

Desenvolvimento de uma ferramenta eletrônica para dimensionamento de estacas de concreto pré-moldado

Development of an electronic tool for the design of precast concrete piles

Desarrollo de una Herramienta Electrónica para Dimensionamiento de Pilotes de Hormigón Prefabricado

Resumo

O processo de dimensionamento de fundações do tipo estaca em concreto pré-moldado carece de ferramentas computacionais que auxiliem na tomada de decisão a partir de dados preestabelecidos. Assim, neste trabalho, consta o desenvolvimento de um *software* utilizando a linguagem de programação Pascal orientada a objetos, empregando a plataforma Delphi, capaz de determinar a capacidade de carga em estacas por três métodos semiempíricos: Aoki-Velloso (1975), Décourt-Quaresma (1978) e Teixeira (1996). A determinação da capacidade de carga e dimensionamento das estacas parte de resultados de sondagem de simples reconhecimento do solo com o SPT (*Standard Penetration Test*), características das estacas a serem empregadas e carga atuante nos pilares. Com isso, torna-se possível obter um relatório final, o qual contempla o dimensionamento das estacas, considerando a possibilidade ou não de se fazer emendas e o número de estacas necessárias por bloco de coroamento; sendo fornecido o valor das estacas por metro, o custo da mobilização e desmobilização do bate estaca e equipamentos e do valor referente a cada emenda em solda. Assim, como forma de validação, fez-se a resolução de dois problemas descritos na literatura e procedeu-se a comparação e discussão dos resultados, além de um estudo de caso da aplicação do *software* em um projeto de empreendimento real.

Palavras-chave: Fundações. Programação. Pascal. Delphi. Estacas.

Abstract

The dimensioning process of precast concrete pile foundations lacks computational tools that assist in decision-making based on pre-established data. Thus, in this work, there is the development of software using the object-oriented Pascal programming language, using the Delphi platform, capable of determining the load capacity in piles by three semi-empirical methods: Aoki-Velloso (1975), Décourt-Quaresma (1978) and Teixeira (1996). The load capacity determination and sizing of the piles are based on the outcome of a simple survey of the soil with the SPT (Standard Penetration Test), the characteristics of the piles to be used, and the load acting on the pillars. With this, it becomes possible to obtain a final report, which includes the sizing of the piles, considering the possibility or not of making amendments, and the number of piles necessary per crowning block. The value of the piles per meter is provided, the cost of mobilization and demobilization of the pile driver and equipment, and the value for each weld splice. As a form of validation, two problems described in the literature were solved, and the results were compared and discussed, in addition to a case study of the application of the software in an actual enterprise project.

Keywords: Foundations. Schedule. Pascal. Delphi. Piles.

Milena Camila de Oliveira 
engcivil.milenaoliveira@gmail.com
Universidade Federal de Lavras

Millena Cristina Barros 
millenacbarros@gmail.com
Universidade Federal de Lavras

Eduardo Souza Cândido 
eduardo.candido@ufla.br
Universidade Federal de Lavras

Luisa de Moura Leão 
luisamleao@outlook.com
Universidade Federal de Lavras

Alexandre Vilaça Silva 
alexandre.silva2@estudante.ufla.br
Universidade Federal de Lavras

Fernanda Aparecida Souza 
fernandasouzaeng.c@gmail.com
Universidade Federal de Lavras

André Geraldo Cornélio Ribeiro 
andreriibeiro@ufla.br
Universidade Federal de Lavras

Claudiana Mesquita de Alvarenga 
claudiana.alvarenga@estudante.ufla.br
Universidade Federal de Lavras

Resumen

El proceso de dimensionamiento de cimentación del tipo pilotes de hormigón prefabricado necesita de herramientas computacionales que auxilien en la toma de decisión a partir de datos preestablecidos. Así, en este trabajo, consta el desarrollo de un software utilizando el lenguaje de programación Pascal orientada a objetos, empleando la plataforma Delphi, capaz de determinar la capacidad de carga en pilotes por tres métodos semiempíricos: Aoki-Velloso (1975), Décourt-Quaresma (1978) y Teixeira (1996). La determinación de la capacidad de carga y dimensionamiento de los pilotes parte de resultados de sondeo de simple reconocimiento del suelo con SPT (Standard Penetration Test), características de los pilotes a emplear y carga actuante en los pilotes. Con eso, se hace posible obtener un informe final, lo cual contempla el dimensionamiento de los pilotes, considerando la posibilidad o no de hacer enmienda y el número de pilotes necesarios por bloque de coronamiento. Siendo ofrecido el valor de los pilotes por metro, el coste de la movilización y desmovilización de la máquina de hincar y equipos y del valor referente a cada enmienda en soldadura. Como forma de validación se hizo la resolución de dos problemas descritos en la literatura y procedió a la comparación y discusión de los resultados, además de un estudio de caso de la aplicación del software en un proyecto de emprendimiento.

Palabras clave: Cimentaciones. Programación. Pascal. Delphi. Pilotes.

1 Introdução

O projeto estrutural de uma edificação deve levar em consideração as cargas atuantes. De acordo com a NBR 6120 (ABNT, 2019a) essas cargas são classificadas em permanentes e acidentais, sendo as permanentes o peso próprio da estrutura e de todos os elementos construtivos fixos, e as acidentais aquelas atuantes na estrutura em função do uso da edificação. Essas cargas devem ser transmitidas com segurança ao solo e os elementos responsáveis por essa transmissão são as fundações.

As fundações são indispensáveis no projeto de uma edificação, bem como um dimensionamento correto garante o desenvolvimento de um projeto seguro e economicamente viável. A NBR 6122 (ABNT, 2019b) classifica as fundações em superficiais e profundas. As fundações superficiais (sapatas, blocos e *radiers*) se caracterizam por transmitir as cargas ao terreno pelas tensões distribuídas sob a base da fundação e por estarem assentes em profundidades inferiores a duas vezes a sua menor dimensão. Já as fundações profundas (estacas e tubulões) transmitem cargas ao terreno ou pela base (resistência de ponta) ou por sua superfície lateral (resistência de fuste) ou por uma combinação das duas, sendo sua ponta ou base apoiada em uma profundidade superior a oito vezes a sua menor dimensão em planta e no mínimo três metros. As fundações profundas têm sido empregadas com o crescimento populacional e a conseqüente verticalização das edificações, solucionando o problema da falta de espaço, bem como em terrenos cujo subsolo apresenta camadas superficiais com baixas resistências, exigindo a necessidade de se alcançar camadas mais profundas de solo.

Assim, para Velloso e Lopes (2010), as fundações por estacas podem ser classificadas segundo diferentes critérios, tais como material (madeira, concreto, aço e mistas) e processo executivo ou efeito no solo (de deslocamento, sem deslocamento ou de substituição). O material escolhido é frequentemente relacionado ao custo envolvido, pois há situações que podem ser mais onerosas que outras potencialmente elegíveis, embora estas apresentem as mesmas condições técnicas em termos de segurança.

Com base no tipo de material, Velloso e Lopes (2010) salientam que o concreto é aquele que em aspecto geral, melhor se presta à confecção de estacas, graças a sua resistência aos agentes agressivos e por suportar muito bem as alternâncias de secagem e umedecimento. Assim, as estacas pré-moldadas de concreto possuem lugar de destaque, principalmente em relação às estacas moldadas *in loco*, uma vez que possibilitam a obtenção de concreto de melhor qualidade e evitam a influência de agentes agressivos, eventualmente encontrados no solo, na pega e na cura do concreto. As estacas pré-moldadas cravadas no subsolo desenvolvem um deslocamento horizontal no solo à medida que são introduzidas no terreno por golpes de martelo de gravidade, de explosão, hidráulico ou por martelo vibratório.

Para proceder ao dimensionamento de uma fundação por estacas, além do conhecimento das cargas de projeto, deve-se realizar uma campanha de investigação do subsolo, constituída no mínimo por sondagens de simples reconhecimento com o SPT (*Standard Penetration Test*) visando à determinação da estratigrafia e classificação dos solos, a posição do nível d'água e a medida do índice de resistência à penetração (N_{SPT}). Com essas informações, o dimensionamento das estacas é efetuado com base no conhecimento da sua capacidade de carga, que fornece o valor da carga admissível que deve ser confrontada com a resistência estrutural, dada em função da sua geometria e das propriedades do material empregado.

Albuquerque e Garcia (2020) destacam que a capacidade de carga pode ser obtida por meio de fórmulas estáticas (teóricas e semiempíricas), dinâmicas, provas de carga e modelos numéricos. Para previsão da capacidade de carga de fundações por estacas, muitos autores têm proposto métodos baseados em correlações empíricas com resultados de ensaios *in situ* e ajustados com provas de carga (CINTRA; AOKI, 2010).

Para otimizar os cálculos relacionados a capacidade de carga e conseqüentemente definir o número de estacas requerido em um projeto de fundações, a implementação computacional destes métodos se torna um caminho interessante, que auxiliam na produtividade, otimizando o tempo, proporcionando maior precisão de resultados e reduzindo falhas de projetos. Nesse sentido, este artigo visa contribuir ao estudo da automatização dos processos de cálculo na engenharia de fundações com o desenvolvimento de um programa capaz de calcular o número de estacas e o custo para implantação de um projeto de fundações por estacas.

2 Métodos semiempíricos

De acordo com a NBR 6122 (ABNT, 2019b), a grandeza fundamental para o projeto de fundações por estacas é a carga admissível, se o projeto for realizado considerando fator de segurança global e valores característicos, ou a força resistente de cálculo, quando for feito considerando coeficientes de ponderação e valores de cálculo. Nesse contexto, serão apresentadas neste tópico as definições relacionadas à capacidade de carga, grandeza essencial para obtenção da carga admissível, bem como os métodos semiempíricos empregados na sua determinação e que serão utilizados neste trabalho.

2.1 Capacidade de carga

Avaliar a carga admissível de uma estaca estimada na fase de projeto é uma das maiores preocupações no campo da engenharia de fundações (SILVA, 2020), sendo necessário embasar-se no conhecimento da sua capacidade de carga (R), conhecida, também, como capacidade resistente, carga de ruptura, carga última, capacidade de carga última ou capacidade de carga na ruptura. Para definir este parâmetro, necessita-se considerar a aplicação de uma força de compressão, aumentada de forma gradativa, na cabeça da estaca. Assim, entre o solo e o fuste da estaca serão mobilizadas tensões resistentes através do atrito lateral ou adesão e, também tensões resistentes normais à base ou ponta da estaca – essas tensões podem ser separadas em duas parcelas: a resistência por atrito lateral (R_L) e a resistência de ponta (R_p) (CINTRA; AOKI, 2010).

Conforme Velloso e Lopes (2010), a capacidade de carga é determinada por meio de expressões que consideram a mobilização de toda a resistência estática ao cisalhamento do solo pela estaca. Esses métodos são denominados métodos estáticos e se dividem em duas categorias: teóricos ou semiempíricos

Consideram-se métodos teóricos aqueles que utilizam soluções teóricas de capacidade de carga e parâmetros do solo, sendo este método é restrito ao considerar unicamente solo coesivo ou granular, diferindo de situações ocorrentes na natureza. Dessa forma, tem-se pouca utilização dos métodos teóricos em projetos em comparação aos métodos semiempíricos (CINTRA; AOKI, 2010).

Os métodos semiempíricos advêm do conhecimento da associação de fatores geotécnicos e geométricos (VELLOSO; LOPES, 2010). Conforme Cintra e Aoki (2010) existem três metodologias semiempíricas de autores brasileiros para determinação da capacidade de carga que são amplamente empregadas tanto no Brasil quanto no exterior: Aoki-Velloso (1975), Décourt-Quaresma (1978) e Teixeira (1996). Os três métodos podem ser correlacionados com ensaios de penetração SPT ou CPT (*Cone Penetration Test*). Entretanto, como o CPT é menos usual no Brasil, este trabalho irá abordar unicamente as metodologias correlacionadas com o SPT. A

diferença entre estes métodos se dá pela maneira a qual se calculam as resistências (MONTEIRO; ARAÚJO; AGUIAR, 2017), fato este que será abordado no presente artigo, observando a aplicação destas metodologias de cálculo correlacionadas com o ensaio de SPT.

2.2 Método de Aoki – Velloso (1975)

O método Aoki- Velloso (1975) parte da comparação de resultados de prova de carga em estacas e SPT, propondo critérios capazes de obter duas parcelas de resistência para determinação da capacidade de carga (resistência de ponta e resistência de atrito lateral). De forma geral, tem-se que a capacidade de carga na estaca (R) pode ser estimada por meio da Eq.(1).

$$R = \frac{K N_p}{F_1} A_p + U \sum \left(\frac{\alpha K N_L}{F_2} \Delta L \right) \quad (1)$$

Onde: K e α variam com a tipologia do solo (Tab.1), N_p é o índice de resistência à penetração na cota de apoio da ponta da estaca, N_L é o índice de resistência à penetração médio na camada de solo de espessura ΔL ; U corresponde ao perímetro do fuste; A_p corresponde à área da seção transversal da ponta ou base da estaca, e os fatores F_1 e F_2 são fatores de correção (Tab. 2).

Tabela 1 – Coeficiente K e fator de atrito (α).

Solo	K (MPa)	α (%)
Areia	1,00	1,4
Areia siltosa	0,80	2,0
Areia siltoargilosa	0,70	2,4
Areia argilosa	0,60	3,0
Areia argilosiltosa	0,50	2,8
Silte	0,40	3,0
Silte arenoso	0,55	2,2
Silte arenoargiloso	0,45	2,8
Silte argiloso	0,23	3,4
Silte argiloarenoso	0,25	3,0
Argila	0,20	6,0
Argila arenosa	0,35	2,4
Argila arenossiltosa	0,30	2,8
Argila siltosa	0,22	4,0
Argila siltoarenosa	0,33	3,0

Fonte: Aoki- Velloso (1975).

Tabela 2 – Fatores de correção.

Tipo de estaca	F_1	F_2
Franki	2,5	2F1
Metálica	1,75	2F1
Pré-moldada	1 + D/0,80	2F1
Escavada	3,00	2F1
Raiz, Hélice contínua, Ômega	2,00	2F1

Fonte: Cintra e Aoki (2010).

2.3 Método de Décourt – Quaresma (1978)

Luciano Décourt e Arthur R. Quaresma propuseram em 1978 um novo método para determinação da capacidade de carga dos elementos de fundação do tipo estacas. De acordo com Falconi *et al.* (1998), o método apresenta uma proposta de determinação da capacidade de carga baseado somente nos valores de resistência do solo obtidos no ensaio SPT e, inicialmente, era possível a sua utilização apenas para estacas pré-moldadas. Posteriormente, o método passou por diversas extensões, o que possibilitou seu uso em outros tipos de estacas. Devido a essas extensões, tem-se, para esse método, três distintas versões.

Em sua primeira versão, a determinação da resistência de ponta pode ser realizada com base na Eq.(2).

$$R = C N_p A_p + r_L U L \quad (2)$$

Onde: N_p corresponde ao valor médio do índice de resistência à penetração na base da estaca, obtido pela média do valor correspondente ao nível da ponta da estaca, o imediatamente anterior e o imediatamente posterior a ele; C é função do tipo de solo (Tab.3); A_p corresponde à área da seção transversal da ponta ou base da estaca; r_L é o atrito médio ao longo do fuste (Tab. 4), utilizando-se na sua determinação os valores de N_{SPT} ao longo do fuste, sem levar em conta aqueles utilizados para a estimativa da resistência de ponta; U é o perímetro do fuste e L o comprimento da estaca.

Tabela 3 – Determinação do valor de C de acordo com o tipo de solo.

Tipo de solo	C (tf/m ²)
Argilas	12
Siltos argilosos (alteração de rocha)	20
Siltos arenosos (alteração de rocha)	25
Areias	40

Fonte: Velloso e Lopes (2010).

Tabela 4 –Valores de atrito médio.

N_{SPT} (médio ao longo do fuste)	Atrito lateral (tf/m ²)
≤ 3	2
6	3
9	4
12	5
> 15	6

Fonte: Velloso e Lopes (2010).

A segunda versão do método, proposta em 1982, apresenta um aperfeiçoamento no cálculo da resistência de atrito lateral, em kN/m², a qual deve ser determinada pela Eq. (3).

$$r_L = 10 \left(\frac{N_L}{3} + 1 \right) \quad (3)$$

Onde: N_L se refere ao valor da média da resistência de penetração do SPT ao longo do fuste, desconsiderando os valores utilizados no cálculo da resistência de ponta.

A terceira versão foi proposta por Luciano Décourt em 1996 e nela sugere-se a introdução de dois novos fatores, α (Tab. 5) e β (Tab. 6), respectivamente na resistência de ponta e resistência lateral. Sendo assim, o cálculo da capacidade de carga no elemento de fundação se dá pela Eq.(4). Segundo Cintra e Aoki (2010), utiliza-se $\alpha=\beta=1$ para estacas pré-moldadas, metálicas e Franki.

$$R = \alpha C N_p A_p + \beta 10 \left(\frac{N_L}{3} + 1 \right) U L \quad (4)$$

Tabela 5 – Valores de α em função do tipo de estaca e tipo de solo.

Tipo de solo	Tipo de estaca				
	Escavada em geral	Escavada (bentonita)	Hélice contínua	Raiz	Injetada sob altas pressões
Argilas	0,85	0,85	0,30	0,85	1,00
Solos intermediários	0,60	0,60	0,30	0,60	1,00
Areias	0,50	0,50	0,30	0,50	1,00

Fonte: Cintra e Aoki (2010).

Tabela 6 – Valores de β em função do tipo de estaca e tipo de solo.

Tipo de solo	Tipo de estaca				
	Escavada em geral	Escavada (bentonita)	Hélice contínua	Raiz	Injetada sob altas pressões
Argilas	0,80	0,90	1,00	1,50	3,00
Solos intermediários	0,65	0,75	1,00	1,50	3,00
Areias	0,50	0,60	1,00	1,50	3,00

Fonte: Cintra e Aoki (2010).

2.4 Método de Teixeira (1996)

De acordo com Cintra e Aoki (2010), o método de Teixeira, apresentado em 1996, foi desenvolvido com base na utilização prática e contínua de outros métodos, tais como o de Aoki-Velloso (1975) e Décourt-Quaresma (1978). Entretanto, o método não é aplicado para estacas pré-moldadas de concreto flutuantes em espessas camadas de argilas grossas sensíveis.

Teixeira sugere uma equação unificada (Eq. 5) para a determinação da capacidade de carga, em função de dois parâmetros (α e β).

$$R = \alpha N_p A_p + \beta N_L U L \quad (5)$$

Onde: N_p corresponde ao valor médio de resistência à penetração, sendo medido no intervalo de quatro diâmetros acima da ponta da estaca e um diâmetro abaixo; e N_L corresponde ao valor de resistência à penetração média ao longo do fuste. Já o parâmetro β (Tab. 7) é relativo à resistência lateral e independe do tipo de solo. O valor de β para estaca pré-moldada no método é de 4 kPa (CINTRA; AOKI, 2010). O parâmetro α (Tab. 8) é relativo à resistência na ponta da estaca e tem seu valor definido de acordo com o tipo de solo e tipo da estaca.

Tabela 7 – Valores do parâmetro β .

Tipo de estaca	β (kPa)
Pré-moldada e perfil metálico	4
Franki	5
Escavada a céu aberto	4
Raiz	6

Fonte: Cintra e Aoki (2010).

Tabela 8 – Valores do parâmetro α .

Tipo de solo ($4 \leq N_{SPT} \leq 40$)	Tipo de estaca – α (kPa)			
	Pré-moldada e perfil metálico	Franki	Escavada a céu aberto	Raiz
Argila siltosa	110	100	100	100
Silte argiloso	160	120	110	110
Argila arenosa	210	160	130	140
Silte arenoso	260	210	160	160
Areia argilosa	300	240	200	190
Areia siltosa	360	300	240	220
Areia	400	340	270	260
Areia com pedregulhos	440	380	310	290

Fonte: Cintra e Aoki (2010).

3 Desenvolvimento do programa

O programa SisDEst (Sistema de Dimensionamento de Estacas), registrado no Instituto Nacional da Propriedade Industrial (Inpi) sob o número BR 51 2020 002544-7, foi implementado utilizando a plataforma Delphi. Desenvolvido pela Embarcadero Technologies e baseado na geração mais atualizada da programação orientada a objeto (POO) em Pascal (*Object Pascal*), o Delphi representa um ambiente para o desenvolvimento de inúmeros aplicativos. A linguagem de programação Pascal tem como elemento básico uma sequência de instruções (procedimentos e funções). O *Object Pascal* representa uma ramificação dessa linguagem, a qual trabalha com objetos e cada um possui propriedades e funções a que pertencem.

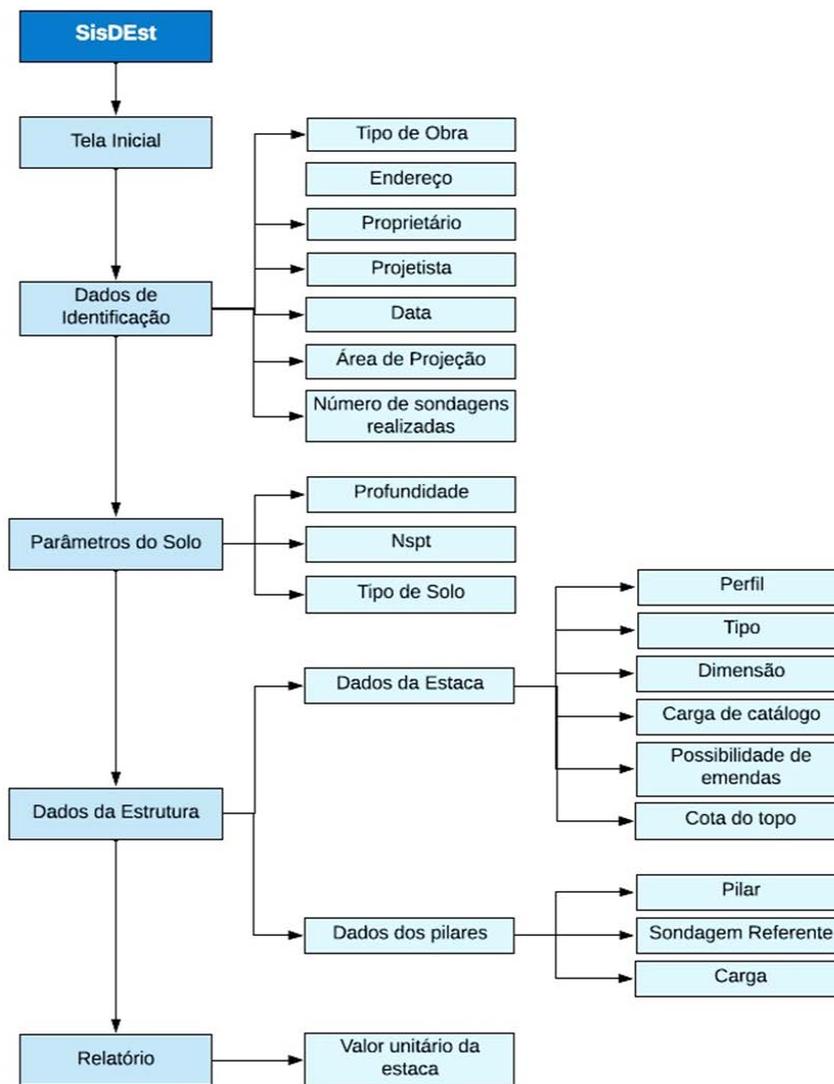
O programa computacional desenvolvido foi estruturado em classes, e seu emprego parte da entrada dos dados de identificação do projeto, tais como o tipo de obra, nome do proprietário, endereço da edificação, área de projeção, número de sondagens realizadas, nome do projetista responsável e data de elaboração do projeto. Na Figura 1 é exibida a sequência de dados a serem inseridos pelo usuário para a utilização do SisDEst.

O número de sondagens é o único campo de preenchimento indispensável para prosseguir com a utilização do programa, porém o preenchimento de todos os campos garante o fornecimento de um relatório completo. Em seguida, o usuário deve adicionar ao *software* os dados do resultado do ensaio com o SPT (profundidade, N_{SPT} e tipo de solo). Depois, o programa deve receber os dados da estaca a ser utilizada e, por último, a carga de cada pilar e a sondagem associada. Com isso, torna-se possível o dimensionamento das estacas bem como a obtenção de um relatório final.

O relatório final apresenta a carga admissível, o comprimento da estaca e o número de estacas por bloco de coroamento referente a cada pilar para os três métodos semiempíricos implementados. Além disso, denota o custo total a ser investido nas fundações considerando o valor da cravação da estaca, das emendas em solda e da mobilização e desmobilização do bate estaca e de outros equipamentos.

O SisDEst foi implementado empregando várias telas, as quais devem ser preenchidas sequencialmente para a obtenção de um relatório completo. A Figura 2 apresenta a tela inicial do programa, a qual conta com o botão *Iniciar*, que deve ser clicado para dar início ao uso do *software*, e o botão *Desenvolvedores*, que apresenta as informações iniciais sobre a ferramenta e contato dos programadores. Ao clicar no botão *Iniciar* o usuário tem acesso a uma tela a qual deve ser preenchida com os dados gerais de identificação do projeto (Fig.3).

Figura 1 – Entrada de dados do programa.



Fonte: Elaborado pelos autores, 2021.

Figura 2 – Tela inicial.



Fonte: Elaborado pelos autores, 2021.

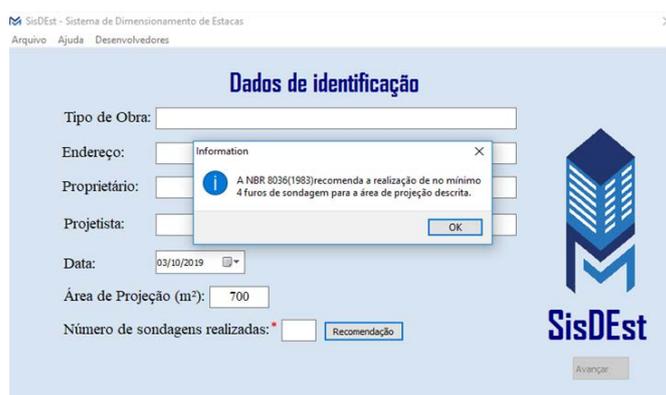
Figura 3 – Dados de identificação do projeto.



Fonte: Elaborado pelos autores, 2021.

Ao preencher o campo *Área de Projeção*, habilita-se o botão *Recomendação*, no qual é possível consultar o número de furos de sondagem recomendado pela NBR 8036 (ABNT, 1983) em função da área de projeção da edificação a ser construída. A mensagem exibida ao clicar neste botão é mostrada na Fig.(4). O preenchimento do campo *Número de sondagens realizadas* é obrigatório para seguir com o uso do *software* e este deve receber um número inteiro variando de 1 (um) a 9 (nove). Ao preencher esse campo, o botão *Avançar* é habilitado.

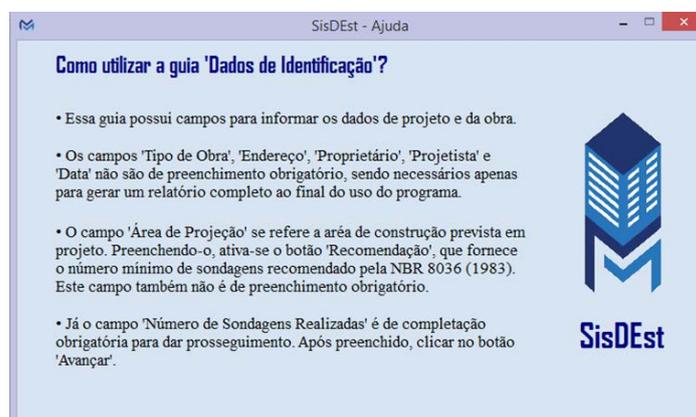
Figura 4 – Mensagem sobre o número mínimo de sondagens com o SPT.



Fonte: Elaborado pelos autores, 2021.

Todas as telas possuem um menu na parte superior com os botões: *Arquivo*, *Ajuda* e *Desenvolvedores*. O botão *arquivo* fornece as opções: *Novo*, *Abrir*, *Salvar Como* e *Fechar*. O botão *Ajuda* esclarece como utilizar cada tela e o botão *Desenvolvedores* retorna a tela demonstrada na Fig. (4). Para a guia *Dados de Identificação*, o botão *Ajuda* exibe a tela demonstrada na Fig. (5).

Figura 5 – Tela de ajuda para a guia *dados de identificação*.



Fonte: Elaborado pelos autores, 2021.

Ao preencher o campo *Número de sondagens realizadas* e clicar no botão *Avançar*, o usuário tem acesso à guia *Parâmetros do Solo* (Fig. 6). Nesta, deve-se adicionar ao programa os resultados das sondagens de simples reconhecimento com o SPT. Esses dados podem ser digitados diretamente no SisDEst ou importados de um arquivo do *Microsoft Office Excel*.

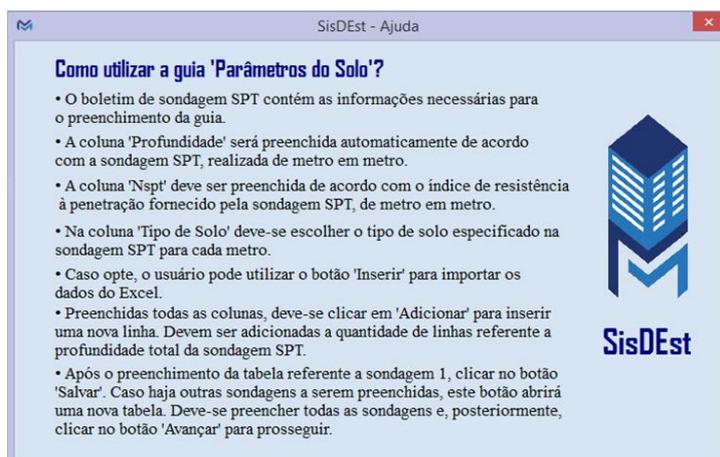
Ao digitar os resultados de uma sondagem, o usuário deve clicar no botão *Salvar*. Após digitar os resultados de todas as sondagens realizadas, deve-se clicar no botão *Avançar* para prosseguir. As telas referentes ao botão *Ajuda* da guia *Parâmetros do Solo* e do botão *Importar* estão apresentadas na Fig. (7) e Fig. (8), respectivamente.

Figura 6 –Tela para entrada de dados dos resultados de sondagens.



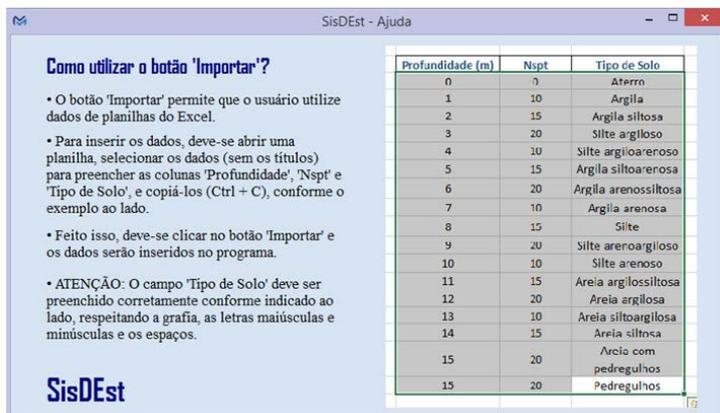
Fonte: Elaborado pelos autores, 2021.

Figura 7 –Tela de ajuda para a guia *Parâmetros do Solo*.



Fonte: Elaborado pelos autores, 2021.

Figura 8 –Tela de ajuda do botão *Importar* da guia *Parâmetros de Solo*.



Fonte: Elaborado pelos autores, 2021.

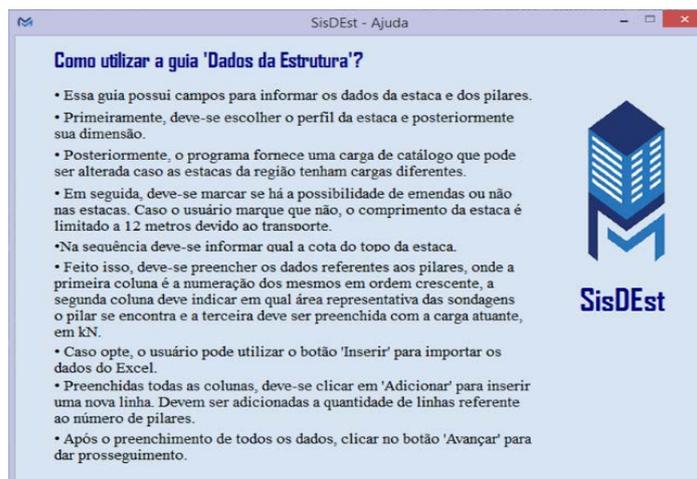
Na sequência tem-se a guia *Dados da Estrutura* (Fig. 9). Deve-se selecionar os dados da estaca (perfil e dimensão, carga de catálogo e a cota em que se encontrará seu topo) e definir se o elemento de fundação possui um comprimento fixo e o seu valor, ou se este deve ser determinado pelo *software* empregando as metodologias de projeto propostas por Cintra e Aoki (2010). Por fim, deve-se preencher os dados referentes aos pilares (numeração, sondagem a qual se referem e cargas atuantes), que também podem ser importados de um arquivo do *Microsoft Office Excel*. As telas referentes ao botão *Ajuda* das guias *Dados da Estrutura* e *Importar* estão apresentadas na Fig.(10) e Fig. (11), respectivamente.

Figura 9 – Tela de entrada dos dados da estrutura.



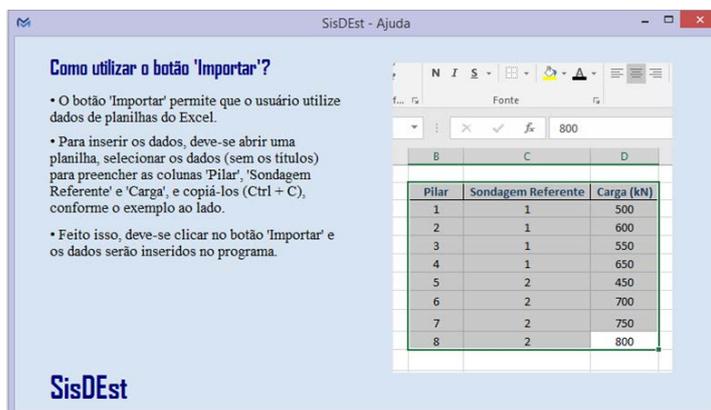
Fonte: Elaborado pelos autores, 2021.

Figura 10 – Tela de ajuda para a guia *Dados da Estrutura*.



Fonte: Elaborado pelos autores, 2021.

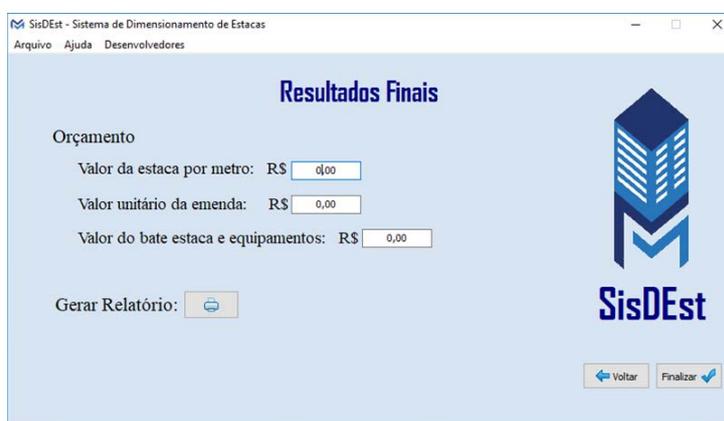
Figura 11 – Tela de ajuda do botão *Importar* da guia *Dados da Estrutura*.



Fonte: Elaborado pelos autores, 2021.

Após preencher todos os campos e clicar no botão *Avançar* abre-se a guia *Resultados Finais* (Fig.12). Nesta, é possível inserir o valor de cada estaca por metro, o custo da mobilização e desmobilização do bate estaca e equipamentos e o valor unitário das emendas em solda. Com isso, pode-se gerar um arquivo PDF, que contempla o dimensionamento das estacas e o orçamento, por meio das três metodologias semiempíricas apresentadas.

Figura 12 – Tela de resultados.



Fonte: Elaborado pelos autores, 2021.

4 Validação

O processo de validação é realizado com a finalidade de verificar se o *software* se encontra de acordo com os preceitos estabelecidos na fundamentação teórica, minimizando assim a probabilidade de erros. A execução desse processo consiste na resolução de exercícios em planilhas desenvolvidas no *Microsoft Office Excel* e no SisDEst, para posterior comparação desses resultados entre si e com os disponíveis na literatura.

O primeiro exercício utilizado encontra-se disposto na página 51 de Cintra e Aoki (2010) e trata da determinação da carga admissível de um estaqueamento, considerando o uso de estacas pré-moldadas de concreto centrifugado com diâmetro igual a 33 cm e carga de catálogo igual a 750 kN.

O cálculo da capacidade de carga foi realizado considerando a possibilidade e impossibilidade de emendas. Cintra e Aoki (2010) trazem a resolução apenas pelo método de Aoki-Velloso, desta forma os resultados gerados pelo *software*, por meio do uso deste método, poderão ser comparados à planilha do *Excel* e ao livro. Já os resultados obtidos pelos métodos de Décourt-Quaresma e Teixeira poderão ser comparados somente à planilha. Os resultados obtidos por Cintra e Aoki (2010) e SisDEst encontram-se na Tab. (9) e Tab. (10), respectivamente.

Tabela 9 – Resultados do dimensionamento de estacas de acordo com Cintra e Aoki (2010).

Possibilidade de emendas	Comprimento da estaca (m)	Capacidade de carga (kN)
Não	12	950
Sim	17	750

Fonte: Cintra e Aoki (2010).

Tabela 10 – Resultados obtidos com utilização do SisDEst.

Método	Possibilidade de emendas	Não	Sim
Aoki-Velloso	Comprimento da estaca (metros)	12	16
	Capacidade de carga (kN)	478,912	670,477
Décourt-Quaresma	Comprimento da estaca (metros)	12	19
	Capacidade de carga (kN)	282,235	617,221
Teixeira	Comprimento da estaca (metros)	12	19
	Capacidade de carga (kN)	269,289	644,973

Fonte: Elaborado pelos autores, 2021.

Comparando os resultados, observa-se que os valores obtidos com a utilização do *Excel* e do SisDEst encontram-se em total acordo. Entretanto, é possível perceber que os resultados encontrados pelos autores, os quais efetuaram a resolução apenas utilizando o método de Aoki-Velloso, não se encontram em conformidade com os valores encontrados pelo *Excel* e pelo SisDEst.

Em análise ao método de resolução utilizado por Cintra e Aoki (2010), nota-se que os autores partem de um valor médio de N_{SPT} da camada de solo, diferente do método de resolução do programa, que trabalha com o valor de N_{SPT} a cada metro de solo. Sendo assim, a diferença entre os resultados encontrados é justificada pelos arredondamentos realizados pelos autores e, com isso, verifica-se a efetividade do *software* desenvolvido.

A segunda etapa da validação consistiu na determinação da carga admissível de estacas pré-moldadas de concreto de seção quadrada com 30cm de lado e de seção circular com diâmetro igual a 26cm.

Como forma de comparação e conseqüente validação do SisDEst, utilizou-se os valores determinados por Melo (2018), que utiliza como referência um galpão industrial com 91 pilares com área edificada de aproximadamente 10.460m². O autor descreve que no galpão são utilizados equipamentos e maquinários pesados, o que justifica o uso de fundações do tipo estacas nessa edificação devido às elevadas cargas advindas da sua utilização. O processo de investigação geotécnica consistiu na realização de seis sondagens de simples reconhecimento com o SPT.

O dimensionamento dos elementos de fundação foi realizado utilizando o SisDEst. Nesse projeto foi definido um comprimento fixo de 20 metros para as estacas. Os resultados obtidos, calculados empregando os três métodos semiempíricos já descritos, para uma seção circular com diâmetro de 26cm, foram comparados aos encontrados por Melo (2018). Em seu trabalho, o autor realiza o dimensionamento de maneira explicativa para o pilar 46, que possui carregamento mais elevado, e considerando as condições geotécnicas conforme o SPT 04. Ainda, segundo o autor, esta conjuntura representa o pior cenário para o desempenho das estacas. Afim de obter um comparativo, as cargas obtidas por Melo (2018) e pelo SisDEst estão dispostas na Tab. (11).

Tabela 11 – Comparativo entre os resultados obtidos por Melo (2018) e pelo SisDEst.

Método	Seção	Carga admissível (kN)		
		Aoki-Velloso	Décourt-Quaresma	Teixeira
Melo (2018)	Circular	282,1	493,4	407,8
	Quadrada	445,6	736,4	489,3
SisDEst	Circular	348,3	302,2	275,9
	Quadrada	495,9	428,3	374,6

Fonte: Elaborado pelos autores, 2021.

Houve certa divergência dos resultados obtidos entre Melo (2018) e o SisDEst. Este resultado pode ser explicado pelo fato de Melo (2018) considerar o primeiro metro de sondagem nos cálculos da capacidade admissível, o que acarreta em um aumentado atrito lateral nas camadas posteriores.

Em uma comparação mais ampla, com base no método de Aoki-Velloso, percebe-se que os resultados obtidos por Melo (2018) representam aproximadamente 75% dos valores encontrados pelo SisDEst, e esta diferença é devida, possivelmente, a um uso fixo dos fatores de escala e execução (F1 e F2), tornando-se uma variável conservadora que tende em alguns casos, a majorar as cargas. No SisDEst, foram utilizados valores dinâmicos para cada caso e de acordo com a dimensão da seção da estaca, justificando a divergência de resultados, conforme visto na Tab. (11).

Na análise do método de Decourt-Quaresma, a diferença se justifica, pois o programa desenvolvido adota um fator de segurança (FS) igual a 2, como recomendado por norma. Já Melo (2018), utiliza os fatores de segurança recomendados pelos autores do método, sendo 4 para a resistência de ponta e 1,3 para a resistência lateral.

As diferenças encontradas no método de Teixeira são justificadas por uma divergência no cálculo da resistência de ponta, onde o SisDEst se embasa na descrição teórica de Aoki e Cintra (2010), a qual afirma que o valor de resistência à penetração (N_p) é o valor médio do índice de resistência à penetração (N_{SPT}) medido no intervalo de quatro diâmetros acima da ponta da estaca e um diâmetro abaixo. Melo (2018) faz

essa consideração de maneira distinta, que tende a majorar a resistência à penetração e, conseqüentemente, a resistência de ponta.

Sendo assim, dadas as justificativas dos procedimentos adotados e com base nos resultados obtidos, pode-se confirmar a efetividade do *software* desenvolvido no dimensionamento de estacas de concreto pré-moldado.

Por fim, realizou-se um orçamento considerando estaca pré-moldada de seção circular de 26 cm de diâmetro, uso de anéis soldados e a mobilização e desmobilização do bate estaca e dos equipamentos. Melo (2018) realizou cotações frente a empresas prestadoras de serviço, os quais estão apresentados na Tab. (12), que poderão ser empregadas neste trabalho.

Tabela 12 – Levantamento de custos.

Descrição	Unidade	Custo
Cravação da estaca pré-moldada (Ø26)	metro	R\$ 117,50
Emendas em solda para estaca pré-moldada	unidade	R\$ 50,00
Mobilização e desmobilização do bate estaca e dos equipamentos	unidade	R\$ 7.500,00

Fonte: Melo (2018).

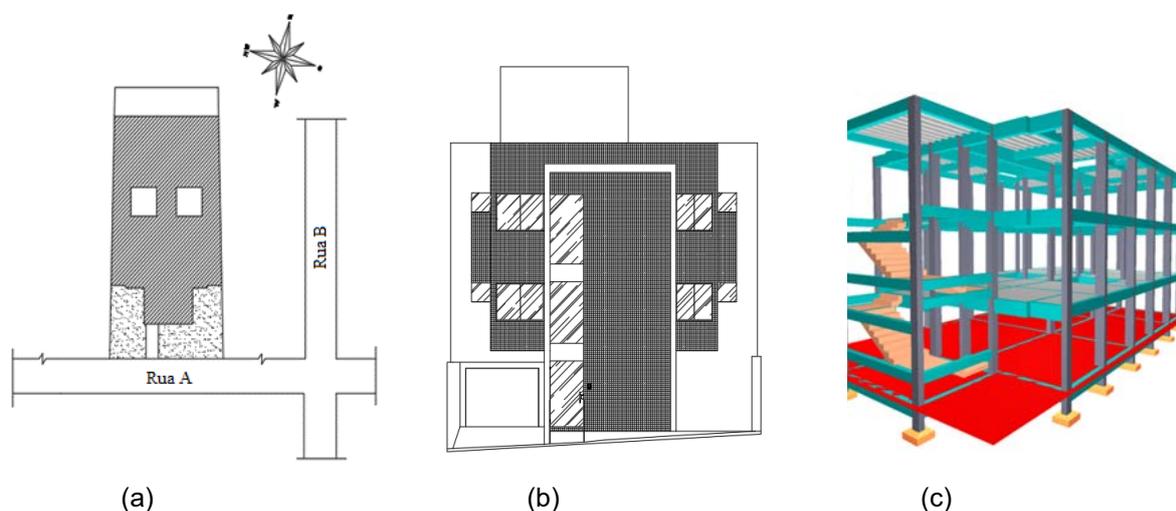
A fim de se obter um comparativo de custos, fez-se a média dos valores encontrados pelo SisDEst para os três métodos de cálculo em uso, visto que, em seu trabalho, Melo (2018) utiliza deste artifício para apresentar seus resultados. Assim, encontrou-se um valor igual a R\$332.355,00, o qual é inferior ao valor apresentado por Melo (2018) em seu trabalho (R\$346.337,90). Com isso, pode-se mostrar que o *software* desenvolvido se mostra eficiente e confiável, e que seu processo de dimensionamento, baseado nas recomendações dos métodos semiempíricos e da norma, reflete na obtenção de resultados com uma boa relação custo-benefício.

5 Estudo de caso

Para exemplificar a aplicabilidade do SisDEst, o estudo de caso baseou-se em um empreendimento (Fig.13) a ser implantado na cidade de Lavras, Minas Gerais. A edificação possui três pavimentos, área de projeção em planta de aproximadamente 170m², garagem no pavimento térreo e um total de sete *kitnets* divididas nos dois pavimentos superiores. A edificação conta com um total de 32 pilares, sendo 25 responsáveis por transmitir as cargas diretamente às fundações e 7 que se iniciam em pavimentos superiores e descarregam as cargas em vigas.

O dimensionamento estrutural foi realizado com a utilização do *software* Eberick (ALTOQI, 2019), sendo a representação do projeto e cargas atuantes em cada pilar apresentados na Fig.(13-c) e Tab.(13), respectivamente. Com o resultado da investigação do subsolo e a carga atuante nos pilares, considerando a utilização de estacas circulares centrifugadas de diâmetro igual a 26 cm, foi possível realizar o dimensionamento utilizando o SisDEst.

Figura 13 – Edificação estudada: a) planta de situação; b) fachada frontal; e c) representação tridimensional.



Fonte: Matriz Engenharia. Acervo da empresa.

Os valores necessários para a realização do orçamento (Tab. 14) foram consultados nas tabelas disponibilizadas pelo Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil – SINAPI, referente ao ano de 2019 e ao estado de Minas Gerais. É importante ressaltar que esses dados foram levantados apenas com caráter acadêmico, desconsiderando validade de propostas, localização, descontos e quaisquer outras condições que viessem interferir nos valores finais.

Tabela 13 – Carga atuante nos pilares.

Pilar	Sondagem referente	Carga atuante (kN)	Pilar	Sondagem referente	Carga atuante (kN)
1	1	2040	21	1	2180
2	1	2750	22	1	2810
3	1	1700	23	1	2570
4	1	2680	24	1	1430
5	1	1600	25	1	2220
6	1	1750	26	1	2240
7	1	2690	27	1	2700
8	1	2890	28	1	2450
9	1	2980	29	1	1250
10	1	2550	30	1	1150
15	1	2310	31	1	1610
16	1	2950	32	1	1530
19	1	6720	-	-	-

Fonte: Matriz Engenharia. Acervo da empresa.

Tabela 14 – Levantamento de custos.

Descrição	Unidade	Custo
Cravação da estaca pré-moldada (Ø33)	metro	R\$153,20
Emendas em solda para estaca pré-moldada	unidade	R\$54,90
Mobilização e desmobilização do bate estaca e dos equipamentos	unidade	R\$3800,00

Fonte: Melo (2018).

O relatório final apresentado pelo *software* encontra-se disposto na Fig. (14). Analisando os resultados encontrados, nota-se que o método de Aoki-Velloso forneceu um menor número de estacas, o que ocorre com grande frequência. Isso se deve ao fato de que neste método os parâmetros utilizados, os quais variam com o tipo de estaca e tipo de solo, tentem a majorar a capacidade de carga e, conseqüentemente, reduzir o número de estacas.

Embora Aoki-Velloso tenha apresentado um menor número de estacas (Fig. 15), pode-se observar que os três métodos resultaram em valores de mesma ordem de grandeza. Em referência ao método de Aoki-Velloso, a metodologia de Décourt-Quaresma apresentou valores de carga admissível de 13,25% menores, número de estacas de 10,31% maiores e um custo adicional de 25,15%. Já o método de Teixeira mostrou valores de carga admissível de 19,29% menores, um incremento de 16,49% na quantidade de estacas e um custo de 31,97% maior.

Vale ressaltar que os três métodos atendem aos critérios normativos e cabe ao projetista escolher o que melhor atende às necessidades do projeto.

Figura 14 – Dimensionamento no SisDEst: a) Aoki-Velloso; b) Décourt-Quaresma; e c) Teixeira. (continua)

Método 1: Aoki-Velloso (1975)

Pilar	Sondagem Referente	Carga Atuante (kN)	Carga Admissível (kN)	Comprimento (m)	Número de estacas por Bloco de Coroamento
1	1	2040	721,552	7	3
2	1	2750	721,552	7	4
3	1	1700	721,552	7	3
4	1	2680	721,552	7	4
5	1	1600	721,552	7	3
6	1	1750	721,552	7	3
7	1	2690	721,552	7	4
8	1	2890	721,552	7	5
9	1	2980	721,552	7	5
10	1	2550	721,552	7	4
15	1	2310	721,552	7	4
16	1	2950	721,552	7	5
19	1	6720	721,552	7	10
21	1	2180	721,552	7	4
22	1	2810	721,552	7	4
23	1	2570	721,552	7	4
24	1	1430	721,552	7	2
25	1	2220	721,552	7	4
26	1	2240	721,552	7	4
27	1	2700	721,552	7	4
28	1	2450	721,552	7	4
29	1	1250	721,552	7	2
30	1	1150	721,552	7	2
31	1	1610	721,552	7	3
32	1	1530	721,552	7	3

Método 2: Décourt-Quaresma (1978)

Pilar	Sondagem Referente	Carga Atuante (kN)	Carga Admissível (kN)	Comprimento (m)	Número de estacas por Bloco de Coroamento
1	1	2040	625,923	8	4
2	1	2750	625,923	8	5
3	1	1700	625,923	8	3
4	1	2680	625,923	8	5
5	1	1600	625,923	8	3
6	1	1750	625,923	8	3
7	1	2690	625,923	8	5
8	1	2890	625,923	8	5
9	1	2980	625,923	8	5
10	1	2550	625,923	8	5
15	1	2310	625,923	8	4
16	1	2950	625,923	8	5
19	1	6720	625,923	8	11
21	1	2180	625,923	8	4
22	1	2810	625,923	8	5
23	1	2570	625,923	8	5
24	1	1430	625,923	8	3
25	1	2220	625,923	8	4
26	1	2240	625,923	8	4
27	1	2700	625,923	8	5
28	1	2450	625,923	8	4
29	1	1250	625,923	8	2
30	1	1150	625,923	8	2
31	1	1610	625,923	8	3
32	1	1530	625,923	8	3

SisDEst - Sistema de Dimensionamento de Estacas

2/5

SisDEst - Sistema de Dimensionamento de Estacas

3/5

(a)

(b)

Figura 14 – Dimensionamento no SisDEst: a) Aoki-Velloso; b) Décourt-Quaresma; e c) Teixeira. (continuação)

Método 3: Teixeira (1996)

Pilar	Sondagem Referente	Carga Atuante (kN)	Carga Admissível (kN)	Comprimento (m)	Número de estacas por Bloco de Coroamento
1	1	2040	582,303	8	4
2	1	2750	582,303	8	5
3	1	1700	582,303	8	3
4	1	2680	582,303	8	5
5	1	1600	582,303	8	3
6	1	1750	582,303	8	4
7	1	2690	582,303	8	5
8	1	2890	582,303	8	5
9	1	2980	582,303	8	6
10	1	2550	582,303	8	5
15	1	2310	582,303	8	4
16	1	2950	582,303	8	6
19	1	6720	582,303	8	12
21	1	2180	582,303	8	4
22	1	2810	582,303	8	5
23	1	2570	582,303	8	5
24	1	1430	582,303	8	3
25	1	2220	582,303	8	4
26	1	2240	582,303	8	4
27	1	2700	582,303	8	5
28	1	2450	582,303	8	5
29	1	1250	582,303	8	3
30	1	1150	582,303	8	2
31	1	1610	582,303	8	3
32	1	1530	582,303	8	3

SisDEst - Sistema de Dimensionamento de Estacas

4/5

(c)

Fonte: Elaborado pelos autores, 2021.

Figura 15 – Resultado final apresentado pelo SisDEst.

Orçamento

Quantidade de estacas para cada método semi-empírico		
Aoki	Décourt-Quaresma	Teixeira
97	107	113

Custo Total - Método de Aoki e Velloso (1975)				
Descrição	Unidade	Quantidade	Custo Unitário	Custo Total
EstacaØ33 Pré-moldada	metro	679	153,20	RS104022,80
Emenda em solda	unidade		54,90	RS0,00
Bate estaca e equipamentos	unidade	1	3800,00	RS3800,00
TOTAL				RS107822,80

Custo Total - Método de Décourt-Quaresma (1978)				
Descrição	Unidade	Quantidade	Custo Unitário	Custo Total
EstacaØ33 Pré-moldada	metro	856	153,20	RS131139,20
Emenda em solda	unidade		54,90	RS0,00
Bate estaca e equipamentos	unidade	1	3800,00	RS3800,00
TOTAL				RS134939,20

Custo Total - Método de Teixeira (1996)				
Descrição	Unidade	Quantidade	Custo Unitário	Custo Total
EstacaØ33 Pré-moldada	metro	904	153,20	RS138492,80
Emenda em solda	unidade		54,90	RS0,00
Bate estaca e equipamentos	unidade	1	3800,00	RS3800,00
TOTAL				RS142292,80

Fonte: Elaborado pelos autores, 2021.

6 Conclusão

O trabalho consistiu na implementação de um código computacional para o dimensionamento de estacas. Denominado de SisDEst, o *software* desenvolvido possibilita o dimensionamento de estacas de concreto pré-moldado com base em resultados de sondagem de simples reconhecimento com o SPT aplicados a três métodos semiempíricos: Aoki- Velloso (1975), Décourt-Quaresma (1978) e Teixeira (1996). A utilização do *software* resulta em um relatório final que fornece a carga admissível, o comprimento da estaca e o número de estacas por bloco de coroamento referente a cada pilar para os três métodos semiempíricos implementados. Além disso, por meio de informações fornecidas pelo usuário (valor da cravação da estaca pré-moldada, das emendas em solda e da mobilização e desmobilização do bate estaca e dos equipamentos), juntamente com os resultados gerados pelo programa (comprimento e quantidade de estacas requeridas), consegue-se avaliar qual método apresenta a melhor relação custo-benefício.

O processo de validação do *software* consistiu na resolução de exercícios e estudos de caso, disponíveis na literatura, em planilhas desenvolvidas no *Microsoft Office Excel* e no SisDEst para posterior comparação

desses resultados. Mediante a validação realizada, pode-se comprovar a eficiência do programa, uma vez que os resultados obtidos se encontram em conformidade com os valores calculados por meio de planilhas desenvolvidas no *Microsoft Office Excel*. Além disso, quando se comparou as soluções obtidas com os resultados apresentados na literatura, pode-se verificar divergências nos valores de carga admissível que estão relacionadas a consideração do primeiro metro de sondagem nos cálculos, arredondamentos, consideração de diferentes fatores de escala e execução aplicados e também nos valores de fatores de segurança adotados nos métodos empregados neste trabalho.

Por fim, tendo em vista que os projetos de fundações compreendem um processo trabalhoso que envolvem diversos fatores geotécnicos e geométricos, pode-se concluir que o SisDEst apresenta uma forma de sanar estes problemas, uma vez que se trata de uma ferramenta computacional de fácil utilização e proporciona um aumento da produtividade e eficiência em projetos de fundações por estacas pré-moldadas de concreto. Com isso, a partir do seu registro no Instituto Nacional da Propriedade Industrial espera-se que o *software* seja largamente utilizado e difundido na área acadêmica e empresarial.

Agradecimentos

Agradecimentos à Universidade Federal de Lavras (UFLA) pelo fornecimento de estrutura para realização deste trabalho, e à Matriz Engenharia que gentilmente cedeu material do seu acervo de projetos para a realização do estudo de caso presente neste trabalho.

Referências

- ALBUQUERQUE, P. J. R.; GARCIA, J. R. **Engenharia de Fundações**. Rio de Janeiro: LTC, 2020.
- ALTOQI. **Eberick**. [s.l.]: AltoQI, 2019. Disponível em: <https://altoqi.com.br/eberick/#>. Acesso em: 01 dez. 2020.
- AOKI, N.; VELLOSO, D. A. **An approximate method to estimate the bearing capacity of piles**. In: CONGRESSO PANAMERICANO DE MECANICA DE SUELOS E INGENIERIA DE FUNDACIONES, 5., 1975, Buenos Aires. **Anais [...]**. Buenos Aires: International Society of Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, 1975. p. 367-376.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 6120**: construção civil: cargas para o cálculo de estruturas de edificações. Rio de Janeiro: ABNT, 2019a.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 6122**: construção civil: projeto e execução de fundações. Rio de Janeiro: ABNT, 2019b.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 8036**: construção civil: programação de sondagem de simples reconhecimento dos solos para fundações de edifícios. Rio de Janeiro: ABNT, 1983.
- 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: CONGRESSO BRASILEIRO DE MECÂNICA DOS SOLOS E ENGENHARIA DE FUNDAÇÕES, 7., 1978, Rio de Janeiro. **Anais [...]**. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Mecânica dos Solos, v.1, 1978. p. 45-53.
- FALCONI, F. *et al.* **Fundações**: teoria e prática. 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 1998.
- MELO, L. S. **Análise de viabilidade técnico/econômico entre fundações profundas**: estudo de caso entre estaca pré-moldada em concreto armado e tipo hélice em um galpão industrial. 2018. 139 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Engenharia Civil) – Centro Universitário do Sul de Minas, Varginha, MG, 2018.
- MONTEIRO, T. M.; ARAÚJO, C. B. C.; AGUIAR, M. F. P. Análise de métodos semiempíricos nacionais e internacionais para determinação da capacidade de carga axial em estacas tipo raiz. **Revista Tecnologia**,

Fortaleza, v. 2, n. 38, p. 1-16, dez. 2017. DOI: 10.5020/23180730.2017.V38.2.7130. Disponível em: <https://ojs.unifor.br/tec/article/view/7130>. Acesso em: 30 jan. 2023.

SILVA, R. R. C. Análise de métodos de previsão de capacidade de carga em estaca raiz a partir do comportamento em ensaios de carregamento estático e dinâmico. **Revista Tecnologia**, Fortaleza, v. 2, n. 41, p. 1-14, dez. 2020. DOI: 10.5020/23180730.0.10788. Disponível em: <https://ojs.unifor.br/tec/article/view/10788>. Acesso em: 30 jan. 2023.

TEIXEIRA, A. H. Projeto e execução de fundações. *In*: SEMINÁRIO DE ENGENHARIA DE FUNDAÇÕES ESPECIAIS E GEOTECNIA, 3, 1996, São Paulo. **Anais [...]**. São Paulo: ABEF/ABMS, v. 1, 1996. p. 33-50.

VELLOSO, D. A.; LOPES, F. F. R. **Fundações**: fundações profundas. São Paulo: Oficina de Textos, 2010.

Sobre os autores

Milena Camila de Oliveira

Graduada em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Lavras – UFLA (2020). Possui experiência acadêmica na área de geotecnia por meio de estágios, iniciações científicas e trabalho de conclusão de curso.

Millena Cristina de Barros

Graduada em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Lavras – UFLA (2020). Possui experiência acadêmica na área de geotecnia por meio de estágios, iniciações científicas e trabalho de conclusão de curso.

Eduardo Souza Cândido

Possui graduação (2013), mestrado (2016) e doutorado (2020) em Engenharia Civil, área de concentração em Geotecnia, pela Universidade Federal de Viçosa. Atualmente é Professor Adjunto da Universidade Federal de Lavras. Tem experiência na área de Engenharia Civil, com ênfase em Mecânica dos Solos, atuando principalmente em ensaios especiais de laboratório e campo para determinação de propriedades mecânicas de solos e rejeitos de mineração, modelagem numérica do comportamento destes materiais e métodos numéricos em Geotecnia.

Luisa de Moura Leão

Mestranda em Geotecnia Ambiental pela Universidade Federal de Lavras – UFLA, e Pós-Graduada em Gestão de Projetos pela Universidade de São Paulo – USP. Bacharela em Engenharia Civil pela Universidade do Estado de Minas Gerais – UEMG (2018).

Alexandre Vilaça Silva

Graduando em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Lavras – UFLA. Possui experiências acadêmicas na área da geotecnia através de estágios e iniciações científicas. Atualmente é estagiário das áreas de resíduos de bauxita da Alcoa Alumínio S.A., onde trabalha na célula de monitoramento das barragens da fábrica de Poços de Caldas/MG.

Fernanda Aparecida Souza

Graduanda em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Lavras – UFLA. Formação técnica em Mecatrônica pelo Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais – CEFET- MG (2012), com experiência na área de eletroeletrônica industrial e elétrica predial.

André Geraldo Cornélio Ribeiro

Possui graduação (2005), mestrado (2007) e doutorado (2011) em Engenharia Civil, área de concentração em Geotecnia, pela Universidade Federal de Viçosa. Atualmente é Professor Associado e Chefe do Departamento de Engenharia Ambiental da Universidade Federal de Lavras. Tem experiência na área de Engenharia Civil, com ênfase em Engenharia Geotécnica, atuando principalmente nas áreas de investigação geológico-geotécnica, gestão de resíduos sólidos, sistemas de coberturas evapotranspirativas e projeto de aterro sanitário.

Claudiana Mesquita de Alvarenga

Graduanda em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Lavras (2017-presente).

Avaliado em: 22.03.2022

Aceito em: 06.03.2023