estacas:

$$N: \frac{38}{5,476} = 6,94 \approx 7 \text{ estacas á 12 m.}$$

Décourt-Quaresma:

$$R = Ap(\alpha C N_p) + U10\beta \left(\frac{N_L}{3} + 1 \right) L$$

- Resistência lateral:

$$Rl: \left(10 * 0,80 * 1 \left(\frac{\left(\frac{8 + 7 + 7 + 9 + 7 + 10 + 9 + 9 + 10 + 10 + 9 + 12}{12} \right)}{3} + 1 \right) \right) * 12 =$$

$$Rl = 381,33 \text{ Kn}$$

- Resistência de ponta:

$$RP: \left(\left(\frac{9 + 12 + 11}{3} \right) * 120 * 1 \right) * 0,04 = 51,2 \text{ Kn}$$

- Resistência Total:

$$RT: 381,33 + 51,2 = 432,53 \text{ Kn}$$

- Carga admissível:

$$P_{adm}: \frac{432,53}{2} = 216,265 \text{ Kn}$$

- Quantidade de estacas:

$$N: \frac{38}{216,265} = 0,175 \approx 1 \text{ estaca á 12 m.}$$

Os valores calculados manualmente foram expressos com até três casas decimais, podendo assim ocasionar diferenças no arredondamento com os valores obtidos em software.

Após essa aferição feita manualmente mediante aos dois métodos os valores conferem com os valores calculados pelo software, considerando assim o mesmo válido.

5. CONCLUSÃO

Ao fim do trabalho concluiu-se que a aplicação de mais de um método de cálculo na mesma situação de projeto gera maior exatidão na hora de se optar pelo método de dimensionamento final, pois o engenheiro passa a trabalhar com uma gama maior de resultados para serem analisados, gerando maior confiança.

A rotina computacional criada foi específica para estacas pré-moldadas em concreto, nota-se uma certa facilidade no lançamento de dados e de simulações que o software proporciona. As dimensões dos elementos e fórmulas utilizadas para o desenvolvimento do algoritmo podem ser facilmente alteradas a qualquer momento durante o projeto, melhorando a aplicação da rotina desenvolvida e dando grande potencial para a ferramenta, gerando espaço para futuras modificações e upgrades de funcionalidades.

Como se pode notar, os cálculos realizados de maneira manual representam um processo lento, que por outro lado o software realiza em poucos segundos, gerando assim uma maior produtividade e eficiência em busca da solução mais econômica.

De acordo com a tabela 8 abaixo pode-se observar que a variância dos resultados da carga admissível que é mínima, e se dá pelo arredondamento realizado de forma manual ou peso software.

Tabela 8: Resultados

Dimensionamento	Carga ADM		Nº Estacas	
	Aoki-Velloso	Décourt-Quaresma	Aoki-Velloso	Décourt-Quaresma
Manual	5,476	216,265	6,94	0,175
Software	5,47736	216,1608	6,93764879430967	0,1757950556272923

Fonte: Própria (2020).

Desta forma, viu-se que o algoritmo de cálculo foi implementado dentro da linguagem de programação da maneira correta, os valores apresentados no software foram satisfatórios com os valores calculados manualmente pelo exemplo proposto, validando assim o uso do algoritmo para o auxílio na elaboração do pré-dimensionamento de estacas.

REFERÊNCIAS

- ALONSO, U. R. **Exercícios de Fundações**. 2. ed. São Paulo: Blucher, 2010.
- ALONSO, U. R. **Previsão e controle das fundações**. São Paulo: Blucher, 1983.
- ALONSO, U. R. Estacas injetadas. In: HACHICH, W et al (Edit.). **Fundações: teoria e prática**. 2. ed. São Paulo: PINI, 1998. P. 361-372.
- ALVES, R. D. F. **Estudo da previsão da carga de ruptura de estacas pré-moldadas de concreto**. 2014. 99 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2014.
- ANTUNES, William Roberto; TAROZZO, Hέλvio. Estacas Tipo Hélice Contínua. In: HACHICH, W et al (Edit.). **Fundações: teoria e prática**. 2. ed. São Paulo: PINI, 1998. p. 345-348.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6122: **Projeto e execução de fundações**. Rio de Janeiro, 2010.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6122: **Projeto e execução de fundações**. Rio de Janeiro, 1996.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6484: **Solo- Sondagens de simples Reconhecimento com SPT- Método de ensaio**. Rio de Janeiro, 2001.
- BOTELHO, M. H. C.; CARVALHO, L. F. M. **Quatro edifícios, cinco locais de implantação, vinte soluções de fundações**. São Paulo: Edgard Bluncher, 2007.
- BRAGA, V. D. F. **Estudo dos tipos de fundações de edifícios de múltiplos pavimentos na região metropolitana de Fortaleza**. 2009. 70 f. Monografia (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2009.
- CINTRA, J. C. A.; AOKI, N. **Fundações por estacas: projeto geotécnico**. São Paulo: Oficina de Textos, 2010.
- COSTET, J.; SANGLERAT, G. **Cours pratique de Mécanique des Sols**. Paris: Dunod, 1969.
- DECOURT, L.; et al. **Análise e Projeto de fundações profundas**. In: Fundações, Teoria e Prática. Pini/ABMS/ABEF, 1996. cap.8, p. 265-327.
- PEDREIRA, L. S.; PACHECO, T. M. **Programa de cálculo de capacidade de carga e dimensionamento estrutural de estacas**. In: Seminário Estudantil de Produção acadêmica, Feira de Santana, UNIFACS, 2016.
- FALCONI, F. F; FILHO, J. de S.; FÍGARO, N. D. Estacas Escavadas sem Lama Bentonítica. In: HACHICH, W et al (Edit.). **Fundações: teoria e prática**. 2. ed. São Paulo: PINI, 1998. P. 336-344.

FERREIRA, T. R.; DELALIBERA, R. G.; SILVA, W. A. Rotina computacional para a previsão da capacidade de carga em estacas. **Revista Eletrônica de Engenharia Civil**, v. 8, n. 3, p. 38-50, jun. 2014.

LISCHNER, R. **Delphi in a Nutshell**. Sebastopol. O'Reilly media, 2000.

LEÃO, M. **Borland Delphi 7 Curso Completo**. Rio de Janeiro: Axcel Books, 2003.

MAIA, C.M.M. Execução de fundações profundas: estacas tipo Franki. In: HACHICH, W.; FALCONI, F.F.; SAES, J.L.; FROTA, R.G.Q.; CARVALHO, C.S.; NIYAMA, S. (Org.). **Fundações: teoria e prática**. 2. ed. São Paulo: Pini, 1998. p. 329-336.

NETO, J. A. A. **Análise do Desempenho de Estacas Hélice Contínua e Omega–Aspectos Executivos**. Dissertação. (Programa de Pós-Graduação em Engenharia) São Paulo, 2002.

NOREÑA, P. C. T. **Estimativa da eficiência do ensaio SPT através da execução da prova de carga estática sobre o mostrador**. 2010. 197 f. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) – Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo, São Carlos, 2011. Profundas. São Paulo: Oficina de Textos, 2010. (v. 2).

QUARESMA, A. R; et al. **Investigações geotécnicas**. Fundações teoria e prática. São Paulo: Pini, 1998. 43 p.

REBELLO, Y. C. P. **Fundações: guia prático de projeto, execução e dimensionamento**. 4. ed. São Paulo: Ziguarte Editora, 2008.

SCHNAID, F. **Ensaio de campo e suas aplicações à engenharia de fundações**. São Paulo Oficina de Textos, 2000.

SCHNAID, F.; ODEBRECHT, E. **Ensaio de campo e suas aplicações à engenharia de fundações**. 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2012.

SILVA, T. M. **Ensaio de carregamento dinâmico em estacas no Complexo de Suape**. 2011. 76 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Católica de Pernambuco, Recife, 2011.

SEBESTA R. W. **Conceitos de linguagens de programação**. 9. ed. Porto Alegre: Bookman, 2001. p. 20-130.

STRAUB, H A. **A history of Civil Engineering**. Cambridge: The M.I.T. Press, 1964.

TERZAGUI, K.; PECK, R. B.; MESRI, G. **Soil Mechanics in Engineering Practice**. 3. ed. New York: John Wiley e Sons. Inc., 1996.

VELLOSO, D. de A.; LOPES, F. de R.; ZIRNBERGER, T. L. **Elaboração de software educacional para dimensionamento de blocos sobre estacas cilíndricas verticais por métodos semi-empíricos que utilizam o SPT**. Campo Mourão, 2017. 43p. Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade Tecnológica Federal do Paraná Campus Campo Mourão.