UNIVERSIDADE CESUMAR - UNICESUMAR
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS TECNOLÓGICAS E AGRÁRIAS
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

ELABORAÇÃO DE PLANILHA ELETRÔNICA PARA AUXILIAR NA FASE DE ANTE PROJETO DE FUNDAÇÕES.

ANANDA DA SILVA FIGUEIREDO

MARINGÁ – PR
2020

Ananda da Silva Figueiredo

ELABORAÇÃO DE PLANILHA ELETRÔNICA PARA AUXILIAR NA FASE DE ANTE PROJETO DE FUNDAÇÕES.

Artigo apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia Civil da Universidade Cesumar – UNICESUMAR como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel(a) em Engenharia Civil, sob a orientação do Prof. Esp. Raphael Parra Mendonça.

MARINGÁ – PR

2020

FOLHA DE APROVAÇÃO

ANANDA DA SILVA FIGUEIREDO

ELABORAÇÃO DE PLANILHA ELETRÔNICA PARA AUXILIAR NA FASE DE ANTE PROJETO DE FUNDAÇÕES.

Artigo apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia Civil da Universidade Cesumar – UNICESUMAR como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel(a) em Engenharia Civil, sob a orientação do Prof. Esp. Raphael Parra Mendonça.

Aprovado em: ____ de _____ de _____.

BANCA EXAMINADORA

_____

Prof. Esp. Raphael Parra Mendonça - UNICESUMAR

_____

Prof. Me. Judson Ricardo Ribeiro da Silva - UNICESUMAR

_____

Prof. Me. Claudio de Souza Rodrigues - UNICESUMAR

ELABORAÇÃO DE PLANILHA ELETRÔNICA PARA AUXILIAR NA FASE DE ANTE PROJETO DE FUNDAÇÕES.

Ananda da Silva Figueiredo

RESUMO

Este trabalho consiste na elaboração de uma planilha eletrônica cuja função é realizar um estudo comparativo entre fundações do grupo estacas escavadas, abrangendo principalmente o tipo hélice contínua, estaca escavada de grande diâmetro com fluído estabilizante e estaca escavada sem fluido estabilizante. As fundações, mesmo que não vistas, são consideradas os elementos principais de uma estrutura, e muitas vezes por ser o primeiro projeto executado em uma obra, não são analisados com profundidade, assim, gerando custos adicionais devido à falta de um estudo adequado de viabilidade. O estudo apresentado tem como objetivo otimizar a elaboração de cálculos de cargas e quantitativos de forma que, em seu resultado final, apresente um comparativo de custos de maneira gráfica para que o usuário do programa tenha a possibilidade de optar pela fundação com o menor custo e com eficácia garantida, assim, otimizando tempo de análises de viabilidade de fundações e garantindo a qualidade de seus processos. Diante dos resultados obtidos, foi possível verificar que o algoritmo proposto gerou análises satisfatórias, assemelhando-se aos da literatura abordada, trazendo ao final um comparativo entre diferentes tipos de diâmetros e estacas escavadas. No exemplo analisado pela planilha eletrônica, chegou-se aos comparativos de custos identificando que nem sempre o menor diâmetro compensa economicamente. Dessa forma, prova-se a importância de um estudo de viabilidade para realizar a escolha do tipo de fundação adequada evitando gastos excessivos.

Palavras-chave: Custos. Estaca escavada. Planilha.

ELABORATION OF ELECTRONIC SPREADSHEET TO ASSIST IN THE PRE-FOUNDATION PROJECT PHASE.

ABSTRACT

This work consists of the elaboration of an electronic spreadsheet whose function is to carry out a comparative study between the foundations of the excavated piles group, mainly covering the continuous helix type, large diameter excavated pile with stabilizing fluid and excavated pile without stabilizing fluid. Foundations, even if not seen, are considered the main elements of a structure, and often because it is the first project developed on a construction site, they are not analyzed in depth, thus generating additional costs due to the lack of an adequate feasibility study. The presented study aims to optimize the elaboration of load and quantitative calculations so that,

in its final result, a cost comparison is presented graphically so that the program user has the possibility of choosing the foundation with the lowest cost and with guaranteed effectiveness, thus, optimizing time for feasibility analysis of foundations and guaranteeing the quality of its processes. In view of the results obtained, it was possible to verify that the proposed algorithm generated satisfactory analyzes, resembling the approached literature, resulting in a comparison between different types of diameters and excavated piles. In the example analyzed by the spreadsheet, cost comparisons were arrived at, identifying that not always the smallest diameter pays off economically. Therefore, it proves the importance of a feasibility study to choose the suitable foundation type avoiding excessive expenses.

Keywords: Costs. Excavated pile. Spreadsheet.

1 INTRODUÇÃO

Sempre buscando vincular inovações tecnológicas com otimização de tempo e custo, a engenharia civil está frequentemente desenvolvendo novos métodos para suprir suas necessidades de projeto, planejamento e execução de forma ágil e econômica. Tendo em vista que o custo e o prazo são fatores decisivos à viabilidade de um projeto, as empresas no ramo da construção civil têm cada vez mais o desafio de obter estudos de análises rápidas e eficientes do melhor arranjo para suas edificações.

Na engenharia de fundações esses princípios iniciais não são diferentes. Segundo Brito (1987, apud Melhado et al, 2002), "fundações bem projetadas correspondem de 3% a 10% do custo total da edificação; porém, se forem mal concebidas e mal projetadas, podem atingir 5 a 10 vezes o custo da solução mais apropriada para o caso". Melhado et al (2002) também enfatiza a necessidade de conhecer os esforços atuantes da edificação, características geotécnicas do solo assim como os elementos estruturais que formam as fundações. O conhecimento de tais características da estrutura garante que não haja o dimensionamento insatisfatório ou o super dimensionamento da fundação, dessa forma, evitando aumento de tempo de execução da obra e, consequentemente, o aumento de custos da edificação.

Para minimizar, ou até mesmo suspender esses problemas de dimensionamento, cada vez mais têm sido realizados trabalhos com esta linha de pesquisa e as planilhas eletrônicas têm ganhado gradualmente mais espaço no mercado, como por exemplo a tese apresentada por Cardoso (2011), onde foi desenvolvido um programa de cálculo de sapatas de concreto armado.

Diante da necessidade das empresas projetistas de desenvolver um estudo preliminar das fundações de forma rápida e economicamente viável, esse trabalho tem como objetivo comparar dados geotécnicos e estruturais de forma individual, ou seja, de acordo com a carga advinda de cada pilar da estrutura. Assim, este consiste na elaboração de uma planilha eletrônica apta para automatizar as análises comparativas de esforços solo-estrutura, quantitativo de materiais, utilização de maquinários e mão de obra, de acordo com a combinação de dados normativos e por meio de gráficos comparativos, propor o tipo de estaca escavada e o diâmetro mais viável para a edificação analisada.

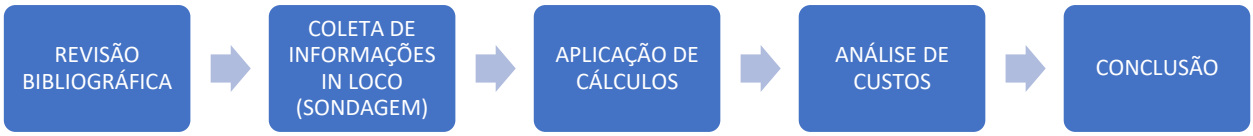
2 METODOLOGIA

Será elaborada uma planilha eletrônica contendo um algoritmo em Visual Basic for Applications (VBA), que nada mais é do que uma linguagem de programação de um pacote e

aplicativos, que segundo Zulian (2013) é capaz de acessar dados de um ou mais arquivos; manipular objetos; criar funções, criar estruturas de condições e repetição; fazer cálculos e problemas complexos, dentre outras funções.

Para a melhor organização, o estudo de viabilidade será definido em quatro etapas como representado na figura 1:

Figura 1: fluxograma



Fonte: autora (2020).

(i) Realização de pesquisa bibliográfica a respeito dos principais tipos de estacas profundas escavadas por meio de livros, teses e artigos técnicos;

(ii) Coleta de informações por meio de laudos de sondagens realizadas in loco;

(iii) Utilização de métodos de cálculos de capacidade de carga, carga admissível e determinação de volumes e armaduras atuantes por meio da metodologia proposta por Decourt & Quaresma (1978).

(iv) Análise de custos por meio de operações realizadas in loco contabilizando cada operação de cada perfil de fundação como o tipo de escavação, materiais utilizados, utilização de maquinários e mão-de-obra.

3 DESENVOLVIMENTO

A fundação é definida como um elemento estrutural, cuja principal responsabilidade é a de transferir cargas advindas da superestrutura para o solo, de maneira que resista a tais esforços sem que haja o colapso ou recalque da estrutura, podendo ser divididas entre fundações rasas e profundas. Sendo fundações rasas, aquelas que atingem pequenas profundidades distribuindo suas cargas de forma que suas tensões sejam transferidas ao solo por meio de sua

base. Já as fundações profundas, atingem cotas superiores a três metros e a transferência de suas cargas para o solo em sua maior parte é lateral, ou seja, a resistência é gerada pelo fuste da estaca.

Para Velloso e Lopes (2010), na engenharia de fundações, o profissional vai lidar com um material natural sobre o qual pouco pode atuar, isto é, tem que aceitá-lo tal como ele se apresenta, com suas propriedades e comportamento específicos. Devido a isso, a estrutura deve ser estudada e dimensionada minuciosamente para que não haja grandes problemas com patologias futuras.

Segundo Alonso (1991), as fundações devem ser projetadas e executadas para garantir as condições mínimas de segurança, funcionalidade, e durabilidade, e que o bom desempenho da fundação está intimamente ligado ao controle e à garantia de qualidade impostos pelas equipes envolvidas.

3.1 INVESTIGAÇÃO GEOTÉCNICA

Para se dar início a qualquer etapa de um projeto de fundações, antes, é necessário que haja um reconhecimento das condições do subsolo estudado, assim, identificando e classificando as diversas camadas presentes no solo.

> Para qualquer edificação deve ser feita uma campanha de investigação geotécnica preliminar, constituída no mínimo por sondagens a percussão (com SPT), visando a determinação da estratigrafia e classificação dos solos, a posição do nível d água e a medida do índice de resistência à penetração NSPT, de acordo com a ABNT NBR 6484 (Associação Brasileira de Normas Técnicas 6122/2019 – Projeto e execução de fundações).

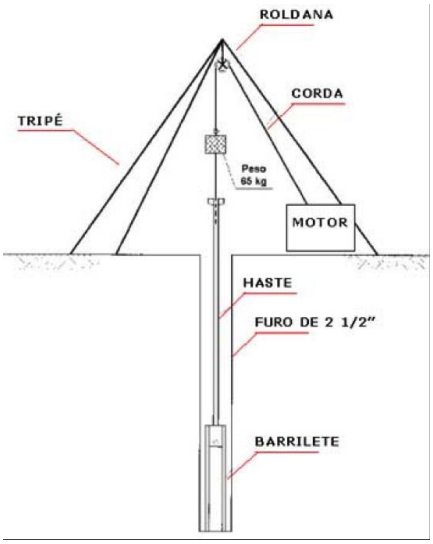
Segundo Quaresma e col. (1998), a obtenção de amostras ou a utilização de algum outro processo para a identificação e classificação de solos exige a execução de ensaios “in situ”. Entre os ensaios de campo existentes alguns que se destacam são: o “Standart Penetration Test” – SPT, o “Standart Penetration Test” complementado com medidas de torque – SPT-T, o ensaio de penetração de cone – CPT, o ensaio de penetração de cone com medida das pressões neutras – CPT-U, e etc.

Dentre os inúmeros tipos de ensaios para investigação de subsolo existentes, no Brasil, o mais executado é o SPT, que consiste em uma sondagem de simples reconhecimento à

percussão onde os principais objetivos são de aferir a resistência oferecida pelo solo trabalhado por meio da cravação do amostrador padrão a cada metro perfurado, e identificar, caso haja, cotas de nível d'água existente no terreno.

Segundo a Associação Brasileira de Normas Técnicas NBR 6484/2020 - Sondagem de simples reconhecimento SPT - Método de ensaio (ABNT 6484/2020), inicia-se este procedimento de sondagem com a perfuração de uma profundidade de 1 metro por meio de um trado helicoidal ou uma cavadeira manual, em seguida com o equipamento de sondagem SPT representado na figura 2:

Figura 2 – Equipamento de sondagem SPT.



Fonte: Estemco Fundações e Sondagens (2017).

É iniciado um processo de golpes sucessivos no solo, que ocorre por meio da queda livre de um peso de 65kg a uma altura de 75cm. O amostrador deve perfurar uma cota de 45cm divididos em três partes iguais de 15cm. Nesta etapa, deve-se anotar, separadamente, o número de golpes necessários à cravação de cada segmento de 15cm do amostrador-padrão, na prática, o número de golpes empregados podem não atingir a cota exata de 15cm, dessa forma, utiliza-se o valor adquirido imediatamente após os 15cm, como por exemplo: sete golpes para a penetração de 17cm. "Quando a cravação atingir 45 cm, o índice de resistência à penetração 'N' é expresso como a soma do número de golpes requeridos para a segunda e a terceira etapas de penetração de 15 cm" (ABNT 6484/2020).

A cravação do amostrador padrão, ainda de acordo com a ABNT 6484/2020, só pode ser interrompida em duas situações, quando:

(a) em qualquer dos três segmentos de 15 cm, o número de golpes ultrapassar 30;
(b) o amostrador-padrão não avançar durante a aplicação de cinco golpes sucessivos do martelo.

Quando atingidas tais condições, deve-se executar o ensaio de avanço da perfuração por circulação de água, com duração de 30 minutos, anotando os avanços obtidos em cada período de 10 minutos. “A sondagem deve ser dada por encerrada quando, no ensaio de avanço da perfuração por circulação de água, forem obtidos avanços inferiores a 50mm em cada período de 10min ou quando, após a realização de quatro ensaios consecutivos, não for alcançada a profundidade de execução do SPT” (ABNT 6484/2020).

Conforme os resultados encontrados nas amostras colhidas no ensaio SPT é possível gerar um laudo, onde é determinada cada profundidade cravada, a resistência da camada de acordo com a quantidade de golpes necessários para a penetração no solo, a posição do nível d’água, caso encontrado, e por meio da classificação tátil-visual realizada em laboratórios, é possível definir a composição do perfil do solo estudado.

3.2 ESTACAS ESCAVADAS SEM FLUIDO ESTABILIZANTE

Segundo Silva (2014), esse tipo de fundação é normalmente empregada em perfis de substrato que apresentam propriedade coesiva e acima do nível freático, por se tratar de uma escavação não revestida e sem uso de fluidos estabilizantes. A Associação Brasileira de Normas Técnicas 6122/2019 – Projeto e execução de fundações (ABNT 6122/2019), define estacas escavadas em geral, como um elemento de fundação escavado in loco, por meio da concretagem de um furo executado fazendo o uso de um trado espiral, onde a escavação se mantenha estável sem a necessidade de um fluido estabilizante.

Caracterizada por sua simplicidade, além de ter uma boa produtividade, as vibrações geradas por esse tipo de fundação são quase nulas, o que reduz os problemas causados, geralmente, nas vizinhanças. Com o custo relativamente baixo, geralmente empregadas em edificações populares de três a cinco pavimentos.

Lorenzi (2012 apud Militisky et al 1988), relaciona alguns fatores que devem ser observados no uso de estacas escavadas:

(i) Verticalidade da escavação;
(ii) Comprimento e diâmetros reais;
(iii) Limpeza do furo de escavação;
(iv) Possíveis desmoronamentos do fuste durante a escavação;

(v) Tempo decorrido entre o fim da escavação e a concretagem;
(vi) Irregularidades na concretagem;
(vii) Volume de concreto utilizado
(viii) Horário de início e fim de cada etapa de concretagem.

3.3 ESTACAS ESCAVADAS COM FLUIDO ESTABILIZANTE

A lama bentonítica consiste em uma mistura de água e de argila, nomeada bentonita. Tal material é conhecido como tixotrópico, ou seja, ele muda seu estado físico de acordo com a dispersão de suas partículas. Em repouso, tem uma forma gelatinosa, o que afere a ele uma função impermeável causando um efeito chamado estabilizante e, quando agitado, sua forma é fluida. De acordo com Saes (1998), a execução de estacas escavadas com o uso de lama bentonítica, tem o objetivo de:

a) conter o fundo e as paredes da escavação pela ação de uma pressão hidrostática sobre as mesmas;
b) ser facilmente deslocada e substituída pelo concreto;
c) manter os resíduos da escavação em suspensão afim de evitar sua deposição no fundo da escavação;
d) ser facilmente bombeado.

Para se dar início à escavação da estaca, a ABNT 6122/2019 recomenda que seja utilizada uma camisa metálica com finalidade de guiar a ferramenta de escavação. Essa deve ter a espessura 5 cm maior que a estaca projetada e deve ser embutida no terreno com a profundidade maior que 1,0 m. Após a alocação do tubo guia é dado início a escavação da estaca, nesta etapa deve-se haver a cautela de aferir o prumo à medida que a escavação progride, e a mesma deve ocorrer sincronicamente ao lançamento do fluido estabilizante.

Nesse tipo de fundação as armaduras de projeto são instaladas antes da concretagem. Montadas previamente, as armações são içadas e posicionadas no local, já escavado, com os devidos espaçadores para assegurar que a fundação tenha o cobrimento de concreto necessário para garantir a proteção das armaduras. A concretagem do estacão deve ser feita imediatamente após as execuções anteriores, de forma submersa e contínua utilizando um tubo tremonha.

3.4 ESTACA HÉLICE CONTÍNUA

A norma ABNT 6122/2019 traz esse tipo de fundação como uma estaca moldada in loco, executada mediante a introdução no terreno, por rotação de um trado helicoidal contínuo, onde a injeção de concreto é feita pela haste central do trado simultaneamente à sua retirada. A armadura é sempre inserida após a concretagem junto a seus devidos espaçadores para garantir o cobrimento adequado da ferragem.

Uma das grandes vantagens desse tipo de estaca é que a execução dela pode ser monitorada eletronicamente. De acordo com Velloso e Lopes (2010), o monitoramento é feito por meio de um computador ligado a sensores instalados na máquina de perfuração podendo se obter os seguintes resultados: comprimento da estaca, inclinação, torque, velocidade de rotação, velocidade de penetração do trado, pressão e velocidade do concreto, velocidade de extração do trado, etc.

3.5 MÉTODOS DE CÁLCULO

3.5.1 CAPACIDADE DE CARGA

Capacidade de carga de uma fundação profunda é definida como a carga que a estrutura pode suportar sem que haja um colapso do elemento de fundação, ou o escoamento do solo que lhe confere sustentação. Segundo Alonso (1983), o cálculo da capacidade de carga de uma estaca pode ser feito por meio de dois métodos: (i) realização de provas de carga e (ii) métodos semiempíricos.

De acordo com Cintra e Aoki (2010), métodos semiempíricos são correlações empíricas com resultados de ensaios in situ e ajustados com provas de carga. Existem inúmeros autores que trabalham com estudos desses métodos como Décourt-Quaresma (1978), cujo principal objetivo é levar em conta os valores “N” do ensaio de SPT, onde sua aplicação inicialmente foi desenvolvida para o dimensionamento de estacas pré-moldadas de concreto e, em 1996, foi estendido por Décourt a uma variedade de estacas como por exemplo, as descritas no item 3.2 do presente trabalho.

$$R = R_L + R_P \quad (1)$$

R= carga de ruptura, ou capacidade de carga;

R_L = parcela de carga de ruptura devido ao atrito lateral solo-estaca desenvolvido ao longo do fuste da estaca;
R_P = parcela de carga de ruptura devido à resistência da ponta da estaca.

$$R_L = r_L A_L \quad (2)$$

r_L = estimativa de tensão de adesão ou de atrito lateral;

A_L= área lateral da estaca.

$$R_P = r_P A_p \quad (3)$$

r_P= capacidade de carga junto à ponta ou base da estaca;

A_p= área da ponta da estaca.

$$r_L = \beta . 10 \left(\frac{N_L}{3} + 1\right) \quad (4)$$

N_L= valor médio do índice de resistência à penetração do SPT ao longo do fuste.

Nessa etapa, deve-se ficar atento aos valores de N dados no ensaio SPT, pois se:

$$N > 50;\ N_L = 50$$

$$N < 3;\ N_L = 3$$

β= coeficiente determinado em função do tipo de estaca descrito na tabela 1;

Tabela 1 - Valores de fator β em função do tipo de estaca e do tipo de solo

Tipo de solo	Escavada em geral	Escavada com fluido estabilizante	Hélice contínua	Raíz	Injetadas sob altas pressões	Pré-moldada
Argilas	0,85	0,9	1,0	1,5	3,0	1,0
Solos intermediários	0,65	0,75	1,0	1,5	3,0	1,0
Areias	0,5	0,6	1,0	1,5	3,0	1,0

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

Para a obtenção do coeficiente β no uso da tabela acima é essencial que se saiba o tipo de solo onde a estaca estará apoiada, bem como o tipo de estaca que está sendo estudada. Dessa forma, é possível dar sequência nos cálculos de resistência lateral da estrutura.

$r_P = \alpha . C . N_P$ ..... *(5)*

N_P= valor médio do índice de resistência de ponta da estaca.

α = coeficiente determinado em função do tipo de estaca descrito na tabela 2 representada abaixo;

C= coeficiente característico do solo obtido através da tabela 3;

Tabela 2 - Valores de fator α em função do tipo de estaca e do tipo de solo

Tipo de solo	Escavada em geral	Escavada com fluido estabilizante	Hélice contínua	Raíz	Injetadas sob altas pressões	Pré-moldada
Argilas	0,85	0,85	0,3	0,85	1,0	1,0
Solos intermediários	0,6	0,6	0,3	0,6	1,0	1,0
Areias	0,5	0,5	0,3	0,5	1,0	1,0

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

O coeficiente α, assemelha-se a β devido à praticidade de se encaixar na tabela, alterando somente o resultado, portanto, para a obtenção dos valores também será necessária a identificação do tipo de solo e da estaca escavada proposta.

Tabela 3- Coeficiente característico do solo C

Tipo de solo	C(kPa)
Argila	120
Silte Argiloso	200
Silte Arenoso	250
Areia	400

Fonte: (CINTRA E AOKI,2010, p. 27).

O valor de C é dado como o coeficiente característico do solo, portanto, é necessário ter identificado o tipo de solo onde se está sendo trabalhado para obter seu resultado.

E por fim a capacidade de carga será definida pela seguinte equação:

$$R = \alpha\, C\, N_P\, A_P + \beta\, 10 \left(\frac{N_L}{3} + 1\right) A_L \quad \text{.....} \quad (6)$$

Referência de cálculo (CINTRA; AOKI. 2010).

3.5.2 CARGA ADMISSÍVEL

Existem inúmeros tipos de filosofias adotadas quando se trata de carga admissível de uma estrutura e, a metodologia abordada por Decóurt, parte do princípio onde devemos dimensionar a tensão admissível utilizando o valor médio da capacidade de carga e um coeficiente de segurança global. Segundo Cintra e Aoki (2010), o princípio dessa filosofia de projeto é o de garantir que a solicitação em cada estaca não seja superior à carga admissível. Sendo assim, seu coeficiente de segurança é obtido da seguinte maneira:

$$F = F_p . F_f . F_d . F_w \quad \text{.....} \quad (7)$$

F_p= Coeficiente de segurança relativo aos parâmetros do solo (= 1,1 para o atrito lateral; 1,35 para a resistência de ponta);

F_f= Coeficiente de segurança relativo à formulação adotada (=1,0);

F_d= Coeficiente de segurança para evitar recalques excessivos (=1 para o atrito lateral; e 2,5 para a resistência de ponta);

F_w= Coeficiente de segurança relativo à carga de trabalho da estaca (=1,2).

Sendo assim, para a resistência lateral temos:

$$F_S = 1{,}1x1{,}0x1{,}0x1{,}2x1{,}2 = 1{,}32 \approx 1{,}3$$

E para a resistência de ponta:

$$F_S = 1{,}35x1{,}0x2{,}5x1{,}2 = 4{,}05 \approx 4$$

$$P_{proj} \leq \begin{cases} P_a = \frac{R_L}{1{,}3} + \frac{R_P}{4} \\ P_a = \frac{R}{2} \end{cases} \quad \text{..... (8)}$$

Referência de cálculo (MARANGON; 2018).

3.5.3 QUANTIDADE DE ESTACA POR BLOCO

Para a obtenção da quantidade mínima de estacas necessárias em um bloco, de forma que sejam transferidas as forças da estrutura ao solo, de sem que haja o colapso de nenhuma delas, é preciso relacionar a carga advinda do pilar da superestrutura e a carga admissível do solo de apoio da seguinte maneira:

$$N^{\underline{o}}\ de\ estacas \geq \frac{P_{pilar}}{P_{adm}} \quad \text{..... (9)}$$

3.5.4 DIMENSIONAMENTO DAS ARMADURAS DA ESTACA

A Associação de Normas Técnicas Brasileira 6118/2014 – Projeto de estruturas de concreto (ABNT 6118:2014), trata estruturas de concreto armado como aquelas cujo comportamento depende da aderência entre o concreto e a armadura. Quando se trata de armadura de uma estrutura de concreto, deve-se ter atenção e cuidado especial, pois agentes externos podem ter extrema influência na funcionabilidade dela. A ABNT 6118:2014 traz uma

relação de mecanismos preponderantes de deterioração relativos à armadura, nela constam reações como:

a) Despassivação por carbonatação: ação do gás carbônico da atmosfera sobre o aço da estrutura.
b) Despassivação por ação de cloretos: ruptura local da camada de passivação, ocasionada pelo alto teor de íon-cloro.
c) Mecanismo da estrutura propriamente dita: aqueles relacionados às ações mecânicas, movimentações de origem térmica, impactos, ações cíclicas, retração, fluência e relaxação, bem como as diversas ações que atuam sobre a estrutura.

Soluções trazidas pela norma para evitar tais tipos de problemas é a identificação e o dimensionamento correto das armaduras, realizando seu cobrimento correto. O cálculo de armaduras de uma estaca consiste em encontrar a área de aço mínima possível para que a estrutura exerça suas funções estruturais sem chegar ao seu colapso.

$A_{EST} = \frac{\pi \cdot \emptyset_{est}^2}{4}$ ..... *(10)*

A_{EST} = área da estaca;

$\emptyset_{est}$= diâmetro da estaca;

$\tau_{sd} = \frac{P_a}{A_{EST}}$ ..... *(11)*

τ_{sd}= tensão de cisalhamento de cálculo;

P_a= carga admissível;

A_{EST} = área da estaca;

Condição:

$\tau_{sd} \leq 0{,}85 \cdot \frac{fck}{yc}$ ..... *(12)*

Fck= é a resistência característica do concreto à compressão;

yc= é o coeficiente de ponderação da resistência à compressão do concreto, retirados das tabelas 4 e 5.

Tabela 4 - Classes de agressividade ambiental (CAA).

Classe de agressividade ambiental	Agressividade	Classificação geral do tipo de ambiente para efeito de projeto	Risco de deterioração da estrutura
I	Fraca	Rural Submersa	Insignificante
II	Moderada	$Urbana^{a,b}$	Pequeno
III	Forte	$Marinha^{a}$ $Industrial^{a,b}$	Grande
IV	Muito Forte	$Industrial\ ^{a,c}$ Respingos de maré	Elevado

a Pode-se admitir um microclima com uma classe de agressividade mais branda (uma classe acima) para ambientes internos secos (salas, dormitórios, banheiros, cozinhas e áreas de serviço de apartamentos residenciais e conjuntos comerciais ou ambientes com concreto revestido com argamassa e pintura).

b Pode-se admitir uma classe de agressividade mais branda (uma classe acima) em obras em regiões de clima seco, com umidade média relativa do ar menor ou igual a 65 %, partes da estrutura protegidas de chuva em ambientes predominantemente secos ou regiões onde raramente chove.

c Ambientes quimicamente agressivos, tanques industriais, galvanoplastia, branqueamento em indústrias de celulose e papel, armazéns de fertilizantes, indústrias químicas.

Fonte: (NBR ABNT 6118:2014, p.17).

Para definir a classe de agressividade (CAA) de uma edificação, primeiramente, deve-se identificar o local onde a mesma será instalada, a partir dessa informação, utiliza-se a tabela acima para classificá-la. A partir deste ponto, com a CAA definida podemos analisar a tabela 5:

Tabela 5- Estacas moldadas in loco e tubulões: parâmetros para dimensionamento

Tipo de estaca	Classe de agressividade ambiental (CAA) conforme ABNT NBR 6118	Classe de concreto/ resistência característica da argamassa ou concreto	γ_c

Hélice/hélice de deslocamento/ hélice com trado segmentado (a)	I, II	C30	2,7
	III, IV	C40	3,6
Escavadas sem fluido	I, II	C25	3,1
	III, IV	C40	5,0
Escavadas com fluido	I, II	C30	2,7
	III, IV	C40	3,6

(a) Nestas estacas, o comprimento máximo da armadura é limitado devido ao processo executivo.

Fonte: (NBR ABNT 6122:2019, p. 34).

A partir do reconhecimento da classe de agressividade ambiental, somando-se ao tipo de estaca da edificação, é possível detectar o coeficiente de ponderação da resistência à compressão do concreto (γ_C) e dar sequência a condição seguinte.

$\tau_{sd} \geq 5MPa$ ..... *(13)*

Dadas tais condições exigidas pela tensão de cisalhamento de cálculo, sendo elas atendidas, será necessário calcular a armadura da estaca. Caso não seja atendido, a armadura utilizada em nossa estrutura será a armadura mínima.

$$A_S = \frac{P_a \cdot \left(1+\frac{6}{\emptyset_{est}}\right)^* - 0{,}85.fcd.A_{EST}}{fyd^*}$$ ..... *(14)*

A_S= armadura principal;

P_a= carga admissível;

$\emptyset_{est}$= diâmetro da estaca;

Fcd= é a resistência de cálculo do concreto à compressão;

A_{EST} = área da estaca;

fyd= é a resistência de cálculo do aço à compressão.

*= a incógnita a ser aferida na equação deve seguir uma condição, sendo estas:

$$\left(1+\frac{6}{\emptyset_{est}}\right)^* \geq 1{,}1$$ ..... *(15)*

$$fyd^* \leq \begin{cases} \frac{fyk}{1,15} \\ 0,2\%\ E_l \end{cases} \quad \text{..... (16)}$$

Fyk= é a resistência característica do aço à compressão;

E_l= módulo de elasticidade do concreto.

$$A_{S_{mín.}} = 0,5\% \,.\, A_{EST} \quad \text{..... (17)}$$

$A_{S_{mín.}}$= Área de aço mínima da estaca.

$$A_{\emptyset} = \frac{\pi.\emptyset_S^2}{4} \quad \text{..... (18)}$$

$A_{\emptyset}$= área da bitola do aço utilizado;

$\emptyset_S$= bitola de aço utilizada.

$$N_S = \frac{A_S}{A_{\emptyset}} \quad \text{..... (19)}$$

N_S= número de barras por estaca;

$$R_{L_{eq}} \leq P_a - 0,5.\, A_{EST} \quad \text{..... (20)}$$

$R_{L_{eq}}$= resistência lateral equivalente;

$$l_s = \frac{R_{L_{eq}} - l_{EST}}{R_L} \quad \text{..... (21)}$$

l_s= comprimento da armadura;

l_{EST}= comprimento da estaca.

Referência de cálculo (Associação de Normas Técnicas Brasileira 6118/2014 – Projeto de estruturas de concreto).

3.6 ORÇAMENTO E COMPOSIÇÃO DE VALORES

Na engenharia civil, quando falamos de análise de viabilidade das fundações devemos levar em consideração a composição orçamentária das estruturas a serem estudadas, que nada mais é do que uma previsão de gastos gerados.

> Para as empresas, esta ferramenta auxilia no equilíbrio financeiro e permite uma maior estabilidade nos momentos de crise, visto que uma estimativa de custos que se aproxime da realidade, aliada à um planejamento e

> gerenciamento da obra, permitem um maior domínio das finanças do empreendimento e é essencial para a sobrevivência e permanência competitiva dessas empresas no mercado (OLIVEIRA, 2017, p.10).

Segundo Tisaka (2011), um orçamento bem detalhado deve conter todos os serviços que se pretende executar, levando em conta os quantitativos físicos do projeto e a composição de custos unitários de cada serviço. Mattos (2006) complementa essa abordagem afirmando que, um orçamento é determinado somando-se os custos diretos, custos indiretos, impostos e lucros. Mattos (2006) subdivide tais colocações da seguinte maneira:

(i) Custos diretos: mão de obra de operários, que engloba a produtividade das equipes e os encargos sociais e trabalhistas; material onde podemos analisar o preço dos insumos, os impostos, a perda e o reaproveitamento de insumos; e por fim os equipamentos onde se é considerado o custo horário e a produtividade.

(ii) Custos indiretos: salários e encargos sociais das equipes técnica, administrativa e de apoio; despesas gerais como contas de água, energia, telefone etc.; e imprevistos, verbas que não podem ser orçadas previamente como retrabalho por conta de chuvas ou serviços mal realizados.

Somando-se aos custos unitários a serem considerados na elaboração de orçamento temos os encargos sociais, os quais são considerados obrigatórios pelas leis previdenciárias e trabalhistas. González (2008) classifica tais encargos em três tipos:

(A) Encargos sociais básicos: são aqueles constantes da legislação em vigor como previdência social, Fundo de Garantia por Tempo de Serviço (FGTS), salário-educação, Serviço Social da Indústria (SESI), Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial (SENAI), Serviço de Apoio à Pequena e Média Empresa (SEBRAE), Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária (INCRA), Seguro de acidentes de trabalho (INPS), Serviço Social da Indústria da Construção e do Mobiliário (SECONSI).

(B) Encargos sociais que recebem as incidências de encargos sociais básicos: repouso semanal e feriados remunerados, auxílio-enfermidade, licença-paternidade, 13º

Salário, dias não trabalhados: chuva, faltas justificadas, acidentes de trabalho, greves, falta ou atraso de materiais ou serviços na obra e outros.

(C) Encargos sociais que não recebem incidências globais de encargos sociais básicos: depósito por despedida injusta, aviso prévio indenizado, férias indenizadas.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A planilha eletrônica elaborada, apresenta de forma simplificada o pré-dimensionamento das estruturas de fundações, para que empresas possam ter previsões rápidas para nortear as decisões sobre o tipo de estrutura trará uma boa funcionabilidade e com melhor custo.

Para iniciar as análises, o usuário deve ter o conhecimento do solo que será apoiada a sua estrutura por meio do laudo de sondagem adquirido no ensaio SPT. A partir desse ponto ele poderá começar a alimentar o programa como exemplificado na figura 3.

Figura 3 – Interface da página inicial da planilha eletrônica – dados de sondagem.

Fonte: autora (2020).

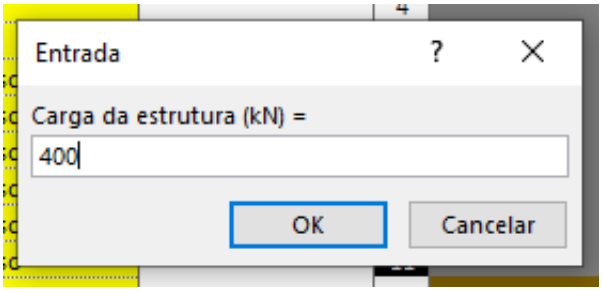
As células representadas em amarelo significam que o usuário deve alterar sua composição de acordo com a necessidade do solo e da estrutura estudada, a coluna

“PROFUNDIDADE (m)” exemplifica a profundidade escavada atingida no laudo de sondagem geotécnica realizado e consequentemente a coluna “N-SPT” e “Composição de camada” são os resultados encontrados no estudo do solo e estas variam em cada ensaio realizado. Em seguida, encontram-se as células onde é preciso identificar a presença de nível d’água no subsolo (N.A.), e, por fim, o fuste da estaca, que nada mais é que a cota onde a fundação irá se apoiar.

No item “Classe de agressividade”, devemos indicar o grau de agressividade do ambiente onde a edificação será construída, e em seguida, deve-se definir a bitola do aço escolhida para a estaca estudada, podendo assim, o usuário realizar repetidas análises verificando qual bitola é mais viável.

Após inseridos todos os dados da interface inicial, é necessário que o usuário do programa pressione o botão “continuar” para dar sequência nas análises, onde, uma caixa de mensagens pedirá para que seja inserido o valor da carga advinda do pilar alocado em quilonewton (kN). A figura 4 demonstra o passo descrito:

Figura 4 – Caixa de mensagens.



Fonte: autora (2020).

Pressionando a tecla “OK”, o programa identifica que todos os dados de sondagem foram inseridos e dá sequência em suas análises abrindo uma nova interface, esta, agora irá identificar as bases de custos de cada tipo de fundação, exemplificado na figura 5.

Figura 5– Caixa de inserção de custos de estacas

ESTACAS ESCAVADAS COMUNS		
Serviço	Unidade	Custo Unitário
Mobilização de Equipamentos	vb	R$ 300,00
Perfuração de brocas	m	R$ 14,00
Aço CA-50 e CA-60 para estacas - material e mão-de-obra	kg	R$ 5,64
Concreto usinado para estacas escavadas comuns, incluso lançamento manual	m3	R$ 321,30

ESTACA COM FLUIDO ESTABILIZANTE		
Serviço	Unidade	Custo Unitário
Mobilização de Equipamentos	vb	R$ 300,00
Perfuração de estacões	m3	R$ 655,00
Perfuração a partir da cota zero (volume inútil)	m3	R$ 655,00
Aço CA-50 e CA-60 para estacas - material e mão-de-obra	kg	R$ 5,64
Concreto usinado para estacas escavadas de grande diâmetro com fluido estabilizante	m3	R$ 341,32

HELICE CONTINUA MONITORADA		
Serviço	Unidade	Custo Unitário
Mobilização de Equipamentos	vb	R$ 300,00
Perfuração de estacas hélice contínua	m	R$ 60,00
Aço CA-50 e CA-60 para estacas - material e mão-de-obra	kg	R$ 5,64
Concreto usinado para estacas hélice contínua, incluso bombeamento	m3	R$ 373,87

Fonte: autora (2020).

Nesta etapa, o usuário deverá inserir no programa os preços de custo de cada etapa executiva da fundação, como mobilização de equipamentos, materiais e mão de obra necessária para a execução da estrutura, nesses já inclusos com impostos. A efetividade do programa implicará na realização de uma pesquisa de campo feita pelo usuário do programa, onde, deve-se conter uma cotação de custos de acordo com a localização onde será executada a estrutura, pois as tarifas de mão de obra, insumos e principalmente de impostos variam de região para região. Para exemplificar a inserção de valores de forma real, foi realizada uma pesquisa de custos utilizados por uma determinada empresa na cidade de Maringá-PR. Esses valores foram utilizados em uma obra executada em agosto de 2020, portanto seus custos foram atualizados recentemente.

Após identificados todos os valores de custos, há um segundo botão “continuar” existente na planilha, este encaminhará a planilha eletrônica para uma terceira interface onde

haverá o memorial de cálculo apresentando para o usuário os resultados obtidos pelos algoritmos da plataforma VBA. Através de códigos, ele é capaz de compilar as informações das teorias de Décourt-Quaresma (1978), com os cálculos e condições exigidas por normas como dados necessários para análise de sondagem, determinação de capacidade de carga e dimensionamento das armaduras por meio de associações com as tabelas citadas no presente trabalho. Na figura 6 representado de maneira sucinta a forma como esses códigos são dispostos no programa:

Figura 6 – Exemplificação de método de inserção de códigos.

```
Dim yc As Double
Dim Fcd As Double
Dim constante As Double
Dim bitola As Double
Dim densidadeAço As String

Application.ScreenUpdating = False

Carga = Application.InputBox("Carga da estrutura (kN) = ")


'Planilha Sondagem
Sheets("SONDAGEM").Select
agressividade = ActiveSheet.Range("K4").Value
profundidade = ActiveSheet.Range("H4").Value
composicao = ActiveSheet.Range("F" & profundidade + 4).Value
bitola = ActiveSheet.Range("K10").Value
If InStr(1, composicao, "Argila") <> 0 Then
linha = 1
ElseIf InStr(1, composicao, "Areia") <> 0 Then
linha = 3
ElseIf InStr(1, composicao, "Silte") <> 0 Then
linha = 2
End If
```

Fonte: autora (2020).

A figura acima representa uma seção do algoritmo em Visual Basic for Applications (VBA), que é uma implementação do Visual Basic da Microsoft, em que são armazenados dados de entrada, como composição do solo, profundidade de estaca e carga advinda do pilar em variáveis adequadas, seja ela do tipo numérica – double - ou do tipo texto – string – e são utilizadas interagindo os cálculos e tabelas normativas base. Em seguida, são realizadas operações numéricas até, por fim, os resultados serem apresentados na planilha de memorial de cálculo.

Sendo executados todos os cálculos e interações propostos pelo VBA, a planilha eletrônica segue para a interface onde é apresentado o memorial de cálculo das estacas estudadas, visualizados nas figuras 7.1 e 7.2:

Figura 7.1 – Interface de apresentação do memorial de cálculos.

DIÂMETRO (cm)	TIPO	CAPACIDADE DE CARGA	CARGA ADMISSÍVEL	Nº DE ESTACAS
70	Escavada c/ fluido estabilizante	710,46	362,67	2
80	Escavada c/ fluido estabilizante	869,76	428,93	2
90	Escavada c/ fluido estabilizante	1043,51	498,81	2
100	Escavada c/ fluido estabilizante	1231,71	572,29	1
110	Escavada c/ fluido estabilizante	1434,37	649,39	1
120	Escavada c/ fluido estabilizante	1651,47	730,11	1
130	Escavada c/ fluido estabilizante	1883,03	814,43	1
140	Escavada c/ fluido estabilizante	2129,04	902,37	1
150	Escavada c/ fluido estabilizante	2389,50	993,92	1
25	Escavada em geral	192,03	124,27	5
30	Escavada em geral	241,27	151,83	4
40	Escavada em geral	350,60	209,67	3
50	Escavada em geral	474,38	271,11	2
60	Escavada em geral	612,61	336,17	2
70	Escavada em geral	765,29	404,85	2
80	Escavada em geral	932,42	477,14	2
90	Escavada em geral	1114,01	553,04	1
80	Escavada em geral	932,42	477,14	2
30	Hélice contínua	267,51	188,89	3
35	Hélice contínua	318,41	221,95	3
40	Hélice contínua	371,13	255,47	2
45	Hélice contínua	425,65	289,43	2
50	Hélice contínua	481,97	323,85	2
60	Hélice contínua	600,04	394,04	2

Fonte: autora (2020).

Figura 7.2 – Interface de apresentação do memorial de cálculos.

VOLUME (m³)	As (cm²)	Asmin.	Comprimento do aço (m)	Quantidade aço (kg)	Custo estimado
4,23	19,24	19,24	1,96	29,66	R$ 5.134,40
5,53	25,13	25,13	2,11	41,61	R$ 6.153,91
7,00	31,81	31,81	2,25	56,29	R$ 7.322,03
8,64	39,27	39,27	2,40	73,94	R$ 4.320,86
10,45	47,52	47,52	2,54	94,84	R$ 5.057,97
12,44	56,55	56,55	2,68	119,24	R$ 5.873,82
14,60	66,37	66,37	2,83	147,41	R$ 6.769,90
16,93	76,97	76,97	2,97	179,60	R$ 7.747,69
19,44	88,36	88,36	3,11	216,09	R$ 8.808,67
0,54	2,45	2,45	1,23	2,38	R$ 2.504,46
0,78	3,53	3,53	1,31	3,63	R$ 2.337,14
1,38	6,28	6,28	1,44	7,13	R$ 2.395,08
2,16	9,82	9,82	1,58	12,16	R$ 2.153,14
3,11	14,14	14,14	1,71	18,95	R$ 2.840,38
4,23	19,24	19,24	1,83	27,72	R$ 3.661,02
5,53	25,13	25,13	1,96	38,70	R$ 4.617,62
7,00	31,81	31,81	2,09	52,11	R$ 2.856,38
5,53	25,13	25,13	1,96	38,70	R$ 4.617,62
0,78	3,53	3,53	1,09	3,03	R$ 2.003,37
1,06	4,81	4,81	1,12	4,24	R$ 2.338,71
1,38	6,28	6,28	1,15	5,67	R$ 1.817,58
1,75	7,95	7,95	1,18	7,35	R$ 2.111,02
2,16	9,82	9,82	1,20	9,27	R$ 2.439,58
3,11	14,14	14,14	1,25	13,92	R$ 3.202,56

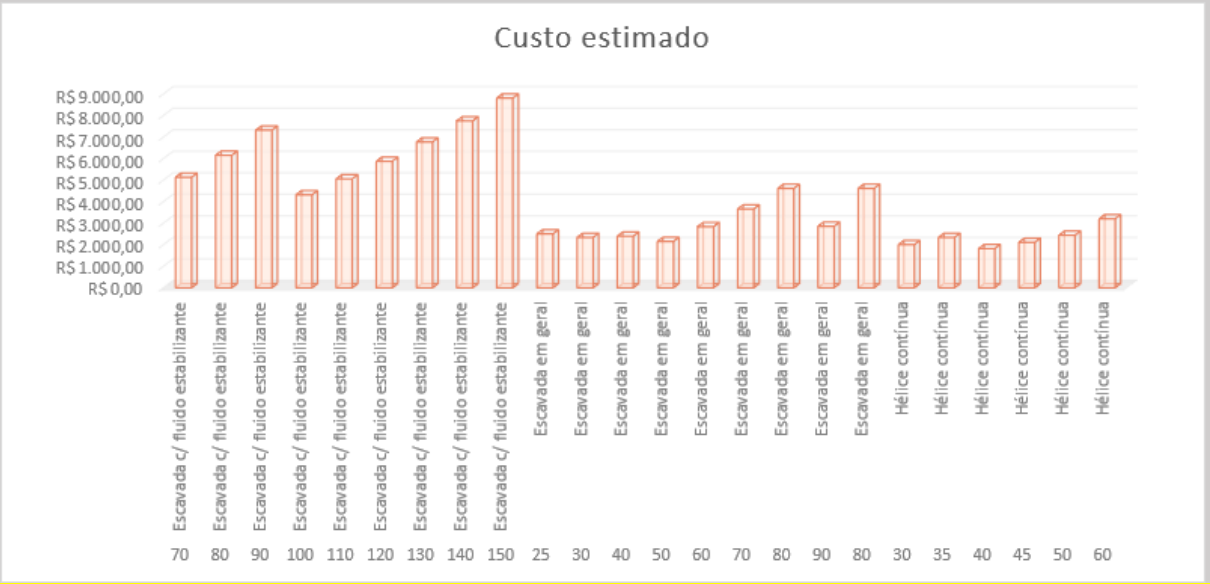
Fonte: autora (2020).

A interface representada anteriormente tem como objetivo apresentar ao usuário as diversas variáveis possíveis para dimensionar fundações, calculando diferentes diâmetros para diferentes tipos de estacas escavadas, permitindo a comparação das seguintes incógnitas:

(i) Capacidade de carga;
(ii) Carga admissível;
(iii) Nº de estacas;
(iv) Volume da estaca (m³);
(v) Área de aço utilizada na estaca;
(vi) Área de aço mínima para a execução da estaca;
(vii) Comprimento do aço inserido na estaca;
(viii) Quantidade de aço representada em quilogramas (kg);
(ix) Custo estimado da fundação;

E finalizando a análise de viabilidade de fundações tipo estaca escavada profunda, a planilha apresenta um gráfico para a melhor visualização da condição exposta pelo programa, neste gráfico o usuário pode comparar os custos de cada tipo de fundação como de acordo com o que está representado na figura 8.

Figura 8 – Interface de representação gráfica dos custos.



Fonte: autora (2020).

Os resultados apresentados pela ferramenta proposta determinam através de informações dos dados de sondagem do substrato e dados de custos inseridos pelo usuário as forças resistidas pelo solo e pelas estacas escavadas tipo hélice contínua, estaca escavada sem uso de fluidos e estaca escavada com uso de fluido estabilizante. Além das forças determinantes, o mecanismo é capaz de fornecer a quantidade de materiais utilizados na execução da edificação e consequentemente otimizar as análises de custos direcionados a esse tipo de fundação, diferenciando-as entre os diâmetros mais utilizados pelo mercado e representando graficamente os resultados adquiridos.

5 CONCLUSÃO

O presente trabalho teve por objetivo comparar dados geotécnicos e estruturais de forma individual, por meio da elaboração de uma planilha eletrônica apta para automatizar as análises comparativas de esforços solo-estrutura, quantitativo de materiais, utilização de maquinários e mão-de-obra, de acordo com a combinação de dados normativos e por meio de gráficos comparativos, propor o tipo de estaca escavada e o diâmetro mais viável para a edificação analisada.

Pôde-se verificar, na planilha eletrônica apresentada, que a ferramenta proposta cumpre com seus princípios, ao dispor para o usuário seus resultados de forma clara os cálculos obtidos de resistência, quantitativos, e custos. Além de identificar, por meio do exemplo utilizado, que nem sempre a estaca com o menor diâmetro será a estaca que apresentará o menor custo de execução.

É pertinente salientar que a planilha eletrônica tem fins de uso tanto profissional quanto acadêmico, porém a interpretação dos resultados cabe ao usuário realizar, portanto, é indispensável que este tenha um domínio básico do assunto abordado e dos objetivos idealizados. Outro adendo importante é na contabilização de custos, como é possível observar, o programa analisa e compara somente dados de estacas escavadas, de forma que outros elementos, como o bloco de fundação, devem ser analisados de forma separada, pois para se obter a viabilidade financeira total da obra de fundações, deve-se estudar o conjunto estaca-bloco.

Pode-se concluir que, independentemente da limitação do programa, os estudos realizados são de suma importância e suas principais vantagens são: uniformização de resultados obtidos e otimização de tempo de cálculo, pois o usuário não precisará realizar as análises manualmente, além da possibilidade de simular diversas situações para encontrar a melhor alternativa proposta reduzindo significativamente o tempo e os custos da estrutura, aprimorando o potencial de planejar e gerenciar obras.

REFERÊNCIAS

ALONSO, U. R. **Previsão e controle das fundações**. EDITORA EDGARD BLUCHER LTDA, 3ª reimpressão, 2003.

ABMS/ABEF. **Fundações Teoria e Prática**, 2a edição, editora PINI, 1999, São Paulo, 750p.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR 6122: **Projeto e execução de fundações**. Rio de Janeiro, 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6484: **Solo- Sondagens de simples reconhecimento com SPT- Métodos de ensaio.** Rio de Janeiro, 2020.

CARDOSO, A. F. C. **Desenvolvimento de um programa de cálculo de sapatas de betão armado**. Tese (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade de Aveiro. Aveiro,Portugal, 2011, 102 p.

CINTRA, J. C. A.; AOKI, N.; ALBIERO, J. H. **Fundações diretas: projeto geotécnico**. São Paulo, Oficina de Textos, 2010.

GONZÁLEZ, M. A. S. **Noções de orçamento e planejamento de obras**. Notas de aula. 2008.

LENZI, L. C. **Estudo comparativo de fundações entre estacas escavadas de grande diâmetro com fluído estabilizante e tubulões a céu aberto na cidade de Maringá-PR**. 2018. 42f. Trabalho de Conclusão de Curso. (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Cesumar – UNICESUMAR, Maringá, PR, 2018.

LORENZI, V. **Avaliação do desempenho de estacas escavadas com o método de alargamento de fuste.** 2012. 122f. Dissertação de mestrado (Pós-graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro- RJ.

MATTOS, A. D**. Como preparar orçamentos de obras**. 1.ed. São Paulo: Pini, 2006.
TISAKA, M. **Orçamento na construção civil: consultoria, projeto e execução**. 2.ed. ver. Eampl. São Paulo: Pini, 2011.

MARANGON, M. **Métodos Diretos para Cálculo da Capacidade de Carga por meio do SPT**. 10p. Notas de aula.

MELHADO, S. B. et al. Fundações. 2003. São Paulo. 30 p. Notas de aula – (Escola Politécnica da Universidade de São Paulo Departamento de Engenharia de Construção Civil, PCC-2435: **Tecnologia da Construção de Edifícios I**).

MELO, L. S. **Análise de viabilidade técnico/econômica entre fundações profundas: estudo de caso entre estaca pré-moldada em concreto armado e tipo hélice contínua em um galpão industrial.** 2018. Trabalho de Conclusão de Curso. (Graduação em Engenharia Civil) – Centro Universitário do Sul de Minas – UNIS/MG.

MILITITSKY, J.; **Fundações profundas**. Notas de aula. Porto Alegre, RS: PPGEC/UFRGS, 1988. 105p.
OLIVEIRA, B. L. M.; AMANCIO, L. B. **Otimização do cálculo da capacidade de carga e tensão admissível do solo para sapatas isoladas.** REEC – Revista Eletrônica de Engenharia Civil Vol 12 - nº 2 (2016).

SILVA, A. A. G. **Avaliação do efeito de modificação da ponta na capacidade de carga de estacas escavadas tipo trado mecanizado**. 2014. 134f. Dissertação de mestrado (Geotecnia e Transportes) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, MG, 2014.

VELLOSO, Dirceu de Alencar; LOPES, Francisco de Rezende. **Fundações: critérios de projeto, investigação do subsolo, fundações superficiais, fundações profundas**. São Paulo: Oficina de Texto, 2010.

ZULIAN, M.; SOUZA, B. J.; MIRANDA, R. G. **Excel/VBA para gerenciamento de micro e pequenas empresas**. Revista Científica da FHO|UNIARARAS v. 1, n. 2/ 2013.