

CENTRO UNIVERSITÁRIO ASSIS GURGACZ

GUILHERME MARÇAL BATISTA

**DESENVOLVIMENTO DE *SOFTWARE* PARA DIMENSIONAMENTO
ESTRUTURAL EM FUNDAÇÕES PROFUNDAS**

CASCADEL – PR

2020

CENTRO UNIVERSITÁRIO ASSIS GURGACZ

GUILHERME MARÇAL BATISTA

**DESENVOLVIMENTO DE *SOFTWARE* PARA DIMENSIONAMENTO
ESTRUTURAL EM FUNDAÇÕES PROFUNDAS**

Trabalho apresentado na disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso II, do Curso de Engenharia Civil, do Centro Universitário Assis Gurgacz, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

**Professor Orientador: Mestre, Engenheiro Civil
Maycon André de Almeida.**

**CASCADEL - PR
2020**

DEDICATÓRIA

Dedico esse trabalho aos meus pais, aos meus avós e à minha esposa.

EPÍGRAFE

“Quero ver o meu céu estrelado
E o clarão que a lua faz
Ver meu amor que felicidade
Quanta saudade. Oh Minas Gerais! ”

Tião Carreiro e Pardinho

RESUMO

A partir do avanço tecnológico a sociedade notou a necessidade de modernização de muitas áreas de conhecimento, inclusive da Engenharia Civil. Particularmente na área de fundações, as tecnologias que auxiliam na precisão e na eficiência, juntamente com os *softwares* disponíveis no mercado são escassos ou de difícil acesso monetário, principalmente para novos profissionais e acadêmicos em formação. Diante de tamanha importância, e da possibilidade de integração entre programação e construção, desenvolveu-se um *software* capaz de auxiliar o Engenheiro Civil, e acadêmicos deste curso, no dimensionamento estrutural de fundações profundas, especificamente estacas e tubulões, que sofrem as ações de compressão, tração e flexão simples. O *software* desenvolvido atendeu satisfatoriamente a proposta almejada com uma ótima precisão e confiabilidade tão necessárias para essa etapa do projeto de edificações, aliando, de forma prática, as particularidades de cada fundação profunda no momento de seu projeto e execução.

Palavras-chave: Dimensionamento Estrutural, Fundações Profundas, *Software* de Dimensionamento.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: *Front end e Back end*

Figura 2: Fluxograma de funcionamento do *software*

Figura 3: Código da inicialização de variáveis vindas do usuário

Figura 4: Código da inicialização de variáveis de tabela I

Figura 5: Código da inicialização de variáveis de tabela II

Figura 6: Código referente ao cálculo de compressão

Figura 7: Código referente ao cálculo de tração

Figura 8: Código referente ao cálculo de flexão simples I

Figura 9: Código referente ao cálculo de flexão simples II

Figura 10: Código referente ao cálculo do aço longitudinal

Figura 11: Apresentação de resultados referente à armadura longitudinal e estribos

Figura 12: Código referente ao cálculo de esforço cortante (estribos) I

Figura 13: Código referente ao cálculo de esforço cortante (estribos) II

Figura 14: *Frame* inicial.

Figura 15: Teste 01 na interface do *software*

Figura 16: Resultados: Teste 01

Figura 17: Teste 02 na interface do *software*

Figura 18: Resultados: Teste 02

Figura 19: Teste 03 na interface do *software*

Figura 20: Resultados: Teste 03

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Estacas moldadas <i>in loco</i> : parâmetros para dimensionamento.....	16
Tabela 2 - Determinação da classe de agressividade ambiental.....	17
Tabela 3 - Cobrimento nominal com base na classe de agressividade ambiental.....	17
Tabela 4 - Características das barras.....	19
Tabela 5 - Valores máximos de diâmetro com barras de alta aderência.....	21
Tabela 6 - Valores de Kc e Ks.....	23
Tabela 7 - Equações simplificadas para obtenção Asw, Modelo de cálculo I.....	24
Tabela 8 - Apresentação de resultados: Comparação entre <i>software</i> e cálculos manuais.....	43

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1: Capacidade de carga total de ruptura.....	17
Equação 2: Capacidade de carga devido ao contato da ponta com o solo.....	18
Equação 3: Capacidade de carga devido ao atrito lateral.....	18
Equação 4: Força normal de cálculo (Compressão).....	19
Equação 5: Área de aço (Compressão).....	20
Equação 6: Espessura de fissuras.....	20
Equação 7: Tensão máxima atuante nas barras.....	20
Equação 8: Área de aço mínima (Tração).....	21
Equação 9: Coeficiente K_c	22
Equação 10: Área de aço (Flexão Simples).....	22
Equação 11: Número de ramos de estribo por metro.....	25
Equação 12: Espaçamento entre estribos.....	25

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

CAA – Classe de Agressividade Ambiental

HTML - *HyperText Markup Language*

NBR – Norma Brasileira

PHP - *Hypertext Preprocessor*

SPT - *Standard Penetration Test*

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1.....	11
1.1 INTRODUÇÃO.....	11
1.2 OBJETIVOS.....	12
1.2.1 Objetivo geral.....	12
1.2.2 Objetivos específicos.....	12
1.3 JUSTIFICATIVA.....	12
1.4 FORMULAÇÃO DO PROBLEMA.....	13
1.5 FORMULAÇÃO DA HIPÓTESE.....	13
1.6 DELIMITAÇÃO DA PESQUISA.....	13
CAPÍTULO 2.....	14
2.1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	14
2.1.1 Fundações profundas e suas particularidades.....	15
2.1.2 Resistência para fins de cálculo estrutural.....	15
2.1.3 Dimensionamento estrutural para compressão.....	19
2.1.4 Dimensionamento estrutural para tração.....	20
2.1.5 Dimensionamento estrutural para flexão simples.....	22
2.1.6 Dimensionamento estrutural de estribos.....	24
2.2 PROGRAMAÇÃO.....	26
2.3 LINGUAGEM PHP <i>HYPERTEXT PREPROCESSOR</i>	26
CAPÍTULO 3.....	28
3.1 METODOLOGIA.....	28
3.1.1 Procedimentos para elaboração do <i>software</i>	28
3.1.2 Desenvolvimento lógico (código de programação).....	30
CAPÍTULO 4.....	37
4.1 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	37
4.2 VALIDAÇÃO DE RESULTADOS.....	38
CAPÍTULO 5.....	45
5.1 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	45
CAPÍTULO 6.....	46
6.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	46
REFERÊNCIAS.....	47

CAPÍTULO 1

1.1 INTRODUÇÃO

As fundações devem ser dimensionadas a fim de receber toda a carga proveniente da edificação e por essa razão são divididas em dois grandes grupos, fundações rasas e fundações profundas – objeto de estudo do presente trabalho.

A separação desses grupos é feita basicamente pelo comprimento da fundação que adentra o solo, sendo classificada como fundações rasas, sapatas, radier *blocos e vigas baldrame*. São elementos de fundação onde a carga é transferida ao solo, principalmente através das pressões distribuídas sob a base do elemento.

Fundações profundas por sua vez, são utilizadas em solos ditos fracos, quando a profundidade de assentamento de uma possível fundação rasa ultrapassa as especificações citadas acima e quando se tem cargas muito elevadas a serem transferidas à fundação. Os principais tipos de fundações profundas utilizadas são estacas e tubulões sendo diferenciadas, basicamente, pelo maior diâmetro permitido por tubulões, conseqüentemente maior capacidade de carga e pela base alargada, característica dos mesmos (Hachich *et al*, 1998, p.400).

Com o avanço tecnológico os métodos empíricos começam a ser aperfeiçoados pela programação que, por sua vez, agiliza e propicia novos caminhos para o cálculo em âmbito geral.

Após o dimensionamento geotécnico da fundação é necessário realizar o dimensionamento estrutural, que nada mais é que o cálculo da área de aço necessária para suportar os esforços solicitantes. Os esforços que os elementos de fundação devem suportar são grande parte de compressão, porém, em alguns casos, podem ser dimensionados à tração, flexo-compressão e flambagem.

Em estacas armadas e tubulões, o cálculo necessário para determinação da armadura em casos onde há compressão é similar e podem ser dimensionados como peça de concreto armado segundo indica a ABNT NBR 6118 (2014).

Nota-se que por se tratar de um *software* acadêmico é de total responsabilidade do usuário a utilização do mesmo em meio não acadêmico.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo geral

Desenvolveu-se um *software* para auxiliar no projeto estrutural de elementos de fundações profundas, visando eficiência e precisão no cálculo. Ainda, promoveu-se a interação dos modelos bibliográficos e normativos quanto ao dimensionamento com a tecnologia de programação e concepção de *softwares* na engenharia civil.

1.2.2 Objetivos específicos

- Levantou-se dados e determinou-se os métodos utilizados para cálculo da área de aço necessária em estacas e tubulões;
- Desenvolveu-se interface gráfica abrangendo as principais modalidades de fundações profundas em uso;
- Avaliou-se a aplicabilidade do *software* realizando 03 testes específicos elaborados pelo desenvolvedor do mesmo.

1.3 JUSTIFICATIVA

Os elementos estruturais de uma fundação profunda, além do dimensionamento geotécnico necessitam de um dimensionamento estrutural, sendo que, para se obter a área de aço decorrente dos esforços atuantes são utilizadas fórmulas e coeficientes definidos em métodos empíricos, os quais demandam tempo e conhecimento específico dos elementos analisados por parte do projetista. Caso a armadura calculada seja menor que a armadura mínima estipulada pela ABNT NBR 6122 (2019), utiliza-se a mínima para fins de dimensionamento, sendo na maioria dos casos 0,4 % da área da seção transversal da peça,

A ferramenta proposta visa minimizar erros quanto ao dimensionamento estrutural dos elementos de fundações profundas, otimizando o tempo gasto anteriormente para a realização dos cálculos por meio da tecnologia de programação corrente.

Com a criação de hipóteses de cálculos, pode ser realizado a simulação de vários elementos estruturais em um curto período de tempo, alterando somente os dados de entrada referente ao projeto geotécnico.

A fim de que as variáveis do projeto geotécnico sejam adequadamente informadas pelo usuário desenvolveu-se, como prioridade, um *layout* intuitivo que facilite a entrada de dados, para assim, apontar a quantidade devida de armadura que a peça estrutural necessitará.

1.4 FORMULAÇÃO DO PROBLEMA

A elaboração de uma ferramenta computacional para dimensionamento estrutural de elementos de fundação pode contribuir em projetos e no aprendizado de alunos do curso de engenharia civil?

1.5 FORMULAÇÃO DA HIPÓTESE

Todo *software* desenvolvido tem como objetivo a simplificação e otimização de uma determinada tarefa. Há anos se vê a tecnologia sendo cada vez mais difundida e muitas vezes tendo seu uso indispensável como é o caso das plataformas CAD de desenho técnico e planilhas de fluxo, organização, orçamento, entre outros. Com a união do conhecimento técnico de construção civil e programação foi possível a elaboração um *software* tão útil ao acadêmico quanto ao profissional priorizando excelência e eficiência no dimensionamento estrutural de fundações profundas.

1.6 DELIMITAÇÃO DA PESQUISA

A pesquisa foi delimitada ao estudo do dimensionamento estrutural de fundações profundas e transcrição dos métodos semi-empíricos de cálculo para linguagem *PHP* de programação.

Para mais, o presente estudo esteve restrito à análise do grupo de fundações profundas, especificamente no dimensionamento de estacas e tubulões que sofrem efeitos de compressão, tração, cargas horizontais e flexão simples.

CAPÍTULO 2

2.1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Segundo Velloso e Lopes (2010), para realização de projetos e execuções de fundações é indispensável, da parte do engenheiro de fundações, o conhecimento sobre as áreas de geologia, mecânica dos solos, mecânica das rochas e cálculo estrutural. A interação causada pelas informações obtidas pela área geológica e exata gera um problema recorrente conhecido por interação solo-estrutura.

Rebello (2008), expõe que nos séculos XVII e XVIII, se teve o maior crescimento em potencial das técnicas e inovações no ramo de fundações, devido ao desenvolvimento de estradas e pontes. Particularmente na França, esse avanço se deu devido à criação da “*École des Ponts et Chaussée*,” posteriormente “*École Polytechnique*”.

A engenharia de fundações se divide em dois grandes grupos, variando seu nome entre bibliografias, sendo, fundações superficiais (diretas ou rasas) e fundações profundas (indiretas) conforme apresentado por Velloso e Lopes (2010).

Estes mesmos autores expõem os elementos necessários para a elaboração de um projeto de fundações, sendo eles: topografia da área, que consiste em levantamento planialtimétrico e informações acerca de taludes e encostas no terreno ou que possam influenciar no mesmo; dados geológico-geotécnicos e análise do subsolo; dados sobre construções vizinhas, como quantidade de pavimentos e respectivas cargas, elementos estruturais e de fundação e seu desempenho, presença de subsolo e potencial consequência da execução da nova obra; dados da estrutura a construir, composto por definição do uso da obra construída, sistema estrutural e construtivo e cargas solicitantes nas fundações.

Os primeiros elementos acima citados, deverão ser analisados meticulosamente pelo responsável pelo projeto a partir de uma visita ao terreno. O último elemento, por sua vez, deverá ser submetido à avaliação dos responsáveis pelos projetos de obra e estrutura, sendo que desta resultará os deslocamentos admissíveis e coeficientes de segurança necessários às ações estruturais.

2.1.1 Fundações profundas e suas particularidades

A ABNT NBR 6122 (2019, p. 3), Projeto e execução de fundações, tem como objetivo normatizar modos e métodos relacionados à concepção e implementação de elementos de fundações em geral, definindo fundações profundas por:

“elemento de fundação que transmite a carga ao terreno ou pela base (resistência de ponta) ou por sua superfície lateral (resistência de fuste) ou por uma combinação das duas, devendo sua ponta ou base estar assente em profundidade superior ao dobro de sua menor dimensão em planta, e no mínimo 3,0 m. Neste tipo de fundação incluem-se as estacas e os tubulões”

Assim, segundo Velloso e Lopes (2010), esse tipo de fundação é caracterizado pelo não surgimento superficial do mecanismo de ruptura de base, sendo indispensável, portanto, em obras com grandes solicitações de esforços ou em obras cujas camadas de solo não são dotadas de coesão adequada. O grupo de fundações profundas é constituído por estacas e tubulões.

Estacas pré-moldadas ou pré-fabricadas possuem armadura especial (ex: necessárias para o içamento e transporte) em razão do rigoroso processo industrial e ao seu transporte, onde parâmetros relacionados a flexão e flexo-compressão deverão ser verificados para seu real dimensionamento como ressalta a ABNT NBR 9062 (2017).

Quanto aos fatores determinantes para a escolha do tipo de estaca a ser adotada, Simons e Menzies (1981) destacam, a localização do empreendimento e o tipo de sua estrutura, composição do solo e nível d'água, durabilidade a longo prazo e custo, que muitas vezes é o fator primordial de escolha dentre limitadas opções.

2.1.2 Resistência para fins de cálculo estrutural

De acordo com Alonso (2012), a capacidade de carga de uma estaca em concreto armado pode ser obtida através do menor valor entre a resistência estrutural do concreto e resistência do solo de implantação.

O primeiro critério citado guarda relação com o material que constitui a estaca. Em casos de estacas de concreto, a resistência é dada pela razão entre a resistência caracterizada do concreto à compressão (f_{ck}) e o coeficiente de minoração das resistências e majoração das cargas.

Segundo Alonso (2012), estacas submetidas a uma tensão média inferior a 5 MPa não necessitam de armadura, exceto por exigência de seu método executivo. A Tabela 1 define os coeficientes, armadura mínima, resistência, comprimento útil mínimo e tensão mínima para armação para cada método executivo, conforme ABNT NBR 6122 (2019, p.34).

Tabela 1: Estacas moldadas *in loco*: parâmetros para dimensionamento

Elemento estrutural de fundação	CAA	Classe do concreto (fck)	γ_c	Armadura mínima e comprimento útil mínimo		Tensão de compressão simples, abaixo, não necessário armar (MPa)
				Armadura (%)	Comprimento (m)	
Hélice contínua	I,II	C30	2,7	0,4	4	6
	III,IV	C40	3,6	0,4		
Escavada sem fluido	I,II	C25	3,1	0,4	2	5
	III,IV	C40	5	0,4		
Escavada com fluido	I,II	C30	2,7	0,4	4	6
	III,IV	C40	3,6	0,4		
Strauss	I,II	C20	2,5	0,4	2	5
Franki	I,II,III,IV	C20	1,8	0,4	Integral	-
Tubulões	I,II	C25	2,2	0,4	3	5
	III,IV	C40	3,6	0,4		
Raiz	I,II,III,IV	C20	1,6	0,4	Integral	-
Microestacas	I,II,III,IV	C20	1,8	0,4	Integral	-
Estaca trado vazado segmentado	I,II,III,IV	C20	1,8	0,4	Integral	-

Fonte: Adaptada de ABNT NBR 6122 (2019).

A classe de agressividade ambiental (CAA) - fator muito importante para a determinação da classe do concreto e cobrimento nominal da peça - é definida a partir das condições de exposição da estrutura conforme a Tabela 2 – adaptada da ABNT NBR 6118 (2014, p.17).

Tabela 2: Determinação da classe de agressividade ambiental.

CAA	Agressividade	Classificação geral do tipo de ambiente	Risco de deterioração da estrutura
I	Fraca	Rural	Insignificante
		Submersa	
II	Moderada	Urbana	Pequeno
III	Forte	Marinha	Grande
		Industrial	
IV	Muito Forte	Industrial	Elevado
		Respingos de maré	

Fonte: ABNT NBR 6118 (2014).

Seguindo a Tabela 3 – adaptada da ABNT NBR 6118 (2014, p.20) – faz-se a correspondência entre a classe de agressividade ambiental e o cobrimento nominal, não sendo válido para elementos pré-fabricados, porém, no presente estudo, utilizou-se cobrimento de 5 cm para todos os cálculos visto ser o mais indicado por questão de segurança e usabilidade.

Tabela 3: Cobrimento nominal com base na classe de agressividade ambiental.

Tipo de estrutura	Componente	Classe de agressividade ambiental			
		I	II	III	IV
		Cobrimento nominal (mm)			
Concreto armado	Elementos estruturais em contato com o solo	30		40	50

Fonte: ABNT NBR 6118 (2014).

A primeira verificação a ser realizada é referente a capacidade de carga de ruptura do solo que, por sua vez, é obtida através da soma das máximas cargas geradas pelo atrito lateral e pela ponta, seguindo a Equação 1.

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

Sendo:

R_t = Capacidade de carga total de ruptura (kN);

R_l = Capacidade de carga, atrito lateral;

R_p = Capacidade de carga devido ao contato da ponta com o solo.

Referidas capacidades de carga são obtidas através da Equação 2, apresentada por Cintra e Aoki (2010), onde R_p é dado pelo produto da resistência unitária de ponta (r_p) e área de seção transversal da estaca (A_p).

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

Os mesmos autores ainda definem R_l através da Equação 3, como sendo o produto do perímetro do fuste (U) e a somatória da resistência unitária por atrito lateral (r_l) multiplicado pela respectiva espessura da camada de solo em análise (Δl).

$$R_l = U \cdot \sum(r_l \cdot \Delta l) \quad (3)$$

No Brasil, para a obtenção da capacidade de carga, os métodos mais utilizados são os semi-empíricos, classificados assim por usar coeficientes empíricos correlacionados aos ensaios de sondagens (SPT) comumente realizados. Os métodos mais conhecidos e difundidos no Brasil atualmente são os desenvolvidos por Décourt-Quaresma (1978), e Aoki e Velloso (1975).

Para a determinação da A_s - armadura necessária para a estaca – usa-se o maior valor de área obtido dentre o dimensionamento estrutural para compressão, dimensionamento estrutural para tração e dimensionamento estrutural para flexão simples, descritos por menores nos itens a seguir.

Os dados referentes ao aço a ser utilizado são condizentes com os valores obtidos para o aço CA-50, comumente utilizado juntamente com o aço CA-60 em estruturas de concreto armado em âmbito geral. A Tabela 4 - adaptada da ABNT NBR 7480 (2007) - aponta dados das barras a serem usadas no presente estudo, como bitolas, massa nominal e área da seção,

Tabela 4: Características das barras.

Diâmetro nominal (mm)	Massa nominal (Kg/m)	Área da seção (cm ²)
8	0,395	0,503
10	0,617	0,785
12,5	0,963	1,227
16	1,578	2,011
20	2,466	3,142

Fonte: Adaptada de ABNT NBR 7480 (2007).

2.1.3 Dimensionamento estrutural para compressão

Estacas armadas devem obedecer tanto a critérios geométricos quanto construtivos, viabilizando assim a mesma em termos executivos e financeiros. Por conta disso não se utiliza armadura em estacas com tubos de revestimento inferiores a 25 cm (HACHICH, *et al.*, 1998).

Para tensões médias maiores que 5 MPa em estacas que sofrem compressão, o dimensionamento é feito nas prescrições da ABNT NBR 6118 (2014).

Em casos onde a verificação constata a não ruptura por flambagem em estacas totalmente enterradas, Alonso (2012) define a Equação 4 para o dimensionamento de peças comprimidas.

$$Nd \cdot \left(1 + \frac{6}{b}\right) = 0,85Ac \cdot fcd + As \cdot fyd \quad (4)$$

Sendo:

$Nd = \gamma_f \cdot N$ = força normal de cálculo;

b = dimensão da estaca (diâmetro ou lado) em centímetros;

$\left(1 + \frac{6}{b}\right)$ = coeficiente de majoração, maior ou igual a 1,1. (ABNT NBR 6118, 2014);

Ac = área real da seção transversal que sofre compressão;

As = área da armadura necessária a compressão;

$fcd = fck/\gamma_c$ = resistência de cálculo do concreto;

$f_{yd} = f_{yk}/\gamma_s$ = resistência de cálculo do aço.

Isolando a área da armadura necessária ao esforço de compressão – parâmetro em foco para o dimensionamento – determina-se a Equação 5 adaptada, não podendo ser menor que 0,4% da área de seção transversal de concreto (A_c), conforme indica a Tabela 1.

$$A_s = \frac{N d \cdot \left(1 + \frac{e}{b}\right) - (0,85 \cdot A_c \cdot f_{cd})}{f_{yd}} \quad (5)$$

2.1.4 Dimensionamento estrutural para tração

Como aborda Alonso (2012) estacas de tração necessariamente serão todas armadas, condicionadas a abertura máxima permitida para fissuras. A armadura nesse tipo de estaca geralmente é reduzida como descreve a ABNT NBR 6118 (2014), item 17.3.3.2, podendo-se utilizar a Equação 6 e 7 – adaptada, abaixo para fins de cálculo, adotando um diâmetro de barra da seção para determinação da tensão máxima atuante nas mesmas, permitindo a abertura prefixada das fissuras.

$$\omega = \frac{\phi_p}{12,5 \cdot \eta_1} \cdot \frac{\sigma_s}{E_s} \cdot \frac{3\sigma_s}{f_{ctm}} \quad (6)$$

$$\sigma_s = \sqrt{\frac{\omega \cdot 12,5 \cdot \eta_1 \cdot E_s \cdot f_{ctm}}{3 \cdot \phi_p}} \quad (7)$$

Sendo:

σ_s = tensão máxima atuante nas barras para garantia da abertura de fissuras prefixadas;

η_1 = coeficiente de aderência, adotado 2,25 para barras nervuradas;

E_s = Módulo de elasticidade do aço = 210.000 MPa;

f_{ctm} = resistência característica média do concreto à tração, $f_{ctm} = 0,3 * f_{ck}^{\frac{2}{3}}$;

ω = espessura das fissuras;

ϕ_p = diâmetro das barras na seção (adotada).

Valores de ω são obtidos a partir das características relacionadas à proteção e classificação do meio onde serão inseridas, como descreve Alonso (2012), para estacas não protegidas em meio agressivo adota-se 0,1 mm, para estacas não protegidas em meio não agressivo, 0,2 mm, e para estacas protegidas o valor estipulado é de 0,3 mm. Com a tensão máxima obtida, a área de aço necessária é descoberta pela equação onde tensão é igual ao produto da força (de tração) pela área de aço.

No presente trabalho a determinação da tensão máxima será baseada no controle da fissuração sem a verificação de abertura das mesmas, podendo-se obtê-la através da Tabela 5 – adaptada do item 17.3.3.3 da ABNT NBR 6118 (2014).

Tabela 5: Valores máximos de diâmetro, com barras de alta aderência.

Tensão na barra (MPa)	160	200	240	280	320	360	400
Diâmetro máximo ($\phi_{\max}$)	32	25	20	16	12,5	10	8

Fonte: Adaptada de ABNT NBR 6118 (2014).

Após a obtenção da tensão com base na bitola do aço a ser utilizado a área de tração será obtida através dos valores mínimos para a armadura de tração sob deformações impostas conforme a Equação 8, presente no item 17.3 da ABNT NBR 6118 (2014).

$$A_{smin} = k \cdot k_c \cdot f_{ctm} \cdot \frac{A_c}{\sigma_{si}} \quad (8)$$

Sendo:

A_{smin} = área de armadura mínima na zona tracionada;

A_c = área de concreto;

σ_{si} = tensão máxima permitida a armadura.

k = coeficiente que considera os mecanismos de geração de tensões de tração, sendo $k = 0,8$ no caso geral de forma de seção.

k_c = coeficiente que considera a natureza da distribuição de tensões na seção sendo $k_c = 1,0$ para tração.

f_{ctm} = resistência média à tração efetiva do concreto no instante em que se formam as primeiras fissuras.

Observação: recomenda-se a adoção de um valor mínimo de resistência a tração igual a 3 MPa.

2.1.5 Dimensionamento estrutural para flexão simples

Para o cálculo da armadura necessária a suportar esforços de flexão simples, o processo é diferenciado. Nascimento e Pinheiro (2010) desenvolveram uma tabela para a realização do dimensionamento estrutural para peças que sofrem esforços de flexão simples com base na ABNT NBR 6118 (2014), primeiramente é necessário encontrar o valor de K_c , que pode ser obtido através da Equação 9.

$$K_c = \frac{bd^2}{M_d} \quad (9)$$

Sendo:

b = diâmetro ou lado da seção transversal analisada em cm;

d = b - cobrimento;

c = cobrimento nominal;

M_d = Momento fletor de cálculo;

Obs: Para $\gamma_c \neq 1,4$, multiplicar b por $\frac{1,4}{\gamma_c}$ antes de utilizar a fórmula.

Ao obter o valor de K_c , utiliza-se Tabela 6, onde se encontra seu valor aproximado na coluna respectiva à classe de concreto utilizada no projeto. Logo após é obtido o valor de K_s respectivo à linha onde foi encontrado o valor de K_c . Tendo o valor de K_s definido, utiliza-se a Equação 10 adaptada da tabela de Pinheiro (2010) para determinar a área de aço necessária para o dimensionamento (A_s) à flexão simples.

$$A_s = \frac{K_s.M_d}{d} \quad (10)$$

Sendo:

K_s = coeficiente obtido através da Tabela 6.

A_s = área de aço necessária para esforços de flexão simples em cm²;

M_d = Momento fletor de cálculo em kN.cm.

Tabela 6: Valores de Kc e Ks.

Kc				Ks
C20	C25	C30	C40	CA-50
51,9	41,5	34,6	25,9	0,023
26,2	20,9	17,4	13,1	0,023
17,6	14,1	11,7	8,8	0,024
13,3	10,6	8,9	6,7	0,024
10,7	8,6	7,2	5,4	0,024
9	7,2	6	4,5	0,024
7,8	6,2	5,2	3,9	0,024
6,9	5,5	4,6	3,4	0,025
6,2	4,9	4,1	3,1	0,025
5,6	4,5	3,7	2,8	0,025
5,1	4,1	3,4	2,6	0,025
4,7	3,8	3,2	2,4	0,025
4,4	3,5	3	2,2	0,026
4,1	3,3	2,8	2,1	0,026
3,9	3,1	2,6	2	0,026
3,7	3	2,5	1,8	0,026
3,5	2,8	2,3	1,8	0,027
3,3	2,7	2,2	1,7	0,027
3,2	2,6	2,1	1,6	0,027
3,1	2,5	2	1,5	0,027
3	2,4	2	1,5	0,028
2,9	2,3	1,9	1,4	0,028
2,8	2,3	1,9	1,4	0,028
2,7	2,2	1,8	1,4	0,028
2,7	2,1	1,8	1,3	0,029
2,6	2,1	1,7	1,3	0,029
2,5	2	1,7	1,3	0,029
2,4	2	1,6	1,2	0,029
2,4	1,9	1,6	1,2	0,03
2,3	1,9	1,5	1,2	0,03
2,3	1,8	1,5	1,1	0,03
2,2	1,8	1,5	1,1	0,031

Fonte: Adaptada de Pinheiro (2010).

2.1.6 Dimensionamento estrutural de estribos

Para a realização do dimensionamento da armadura resistente à força cortante (estribos), a NBR ABNT 6118 (2014) define dois modelos de cálculos que podem ser usados para tal.

No presente trabalho será utilizado o Modelo de cálculo I, item 17.4.2.2 – NBR ABNT 6118 (2014) – admitindo um ângulo de 45^a entre as bielas de compressão (diagonais comprimidas de concreto) e o eixo longitudinal da peça estrutural.

Bastos (2017) desenvolveu uma tabela que simplifica o cálculo da área de aço CA-50 para determinadas classes de concreto, contendo uma verificação de cortante mínima e a cortante resistente relativa à ruína das bielas de compressão. A Tabela 7 indica as fórmulas a serem usadas para obtenção da cortante resistente acima citada, cortante mínima e área de aço dos estribos.

Tabela 7: Equações simplificadas para obtenção A_{sw} , Modelo de cálculo I.

Concreto	V_{rd2} (KN)*	$V_{sd,min}$ (KN)*	A_{sw} (cm ² /m)
C20	$(0,35b \times d)$	$(0,101b \times d)$	$(2,55 \times \frac{V_{sd}^*}{d}) - (0,17 \times b)$
C25	$(0,43b \times d)$	$(0,117b \times d)$	$(2,55 \times \frac{V_{sd}^*}{d}) - (0,2 \times b)$
C30	$(0,51b \times d)$	$(0,132b \times d)$	$(2,55 \times \frac{V_{sd}^*}{d}) - (0,22 \times b)$
C40	$(0,65b \times d)$	$(0,160b \times d)$	$(2,55 \times \frac{V_{sd}^*}{d}) - (0,27 \times b)$
*Valores de V_{rd2} e $V_{sd,min}$ serão dados em KN.			

Fonte: Adaptada de Bastos (2017).

A quantidade de estribos por metro linear será adotada através da Equação 11, onde, usando um arredondamento inteiro acima obtém-se o número de estribos necessários a cada metro.

$$N = \frac{A_{sw}}{2A_e} \quad (11)$$

Sendo:

N = número de ramos de estribo por metro;

A_{sw} = área de aço dos estribos por metro em cm^2 ;

A_e = área da barra utilizada em cm^2 (sendo 2 estribos por ramo);

Em relação ao espaçamento de eixo a eixo dos ramos, segundo a NBR 6118 (2014), não deve ser inferior a 6-7 cm a fim de não dificultar a penetração do concreto a ser lançado, sendo comumente adotados valores inteiros em centímetros ou múltiplos de 0,5 cm, obtido através da Equação 12.

$$s = \frac{100}{N} \quad (12)$$

Sendo:

s = espaçamento entre estribos em cm;

N = número de ramos de estribo.

Conforme a ABNT NBR 6118 (2014), item 18.3.3.2, o espaçamento máximo deve atender as condições abaixo:

- se $V_{sd} \leq 0,67 * V_{Rd2}$, então $S_{max} = 0,6 * d \leq 300 \text{ mm}$

- se $V_{sd} \geq 0,67 * V_{Rd2}$, então $S_{max} = 0,3 * d \leq 200 \text{ mm}$

A mesma norma também estabelece o espaçamento transversal máximo entre ramos sucessivos, não podendo exceder os seguintes valores:

- se $V_{sd} \leq 0,2 * V_{Rd2}$, então $St_{max} = d \leq 800 \text{ mm}$

- se $V_{sd} \geq 0,2 * V_{Rd2}$, então $St_{max} = 0,6 * d \leq 350 \text{ mm}$

2.2 PROGRAMAÇÃO

Os avanços tecnológicos, com o passar dos anos, possibilitaram um grande salto na engenharia, o uso de *softwares* para dimensionamento, drones para inspeção e levantamento topográfico, sensores para análises e diversas outras ferramentas usadas visando funcionalidade, agilidade e eficiência, se tornaram cada vez mais comuns na construção civil.

Este item tem como objetivo introduzir a programação computacional e como ela pode ser utilizada em benefício do usuário em qualquer área necessária. Inicialmente, ao se abordar programação, faz-se necessário o conhecimento acerca do que é um algoritmo.

Como aborda Souza *et al.* (2014), a palavra algoritmo procede do nome Mohammed ibn Musa Al-Khowarizmique, astrólogo, matemático, astrônomo e autor persa, que realizava trabalhos de introdução do cálculo hindu para os árabes e conseqüentemente à toda Europa. Define-se algoritmo como um conjunto ordenado de passos que, ao ser executado, realizará uma tarefa. Para a criação desses algoritmos é necessária a utilização de uma linguagem para a comunicação entre o *software* e o computador, chamada de linguagem de programação.

A lógica da programação se baseia em dois estágios, saber o que precisa ser feito e como será feito, nos termos da exposição de Manzano e Oliveira (2005).

2.3 LINGUAGEM PHP *HYPERTEXT PREPROCESSOR*

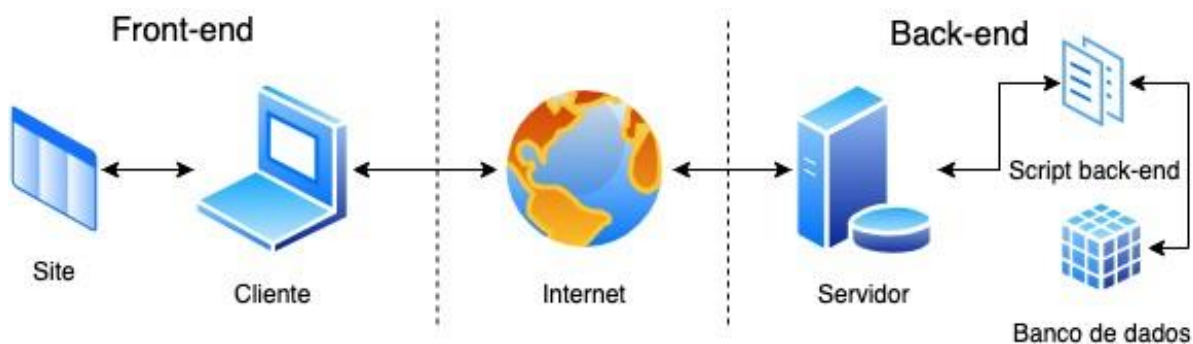
A linguagem PHP (*Hypertext Preprocessor*) surgiu a partir da necessidade de tornar a programação mais acessível para as pessoas que, embora não fossem programadoras, queriam definitivamente transformar páginas HTML em algo mais prático e eficaz, segundo Hughes e Zmievski (2001, p. 4).

Além do dinamismo proposto, a linguagem PHP simplifica a utilização de páginas HTML pelo usuário, uma vez que sua execução acontece em um servidor, evitando, por consequência, a necessidade de instalação de inúmeros *softwares* nos dispositivos eletrônicos para, enfim, alcançar acesso à página buscada – sendo esta, em linhas gerais, a principal diferença entre a linguagem PHP e a linguagem JAVA, por exemplo.

A linguagem PHP, na prática, subdivide-se em *Front end* e *Back end*, sendo esta de responsabilidade do servidor que – quando solicitado pelo usuário, a partir de um banco de dados desenvolvido pela programação, lhe apresenta uma resposta através daquela área de

desenvolvimento. Isto é, o *front end* refere-se ao *layout* e *design* da página elaborada. A Figura 1, exemplifica o desempenho das funções acima mencionadas.

Figura 1: *Front end e Back end.*



Fonte: Marques, (2020).

Em linhas gerais, uma página desenvolvida a partir da linguagem PHP permanecerá “hospedada” em uma aba da web, fornecendo, ao usuário, a opção de acesso ao programa em qualquer meio eletrônico com acesso à internet.

CAPÍTULO 3

3.1 METODOLOGIA

As formas de abordagem de um problema em uma pesquisa científica são diferenciadas, já que “no método quantitativo, os pesquisadores valem-se de amostras amplas e de informações numéricas, enquanto que no qualitativo as amostras são reduzidas, os dados são analisados em seu conteúdo psicossocial e os instrumentos de coleta não são estruturados. ” (LAKATOS E MARCONI, 2008, p. 269)

Assim sendo, o presente estudo utiliza o método quantitativo, de modo que após a conclusão do *software* testes foram realizados através de uma análise dos resultados obtidos por meio da ferramenta desenvolvida em comparação com aqueles realizados através do procedimento de cálculo manual comprovando, por consequência, a eficácia da pesquisa proposta.

Primeiramente, realizou-se o levantamento de informações referentes ao dimensionamento estrutural semi empírico descrito em livros, normas e artigos apontando-se os mais adequados para incorporação ao método computacional.

Os métodos relacionados ao dimensionamento geotécnico não serão abordados na presente pesquisa, já que são matérias de amplo conhecimento no segmento técnico de fundações e pelo foco do estudo ser em dimensionamento estrutural.

Destaca-se que outros trabalhos acadêmicos já foram desenvolvidos a partir das questões anteriormente citadas como: Desenvolvimento de um *software* acadêmico para auxiliar no dimensionamento de elementos de fundações (POLETO, 2018) e Desenvolvimento de um *software* acadêmico para auxiliar na tomada de decisão quanto aos tipos de fundações (GIRARDELLO, 2017), de modo que ambos foram utilizados como referência para o desenvolvimento da presente pesquisa.

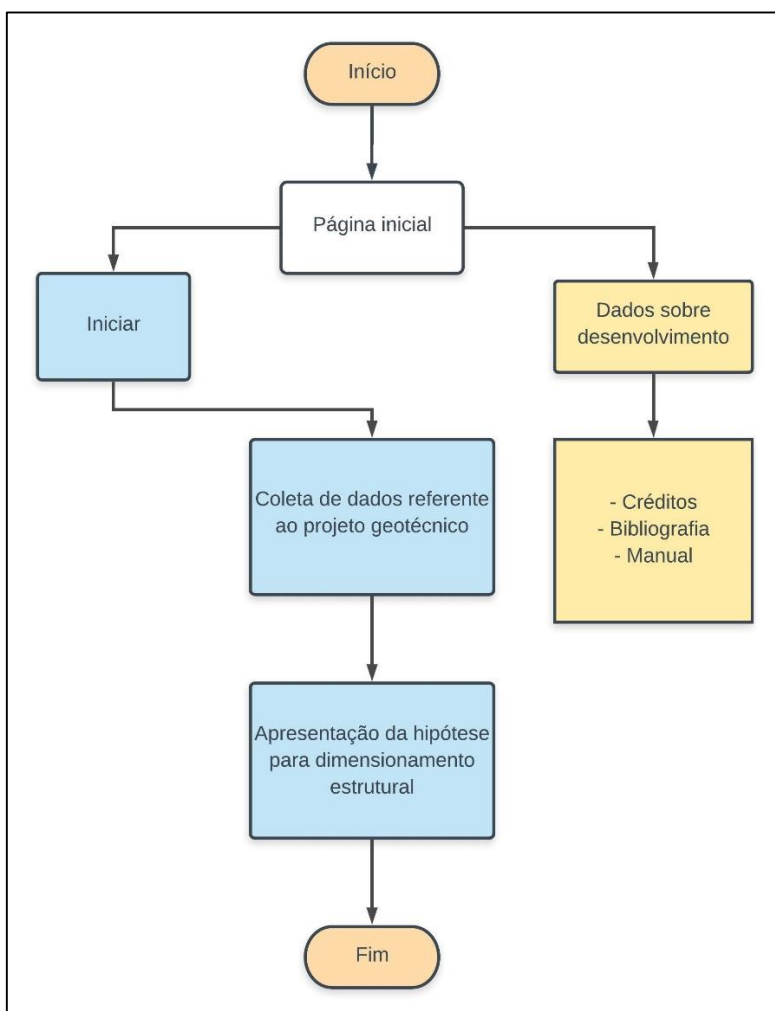
3.1.1 Procedimentos para elaboração do *software*

Com a ciência do caso analisado e dos comandos específicos da linguagem de programação PHP, se pode compreender de qual modo ocorrerá o processo de desenvolvimento do *software*.

Após a obtenção das fórmulas e coeficientes referentes a cada método executivo de fundação distintos, se deu início à modelagem e transcrição dos métodos semi empíricos para a linguagem de programação.

O fluxograma da Figura 2 demonstra de forma simples o funcionamento do programa, que consiste em uma etapa prévia de conhecimento dos dados de dimensionamento geotécnico, execução do *software*, criação da hipótese de dimensionamento, coleta de informações geotécnicas e estruturais - condizentes com as normas citadas anteriormente, armazenagem de dados e realização de cálculos, apresentação gráfica e numérica da A_s e A_{sw} - área de armadura longitudinal e transversal - e quantidade de barras necessária para a composição das mesmas.

Figura 2: Fluxograma de funcionamento do *software*



Fonte: Autor (2019).

3.1.2 Desenvolvimento lógico (código de programação)

O início dos cálculos se dá com a definição de variáveis comuns, que por sua vez foi dividida em duas etapas, sendo elas, inicialização de variáveis vindas do usuário e inicialização de variáveis de tabela como demonstra os códigos das Figura 3, 4 e 5.

Figura 3: Código da inicialização de variáveis vindas do usuário.

```

34  /** ----- Definição de Variáveis Comuns ----- */
35
36  /** +++ [Inicialização de variáveis vindas do usuário] */
37  $tp_estaca = $request->get('tipoEstaca'); //tipo da estaca
38  $nck = $request->get('nck'); //Esf compressão
39  $cca = $request->get('cca'); //Classe agressividade
40  $ntk = $request->get('ntk'); // Esf tração
41  $b = $request->get('b'); // diametro/lado seção
42  $Op_v = $request->get('op'); // aço longitudinal
43  $tfm = $request->get('tfm'); // atrito lateral
44  $h = $request->get('h'); // Altura da Fundação
45  $Os = $request->get('os'); // aço estribos
46  $vkmax = $request->get('vkmax'); //esf horizontal
47  $mk = $request->get('mk'); //momento fletor

```

Fonte: Autor (2020).

Figura 4: Código da inicialização de variáveis de tabela I.

```

49  /** +++ [Inicialização de variáveis de tabela] */
50  $classe_concreto = array(
51      array(30, 30, 40, 40), // Helice
52      array(25, 25, 40, 40), // Escavada sem fluido
53      array(30, 30, 40, 40), // Escavada com fluido
54      array(20, 20), // Strauss
55      array(20, 20, 20, 20), // Franki
56      array(25, 25, 40, 40), // Tubulões
57      array(20, 20, 20, 20), // Raiz
58      array(20, 20, 20, 20), // Microestacas
59      array(20, 20, 20, 20) // Estaca trado vazado
60  );
61
62  $yc_values = array(
63      array(2.7, 2.7, 3.6, 3.6), // Helice
64      array(3.1, 3.1, 5, 5), // Escavada sem fluido
65      array(2.7, 2.7, 3.6, 3.6), // Escavada com fluido
66      array(2.5, 2.5), // Strauss
67      array(1.8, 1.8, 1.8, 1.8), // Franki
68      array(2.2, 2.2, 3.6, 3.6), // Tubulões
69      array(1.6, 1.6, 1.6, 1.6), // Raiz
70      array(1.8, 1.8, 1.8, 1.8), // Microestacas
71      array(1.8, 1.8, 1.8, 1.8), // Estaca trado vazado
72  );

```

Fonte: Autor (2020).

Figura 5: Código da inicialização de variáveis de tabela II.

```

74  $kc20 = array(2.2, 2.3, 2.41, 2.71, 3.1, 3.7, 4.7, 7.8, 26.2, 51.9);
75  $ks20 = array(0.031, 0.03, 0.029, 0.028, 0.027, 0.026, 0.025, 0.024, 0.023, 0.023);
76
77  $kc25 = array(1.8, 1.81, 2, 2.2, 2.5, 3, 3.8, 6.2, 20.9, 41.5);
78  $ks25 = array(0.031, 0.03, 0.029, 0.028, 0.027, 0.026, 0.025, 0.024, 0.023, 0.023);
79
80  $kc30 = array(1.5, 1.51, 1.61, 1.81, 2.01, 2.5, 3.2, 5.2, 17.4, 34.6);
81  $ks30 = array(0.031, 0.03, 0.029, 0.028, 0.027, 0.026, 0.025, 0.024, 0.023, 0.023);
82
83  $kc40 = array(1.1, 1.11, 1.21, 1.4, 1.51, 1.81, 2.4, 3.9, 13.1, 25.9);
84  $ks40 = array(0.031, 0.03, 0.029, 0.028, 0.027, 0.026, 0.025, 0.024, 0.023, 0.023);
85
86  $w_values = array(0.1, 0.2, 0.2, 0.3);
87  $op_values = array(8, 10, 12.5, 16, 20);
88  $ss_values = array(400, 360, 320, 280, 240);

```

Fonte: Autor (2020).

Após a obtenção dessas variáveis iniciais dá-se início ao cálculo de dimensionamento propriamente dito. Para se obter a área de aço longitudinal necessária para a peça estrutural em análise.

Começando pelo esforço de compressão, será atribuído para o valor de comparação o maior valor dentre A_s e A_{smin} . A Figura 6 exemplifica o código usado para os cálculos de compressão.

Figura 6: Código referente ao cálculo de compressão.

```

103  /** ----- Calculo de compressão ----- */
104
105  /** +++ [Inicialização de variáveis] */
106  $fck = number_format($classe_concreto[$stp_estaca][$cca] * 10.1972, 4, '.', '');
107  $syc = $syc_values[$stp_estaca][$cca];
108  $Ncd = number_format(1.4 * ($nck * 1000), 4, '.', '');
109  $Ac = number_format((( $b * $b) * 3.1415) / 4, 4, '.', '');
110  $fcd = number_format($fck / $syc, 4, '.', '');
111  $fyd = 4433.5486; // constante
112  $x = max(1.1, (1 + 6 / $b)); // limiar, adotar o maior, se menor que 1.1, adotar 1.1
113
114  /** +++ [Realização dos cálculos] */
115  $AsMinC = 0.004 * $Ac;
116  $AsC_v = $Ncd * $x - (0.85 * $Ac * $fcd);
117  $AsC_v = number_format($AsC_v / $fyd, 4, '.', '');
118  $AsC = max($AsMinC, $AsC_v);

```

Fonte: Autor (2020).

O dimensionamento ao esforço de tração é realizado através da comparação e aquisição do maior valor entre As_{min} e As do respectivo dimensionamento, de modo que a segunda pode ser obtida através do quociente entre a força de tração estipulado pelo usuário na etapa de coleta de dados e a tensão máxima atuante como bem demonstra a Tabela 5. A Figura 7 expõe o código relacionado a essa etapa.

Figura 7: Código referente ao cálculo de tração.

```

134  /** ----- Calculo de tração ----- */
135
136  /** +++ [Inicialização de variáveis] */
137  $fctm = number_format(0.3 * (pow($fck, 0.6667)), 4, '.', '');
138  $Ac = number_format((( $b * $b ) * 3.1415) / 4, 4, '.', '');
139  $ss = number_format(($ss_values[$Op_v]) * 10.1972, 4, '.', '');
140  $Op = $Op_values[$Op_v];
141  $Ntd = number_format(1.4 * ($ntk * 1000), 4, '.', '');
142
143  /** +++ [Realização dos cálculos] */
144  $AsMinT = number_format(0.8 * 1 * $fctm * ($Ac / $ss), 4, '.', '');
145  $AsT_v = number_format($Ntd / $ss, 4, '.', '');
146  $AsT = max($AsMinT, $AsT_v);
147

```

Fonte: Autor (2020).

Por último, quanto ao aço longitudinal, se realiza o cálculo pertinente ao dimensionamento a flexão simples, descrito por menor no item 2.1.5 do presente trabalho. As Figura 8 e 9 expõem o código usado para esta finalidade

Figura 8: Código referente ao cálculo de flexão simples I.

```

163  /** ----- Calculo de flexão simples ----- */
164
165  /** +++ [Inicialização de variáveis] */
166  $yc = $yc_values[$tp_estaca][$cca];
167  $d = ($b - 5);
168  $Md = number_format(($mk * 1.4) * 980.66, 4, '.', '');
169  $kc_tabela = array();
170  $ks_tabela = array();
171
172  /** +++ [Realização dos cálculos] */
173  $Kc = ($b * (1.4 / $yc)) * ($d * $d);
174  $Kc = number_format($Kc / $Md, 4, '.', '');

```

Fonte: Autor (2020).

Figura 9: Código referente ao cálculo de flexão simples II.

```

176  /** +++ [Recuperação do Ks] */
177  switch ($classe_concreto[$tp_estaca][$cca]) {
178      case 20:
179          $kc_tabela = $kc20;
180          $ks_tabela = $ks20;
181          break;
182      case 25:
183          $kc_tabela = $kc25;
184          $ks_tabela = $ks25;
185          break;
186      case 30:
187          $kc_tabela = $kc30;
188          $ks_tabela = $ks30;
189          break;
190      case 40:
191          $kc_tabela = $kc40;
192          $ks_tabela = $ks40;
193          break;
194  }
195  // verificar se kc está acima ou abaixo dos valores das extremidades do vetor
196  if ($kc < $kc_tabela[0] || $kc > $kc_tabela[count($kc_tabela) - 1]) {
197      $ks = 0;
198      $alertas = "<p style='color:red;'><b>" .
199          "Alerta: Não foi possível encontrar o valor de Ks correspondente</br>" .
200          "O Kc obtido esteve em intervalo muito inferior ou muito superior dos máximos.</br>" .
201          "Resultado de Flexão Simples não utilizado para cálculos gerais. Verifique sua classe de concreto!" .
202          " </b></p>";
203  } else {
204      for ($i = 0; $i < count($kc_tabela); $i++) {
205          if ($kc >= $kc_tabela[$i] && $kc < $kc_tabela[$i + 1]) {
206              $ks = $ks_tabela[$i];
207          }
208      }
209  }
210
211  $AsF = number_format(($Ks * $Md) / $d, 4, '.', '');

```

Fonte: Autor (2020).

Após a obtenção das áreas de aço respectivas aos dimensionamentos de compressão, tração e flexão simples é calculado o número de barras a ser utilizado no dimensionamento da armadura longitudinal através da maior área obtida entre as três, dividido pela área pertinente a uma barra do diâmetro indicado pelo usuário. O comprimento mínimo da armadura, informado juntamente com a quantidade de barras e respectiva bitola é obtido através da Tabela 1 do presente estudo. A Figura 10 demonstra essa interação através do código.

Figura 10: Código referente ao cálculo do aço longitudinal.

```

316  /** ----- Aço Longitudinal ----- */
317
318  /** +++ [Inicialização de variáveis] */
319  $Op_c = ($Op_values[$Op_v]) / 10;
320
321  $As = max($AsC, $AsF, $AsT); // pega o máximo das 3
322  $Ai = number_format((( $Op_c * $Op_c ) * 3.1415) / 4, 4, '.', ''); // calcula a area do aço longitudinal
323  $Nl = number_format($As / $Ai, 4, '.', ''); // calcula o numero de barras
324  $Nl = ceil($Nl);
325
326  /** +++ [Geração de logs para o usuario] */
327  $info_aco_long = "<div id='info-aco-longitudinal'>" .
328    "<b>Op: </b>" . $Op_c . " cm</br>" .
329    "<b>As: </b>" . $As . "</br>" .
330    "<b>Ai: </b>" . $Ai . "</br></br>" .
331    "<b>N: </b>" . $Nl . "</br>" .
332    "</div>";
333
334  /** ----- Fim Aço Longitudinal ----- */

```

Fonte: Autor (2020).

Com a determinação do esforço a ser dimensionado à armadura longitudinal e o número de barras necessário, temos o primeiro resultado concreto obtido através do *software*, que será indicado ao usuário na mesma tela de inserção de dados, juntamente com o resultado do dimensionamento dos estribos – detalhado a seguir, abaixo da imagem da peça estrutural com o nome “Aço longitudinal” e “Aço estribos” respectivamente, como exemplifica a Figura 11.

Figura 11: Apresentação de resultados referente à armadura longitudinal e estribos.

```

316  /** ----- Aço Longitudinal ----- */
317
318  /** +++ [Inicialização de variáveis] */
319  $Op_c = ($Op_values[$Op_v]) / 10;
320
321  $As = max($AsC, $AsF, $AsT); // pega o máximo das 3
322  $Ai = number_format((( $Op_c * $Op_c ) * 3.1415) / 4, 4, '.', ''); // calcula a area do aço longitudinal
323  $Nl = number_format($As / $Ai, 4, '.', ''); // calcula o numero de barras
324  $Nl = ceil($Nl);
325
326  /** +++ [Geração de logs para o usuario] */
327  $info_aco_long = "<div id='info-aco-longitudinal'>" .
328    "<b>Op: </b>" . $Op_c . " cm</br>" .
329    "<b>As: </b>" . $As . "</br>" .
330    "<b>Ai: </b>" . $Ai . "</br></br>" .
331    "<b>N: </b>" . $Nl . "</br>" .
332    "</div>";
333
334  /** ----- Fim Aço Longitudinal ----- */

```

Fonte: Autor (2020).

Já o cálculo da armadura destinada ao esforço cortante (estribos) é necessário realizar somente uma comparação, que é feita entre o V_{sd} – obtido através do V_{smax} indicado pelo usuário, e o V_{sdmin} - valor obtido pela Tabela 7, levando em consideração a classe do concreto, e diâmetro da peça. Pode-se ver através das Figuras 12 e 13 partes do código usado para essas interações.

Figura 12: Código referente ao cálculo de esforço cortante (estribos) I.

```

230  /** ----- Dimensionamento de Estribos ----- */
231
232  /** +++ [Inicialização de variáveis] */
233  $cla_concreto = $classe_concreto[$tp_estaca][$cca];
234  $Vsd = number_format(($vkmax * 1.4 * 9.8066), 4, '.', '');
235  $d = ($b - 5);
236  $Os_c = $Os / 10;
237
238  $vrd2_v = 0;
239  $asw_v = 0;
240
241  switch ($cla_concreto) {
242      case 20:
243          $vrd2_v = 0.35;
244          $asw_v = 0.17;
245          break;
246      case 25:
247          $vrd2_v = 0.43;
248          $asw_v = 0.2;
249          break;
250      case 30:
251          $vrd2_v = 0.51;
252          $asw_v = 0.22;
253          break;
254      case 40:
255          $vrd2_v = 0.65;
256          $asw_v = 0.27;
257          break;
258  }
259
260  /** +++ [Realização dos cálculos] */
261  $Vrd2 = number_format(($vrd2_v * $b * $d), 4, '.', '');
262  $Asw = number_format((2.55 * ($Vsd / $d)) - ($asw_v * $b), 4, '.', '');
263

```

Fonte: Autor (2020).

Figura 13: Código referente ao cálculo de esforço cortante (estribos) II.

```

281  /** ----- Aço de Estribos ----- */
282
283  /** +++ [Inicialização de variáveis] */
284  $smax = 0;
285  if ($Vsd <= (0.67 * $Vrd2)) {
286      $smax = min((0.6 * $d), 30);
287  } else if ($Vsd >= (0.67 * $Vrd2)) {
288      $smax = min((0.3 * $d), 20);
289  }
290  $Ae = number_format((( $Os_c * $Os_c ) * 3.1415) / 4, 4, '.', '');
291
292  /** +++ [Realização dos cálculos] */
293  $Ne = number_format($Asw / (2 * $Ae), 4, '.', '');
294  $Ne = ceil($Ne);
295  $S_v = number_format(100 / $Ne, 1, '.', '');
296  $S = min($S_v, $smax);
297  $S = floor($S);
298

```

Fonte: Autor (2020).

CAPÍTULO 4

4.1 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Primeiramente criou-se uma interface como bem demonstra a Figura 14, onde o usuário tem a opção de iniciar um novo cálculo a partir da inserção das variáveis ou navegar pelas opções “Créditos”, “Bibliografia” e “Manual” expostos na parte superior do *frame*.

Figura 14: *Frame* inicial.

Dimensionamento Estrutural de Fundações Profundas

Tipo de Fundação: Hélice Contínua

Classe do Concreto(F_{ck}): 30 Mpa

Esf. Compressão (N_{ck}): tf

Classe Agressividade (CAA): I - Fraca

Cobrimento (c): 5 cm

Esf. de tração (N_{tk}): tf

Diâmetro/lado da seção (b): cm

Aço longitudinal ($\varnothing_p$): 8 mm

Esf. Horizontal (V_{kmax}): tf

Comprimento estaca/tubulão (h): m

Aço estribos ($\varnothing_s$): 4,2 mm

Momento Fletor (M_k): tf.m

Calcular

Logs de Cálculo

Diagrama: Pile with forces N_{ck} , N_{tk} , M_k , and V_{kmax} . Labels: Atrito Lateral (NI), Comprimento do Elemento Estrutural de Fundação (h).

Valores

Aço Estribos:

Aço Longitudinal:

Fonte: Autor (2020).

Como se pode notar, os itens “Tipo de Fundação”, “Classe do Concreto”, “Classe de Agressividade”, “Aço Longitudinal” e “Aço Estribos” serão coletados através de uma “*combobox*”, ou seja, um comando muito comum para seleção de itens em uma lista, que nesse caso, partem de uma predefinição realizada pelo desenvolvedor com base nas Tabelas 1,2 e 3 do presente estudo e catálogos de diâmetros comerciais disponibilizados por empresas fornecedoras de aço, tais como a Gerdau e Arcelor Mittal.

Para os demais itens provenientes do projeto geotécnico, optou-se por deixar uma caixa de preenchimento livre com suas respectivas unidades de medida à frente, uma vez que são pontos que podem conter variações diversas, sendo eles “Diâmetro/Lado da Seção”, “Altura da Fundação”, “Carga de Compressão”, “Carga de Tração” e “Momento Fletor”. Os itens “Cobrimento” e “Classe de Concreto” serão pré-estabelecidos através da seleção do tipo de fundação e classe de agressividade.

Ao ser solicitado as variáveis do projeto geotécnico ao usuário é de grande importância que o *layout* seja intuitivo e facilite a entrada de dados, para assim, apontar a quantidade devida de armadura que a peça estrutural necessitará.

4.2 VALIDAÇÃO DE RESULTADOS

O *software* criado visa o dimensionamento de fundações profundas para a armadura longitudinal através da obtenção da maior área entre o dimensionamento aos esforços de compressão, tração e flexão simples, e cortante para o dimensionamento de estribos. É reiterado que o uso do *software* acadêmico é de total responsabilidade do usuário, cabendo a ele a escolha dos melhores parâmetros para a realização do projeto.

Para a comprovação de eficiência e validação do *software* desenvolvido no presente trabalho, realizou-se uma comparação de resultados entre o método semi empírico manual e a ferramenta computacional desenvolvida, para 3 (três) testes criados, com valores distintos afim de se obter resultados diversos para casos divergentes de dimensionamento, possuindo os dados abaixo expostos:

O teste 01 é composto por hélice contínua como sistema de fundação, classe de agressividade moderada sendo que, conseqüentemente, a classe do concreto será de 30 MPa. O cobrimento, por sua vez, será de 5 centímetros, enquanto o diâmetro da seção será de 30 centímetros e o comprimento da estaca de 16 metros. Quanto ao aço, a bitola longitudinal considerada terá 10 milímetros enquanto a dos estribos será de 6,3 milímetros. No tocante aos esforços, tem-se esforço de compressão de 30 tonelada-força, esforço de tração nulo, esforço horizontal de 8 tonelada-força e momento fletor de 4 tonelada-força metro. Demonstra-se o preenchimento dos dados acima mencionados e os resultados do dimensionamento através das figuras 15 e 16, respectivamente.

Figura 15: Teste 01 na interface do *software*.

Dimensionamento Estrutural de Fundações Profundas

Tipo de Fundação Hélice Contínua ▼	Classe do Concreto (Fck) 30 MPa	Esf. Compressão (Nck) 30 tf
Classe Agressividade (CAA) II - Moderada ▼	Cobrimento (c) 5 cm	Esf. de tração (Ntk) 0 tf
Diâmetro/lado da seção (b) 30 cm	Aço longitudinal (Øp) 10 mm ▼	Esf. Horizontal (V_{kmax}) 8 tf
Comprimento estaca/tubulão (h) 16 m	Aço estribos (Øs) 6,3 mm ▼	Momento Fletor (M_k) 4 tf.m

Fonte: Autor (2020).

Figura 16: Resultados: Teste 01.

[Logs de Cálculo](#)

Compressão

Ncd: 42000.0000
fcd: 113.3022
fyd: 4433.5486
x: 1.2
AsMinC: 2.82735
AsC: -3.9863
Prevalece: 2.82735

Tração

fctm: 13.6230
Ac: 706.8375
as: 3670.9920
Øp: 10
Nd: 0.0000
AsMinT: 2.0985
AsT: 0.0000
Prevalece: 2.0985

Flexão Simples

yc: 2.7
d: 25
b: 30
Mk: 4
Md: 5491.6960
Mpa: 30
Kc: 1.7703
Ks: 0.029
AsF: 6.3704

Estribos

Mpa: 30
V_{kmax}: 8
b: 30
d: 25
Øs: 0.63
x-Vrd2: 0.51
x-Asw: 0.22
x-Vsd: 0.132
Vrd2: 382.5000
Asw: 4.6031
Vsd: 109.8339
VsdMin: 99.0000
Prevalece: 109.8339

Eço Estribos

Øs: 0.63
Ae: 0.3117
Vsd: 109.8339
Vrd2: 382.5000
d: 25
Asw: 4.6031
N: 8
S: 12.5
SMax: 15
Prevalece: 12

Aço Longitudinal

Comp: mínimo de 4m
Øp: 1
As: 6.3704
Ai: 0.7854
N: 9

Valores

Aço Estribos:
Ø 6.3 mm c/ 12 cm

Aço Longitudinal:
9 Ø 10 mm - Comprimento mínimo de 4m

Fonte: Autor (2020).

Ainda, o teste 02 utiliza como sistema de fundação estaca Franki e classe de agressividade forte sendo que o concreto terá classe de 20 MPa. O cobrimento, por sua vez, será de 5 centímetros, enquanto o diâmetro da seção será de 40 centímetros e o comprimento da estaca de 14 metros. Quanto ao aço, a bitola longitudinal considerada terá 8 milímetros enquanto a dos estribos será de 6,3 milímetros. No tocante aos esforços, tem-se esforço de compressão de 5 tonelada-força, esforço de tração de 25 tonelada-força, esforço horizontal de 11 tonelada-força e momento fletor de 6 tonelada-força metro. Os dados referentes ao teste 02 efetuado no *software* são apresentados pelas figuras 17 e 18.

Figura 17: Teste 02 na interface do *software*.

Dimensionamento Estrutural de Fundações Profundas

Tipo de Fundação Franki ▼	Classe do Concreto(f_{ck}) 20 MPa	Esf. Compressão (N_{ck}) 5 tf
Classe Agressividade (CAA) III - Forte ▼	Cobrimento (c) 5 cm	Esf. de tração (N_{tk}) 25 tf
Diâmetro/lado da seção (b) 40 cm	Aço longitudinal ($\varnothing_p$) 8 ▼ mm	Esf. Horizontal (V_{kmax}) 11 tf
Comprimento estaca/tubulão (h) 14 m	Aço estribos ($\varnothing_s$) 6,3 ▼ mm	Momento Fletor (M_k) 6 tf.m

Calcular

Fonte: Autor (2020).

Foram usados o diâmetro de 40 centímetros e as bitolas de aço sendo 8 e 6,3 milímetros para aço longitudinal e estribos respectivamente, para a melhor exemplificação dos diferentes resultados que o *software* pode gerar, os presentes dados não são baseados em projetos reais ou concebidos. Cabe ressaltar que a utilização do *software* profissionalmente é de total responsabilidade do usuário.

Figura 18: Resultados: Teste 02.

Logs de Cálculo			Valores
Compressão Ncd: 7000.0000 fcd: 113.3022 fyd: 4433.5486 x: 1.15 AsMinC: 5.0264 AsC: -25.4805 Prevalece: 5.0264	Tração fctm: 10.3961 Ac: 1256.6000 σs: 4078.8800 Øp: 8 Nd: 35000.0000 AsMinT: 2.5622 AsT: 8.5808 Prevalece: 8.5808	Flexão Simples yc: 1.8 d: 35 b: 40 Mk: 6 Md: 8237.5440 Mpa: 20 Kc: 4.6265 Ks: 0.026 AsF: 6.1193	Aço Estribos: Ø 6.3 mm c/ 14 cm Aço Longitudinal: 18 Ø 8 mm - Comprimento integral
Estribos Mpa: 20 Vkmx: 11 b: 40 d: 35 Øs: 0.63 x-Vrd2: 0.35 x-Asw: 0.17 x-Vsd: 0.101 Vrd2: 490.0000 Asw: 4.2030 Vsd: 151.0216 VsdMin: 141.4000 Prevalece: 151.0216	Eço Estribos Øs: 0.63 Ae: 0.3117 Vsd: 151.0216 Vrd2: 490.0000 d: 35 Asw: 4.2030 N: 7 S: 14.3 SMax: 21 Prevalece: 14	Aço Longitudinal Comp: integral Øp: 0.8 As: 8.5808 Ai: 0.5026 N: 18	

Fonte: Autor (2020).

Por fim, o teste 03 tem por sistema de fundação a Microestaca, que juntamente com as estacas raízes, são projetadas para suportar um alto esforço com diâmetros menores de seção transversal, sua classe de agressividade será forte tomando o concreto com classe de 40 MPa. O cobrimento, por sua vez, será de 5 centímetros, enquanto o diâmetro da seção será de 20 centímetros e o comprimento da estaca de 20 metros. Quanto ao aço, a bitola longitudinal considerada terá 16 milímetros enquanto a dos estribos será de 6,3 milímetros. No tocante aos esforços, tem-se o esforço de compressão de 30 tonelada-força, esforço de tração nulo, esforço horizontal de 4 tonelada-força e momento fletor de 1 tonelada-força metro. As figuras 19 e 20 exemplificam a inserção dos dados citados e seus respectivos resultados

Figura 19: Teste 03 na interface do *software*.

Dimensionamento Estrutural de Fundações Profundas

Tipo de Fundação Microestacas	Classe do Concreto (Fck) 20 MPa	Esf. Compressão (Nck) 30 tf
Classe Agressividade (CAA) III - Forte	Cobrimento (c) 5 cm	Esf. de tração (Ntk) 0 tf
Diâmetro/lado da seção (b) 20 cm	Aço longitudinal (Øp) 16 mm	Esf. Horizontal (V_{kmax}) 4 tf
Comprimento estaca/tubulão (h) 20 m	Aço estribos (Øs) 6,3 mm	Momento Fletor (Mk) 1 tf.m

Fonte: Autor (2020).

Figura 20: Resultados: Teste 03.

Logs de Cálculo			Valores
Compressão Ncd: 42000.0000 fcd: 113.3022 fyd: 4433.5486 x: 1.3 AsMinC: 1.2566 AsC: 5.4911 Prevalece: 5.4911	Tração fctm: 10.3961 Ac: 314.1500 σs: 2855.2160 Øp: 16 Nd: 0.0000 AsMinT: 0.9151 AsT: 0.0000 Prevalece: 0.9151	Flexão Simples yc: 1.8 d: 15 b: 20 Mk: 1 Md: 1372.9240 Mpa: 20 Kc: 2.5493 Ks: 0.029 AsF: 2.6543	Aço Estribos: Ø 6.3 mm c/ 9 cm Aço Longitudinal: 3 Ø 16 mm - Comprimento integral
Estribos Mpa: 20 V _{kmax} : 4 b: 20 d: 15 Øs: 0.63 x-Vrd2: 0.35 x-Asw: 0.17 x-Vsd: 0.101 Vrd2: 105.0000 Asw: 5.9359 Vsd: 54.9170 VsdMin: 30.3000 Prevalece: 54.9170	Eço Estribos Øs: 0.63 Ae: 0.3117 Vsd: 54.9170 Vrd2: 105.0000 d: 15 Asw: 5.9359 N: 10 S: 10.0 SMax: 9 Prevalece: 9	Aço Longitudinal Comp: integral Øp: 1.6 As: 5.4911 Ai: 2.0106 N: 3	

Fonte: Autor (2020).

A partir dos dados obtidos através do dimensionamento computacional, foi realizado uma comparação dos mesmos com os dados obtidos através de cálculos manuais normativos para os 3 testes propostos. A Tabela 8 exemplifica a interação e semelhança entre os resultados computacionais e manuais.

Tabela 8: Apresentação de resultados: Comparação entre *software* e cálculos manuais.

	Variáveis	Teste 01		Teste 02		Teste 03	
		Software	Manual	Software	Manual	Software	Manual
G	Fyd	4433,5486	4433,5486	4433,5486	4433,5486	4433,5486	4433,5486
	Fcd	113,3022	113,3022	113,3022	113,3022	113,3022	113,3022
	Ac	706,8375	706,8583	1256,6	1256,637	314,15	314,1593
C	As,min	2,8273	2,8274	5,0264	5,0265	1,2566	1,2566
	As	-3,9863	-3,9866	-25,4805	-25,4813	5,4911	5,4909
T	As,min	2,0985	2,0983	2,5622	2,5618	0,9151	0,915
	As	0	0	8,5808	8,5808	0	0
F	Kc	1,7703	1,7703	4,6265	4,6265	2,5493	2,5493
	Ks	0,029	0,029	0,026	0,026	0,029	0,029
	As	6,3704	6,3704	6,1193	6,1193	2,6543	2,6543
E	Vrd2	382,5	382,5	490	490	105	105
	Vsd,min	99	99	141,4	141,4	30,3	30,3
	Asw	4,6031	4,6031	4,203	4,203	5,9359	5,9359

Fonte: Autor (2020).

Onde:

G = Variáveis gerais;

C = Variáveis referentes ao dimensionamento a compressão;

T = Variáveis referentes ao dimensionamento a tração;

F = Variáveis referentes ao dimensionamento a flexão simples;

E = Variáveis referentes ao dimensionamento dos estribos.

Como vê-se os resultados obtidos possuem mínimas e irrelevantes divergências, ocasionadas principalmente pelo arredondamento das casas decimais dos cálculos, comprovando, por sua vez, o êxito no desenvolvimento da ferramenta proposta.

CAPÍTULO 5

5.1. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo em questão teve o intuito de desenvolver um *software* capaz de auxiliar no projeto estrutural de elementos de fundações profundas, lançando mão da tecnologia como forma de alcançar eficiência e precisão no cálculo. Assim, a partir do levantamento de dados e da determinação dos métodos a serem utilizados para os cálculos da área de aço necessária em fundações profundas, bem como do desenvolvimento da interface gráfica e lógica da ferramenta proposta foi possível a comprovação da viabilidade de utilização de um *software* para dimensionamento de fundações profundas seja no meio acadêmico ou no meio profissional.

Destaca-se que a implantação desta ferramenta tecnológica no dia a dia da construção civil auxilia consideravelmente na organização, exatidão de informações e praticidade cotidiana, qualidades necessárias para o célere e adequado andamento das construções, já que o *software* desenvolvido visa minimizar equívocos quanto ao dimensionamento estrutural dos elementos de fundações profundas, otimizando o tempo gasto com a realização de cálculos manuais.

Para tanto, empregou-se, no desenvolvimento do *software*, a linguagem de programação PHP *Hypertext Preprocessor* em razão de sua praticidade e facilidade de acesso, uma vez que não há necessidade de realização de *downloads* ou instalação de aplicações específicas para sua utilização. Sendo assim, ao usuário basta a conexão à internet para execução da ferramenta desenvolvida.

Não obstante, cumpre ressaltar que a agilidade proposta não deixa de considerar a qualidade fundamentalmente necessária no momento da execução das edificações, de modo que os resultados apresentados ao usuário - a partir dos dados oportunamente fornecidos, são críveis e confiáveis, como bem foi demonstrado nas discussões e comparações de testes do Capítulo 4.

Portanto, a integração entre os métodos manuais e a dedução de equações conhecidas nas ciências exatas em conjunto com ferramentas de programação foi satisfatória, sendo plenamente possível explorar, inclusive, futuros desdobramentos do presente *software*, que possam aprofundar e ampliar os resultados apresentados neste estudo.

Por fim, também espera tornar mais frequente e universal a utilização da tecnologia em favor da engenharia civil, trazendo à luz, portanto, inovação, modernidade e aperfeiçoamento das técnicas tradicionalmente conhecidas no campo de edificações.

CAPÍTULO 6

6.1. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Sugestão 01: Dimensionamento estrutural de sapatas;

Sugestão 02: Dimensionamento estrutural de fundações profundas (flexão composta);

Sugestão 03: Dimensionamento estrutural de blocos de estacas;

REFERÊNCIAS

ALONSO, U. R. **Dimensionamento de fundações profundas**. São Paulo – SP: Edgar Blucher, 2012;

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

_____, NBR 6118/2014. **Projeto de estruturas de concreto — Procedimento**. Rio de Janeiro: ABNT, 2014;

_____, NBR 7480/2007. **Aço destinado a armaduras para estruturas de concreto armado - Especificação**. Rio de Janeiro: ABNT, 2007;

BASTOS, P. S. D. S. **Vigas de concreto armado**. Bauru – SP: UNESP, 2017;

BASTOS, P. S. D. S. **Dimensionamento de vigas de concreto armado à força cortante**. Bauru – SP: UNESP, 2017;

BOTELHO, M. H. C.; CARVALHO, L. F. M. **Quatro edifícios: Cinco locais de implantação, vinte soluções de fundações**. 2. ed. São Paulo - SP: Edgard Blucher, 2015;

CARVALHO, V. A. D. **Lógica de programação**. 1. ed. Colatina - ES: CEAD/IFES, 2009.

CINTRA, J. C. A.; AOKI, N.; TSUHA, C. de H.C.; GIACHETI, H. L. **Fundações: ensaios estáticos e dinâmicos**. 1.ed. São Paulo – SP: Oficina de Textos, 2013;

CINTRA, J. C. A.; AOKI, N.; ALBIERO, J. H. **Fundações diretas: projeto geotécnico**. 1. ed. São Paulo – SP: Oficina de Textos, 2011;

CINTRA, J. C. A.; AOKI, N. **Fundações por estacas: projeto geotécnico**. 1. ed. São Paulo – SP: Oficina de Textos, 2010;

FIGUEIREDO FILHO, J. R. de; CARVALHO, R. C. **Cálculo e detalhamento de estruturas usuais de concreto armado: Segundo a NBR 6118:2014**. 4. ed. São Carlos - SP: UFSCAR, 2014;

GIRARDELLO, A. D. **Desenvolvimento de um software acadêmico para auxiliar na tomada de decisão quanto aos tipos de fundações**. Cascavel – PR: Centro Universitário da Fundação Assis Gurgacz, 2018;

HACHICH, W. *et al.* **Fundações: Teoria e prática**. 2.ed. São Paulo – SP: Editora Pini, 1998;

HUGHES, S.; ZMIEVSKI, A. **PHP. Guia do Desenvolvedor**. Tradução de Melissa Kassner. 1. ed. São Paulo – SP: Berkeley Brasil, 2001;

LAKATOS, E. M.; MARCONI, M. D. A. **Metodologia Científica**. 5.ed. São Paulo – SP: Editora Atlas, 2008;

MANZANO, J. A. N. G; OLIVEIRA, J. F. D. **Algoritmos: Lógica para Desenvolvimento de Programação de Computadores**. 17. ed. São José dos Campos - SP: Érica LTDA, 2005;

MARQUES, R. **O que é PHP: entenda de forma descomplicada**. Disponível em: <<https://www.homehost.com.br/blog/tutoriais/php/o-que-e-php/>>. Acesso em: 10 jul. 2020;

PINHEIRO, L. M. *et al.* **Fundamentos do concreto e projeto de edifícios**. São Paulo – SP: USP, 2010;

POLETO, F. L. **Desenvolvimento de um software acadêmico para auxiliar no dimensionamento de elementos de fundações**. Cascavel – PR: Centro Universitário da Fundação Assis Gurgacz, 2018;

REBELLO, Y. C. P. **Fundações: Guia prático de projeto, execução e dimensionamento**. 3. ed. São Paulo: Zigurate Editora, 2008;

SANTOS, R. R. D. **Programação de computadores em Java. 1. ed. Rio de Janeiro - RJ:** Nova terra, 2011.

SIMONS, N. E.; MENZIES, B. K. **Introdução a engenharia de fundações. 2. ed. Rio de Janeiro - RJ:** Interciência, 1981.

SOUSA, B. J. D; JÚNIOR, J. J. L. D; FORMIGA, A. D. A. **Introdução a Programação. 1. ed. João Pessoa - PB:** UFPB, 2010.

VELLOSO, D. D. A; LOPES, F. R. **Fundações: Critérios de projeto, investigação do subsolo, fundações superficiais, fundações profundas. 1. ed. São Paulo - SP:** Oficina de textos, 2010.

**APÊNDICE A – MANUAL *SOFTWARE* PARA DIMENSIONAMENTO ESTRUTURAL
EM FUNDAÇÕES PROFUNDAS**

CENTRO UNIVERSITÁRIO ASSIS GURGACZ

GUILHERME MARÇAL BATISTA

**DESENVOLVIMENTO DE *SOFTWARE* PARA DIMENSIONAMENTO
ESTRUTURAL EM FUNDAÇÕES PROFUNDAS**

CASCADEL - PR

2020

INTRODUÇÃO

O presente *software* foi desenvolvido buscando eficácia e agilidade no dimensionamento estrutural de fundações profundas. Primeiramente sendo bastante útil aos acadêmicos do curso de engenharia civil e estudantes da área, baseando-se primordialmente nas ABNT NBR 6118 (2014) e ABNT NBR 6122 (2019), para a realização do dimensionamento proposto.

O uso do *software* é de caráter experimental livre, não podendo ser comercializado em sua versão atual e não tendo responsabilidade técnica sobre qualquer dimensionamento executado a partir dele sem a devida consultoria de um engenheiro civil.

Esse manual conta com instruções para utilização da ferramenta, apresentando caminhos a serem evitados a fim de prevenir equívocos no resultado dos cálculos. Ainda, demonstra a forma correta de inserção dos dados solicitados e leitura de resultados apresentados.

EXECUÇÃO E UTILIZAÇÃO

Ao acessar o link (<https://dpf-calculator.herokuapp.com/>) através de um navegador o usuário terá como tela inicial do *software* um ambiente planejado para a adequada leitura e interpretação dos dados (Imagem 1).

1 – Tela inicial do *software* Dimensionamento Estrutural de Fundações Profundas, separada por itens para melhor explicação de suas funcionalidades.

Dimensionamento Estrutural de Fundações Profundas

Tipo de Fundação: Hélice Contínua | Classe do Concreto(Fck): 30 Mpa | Esp. Compressão (Nck): tf

Classe Agressividade (CAA): I - Fraca | Cobrimento (c): 5 cm | Esp. de tração (Ntk): tf

Diâmetro/lado da seção (b): cm | Aço longitudinal (Øp): 8 mm | Esp. Horizontal (Vkmax): tf

Comprimento estaca/tubulão (h): m | Aço estribos (Øs): 4,2 mm | Momento Fletor (Mk): tf.m

Calcular

Logs de Cálculo

Diagrama: Pile with forces M_k (bending moment), N_{ck} (compression), N_{tk} (tension), and V_{kmax} (shear). Dimensions include Atrito Lateral (NI) and Comprimento do Elemento Estrutural de Fundação (h).

Valores

Aço Estribos:

Aço Longitudinal:

ITEM 1:

Na barra superior do *software* estão dispostos os botões “CRÉDITOS”, “BIBLIOGRAFIA” E “MANUAL” que poderão ser acessados a qualquer momento da interação sem que haja interrupção da coleta de dados ou apresentação de resultados.



ITEM 2:

O item 2 foi desenvolvido para a coleta de dados atinentes ao projeto geotécnico, etapa onde se define a resistência do solo em que será executada a fundação, tipo de fundação e suas características e esforços solicitantes.

2

Dimensionamento Estrutural de Fundações Profundas

Tipo de Fundação Hélice Contínua ▼	Classe do Concreto(Fck) 30 Mpa	Esf. Compressão (Nck) tf
Classe Agressividade (CAA) I - Fraca ▼	Cobrimento (c) 5 cm	Esf. de tração (Ntk) tf
Diâmetro/lado da seção (b) cm	Aço longitudinal (Øp) 8 ▼ mm	Esf. Horizontal (vkmax) tf
Comprimento estaca/tubulão (h) m	Aço estribos (Øs) 4,2 ▼ mm	Momento Fletor (Mk) tf.m

Calcular

A inserção de dados é iniciada a partir da escolha do tipo de fundação e classe de agressividade ambiental, sendo que as opções de seleção são listadas abaixo:

Tipo de Fundação

Hélice Contínua
▼

Hélice Contínua

Escavada sem Fluido
Escavada com Fluido
Strauss
Franki
Tubulões
Raiz
Microestacas
Trado Vazado

Classe Agressividade (CAA)

I - Fraca
▼

I - Fraca

II - Moderada
III - Forte
IV - Muito Forte

Observação: o “Tipo de Fundação” Strauss somente poderá ser selecionado em classes de agressividade I e II, uma vez que a inserção das classes de agressividade III e IV não serão permitidas nesta unidade.

Após a seleção do Tipo de Fundação e Classe de Agressividade, os itens “Classe de Concreto” e “Cobrimento” serão obtidos automaticamente, o primeiro através de uma correlação com a Tabela 4 da ABNT NBR 6122 (2019 p. 34), que estabelece a classe de concreto necessária com base na fundação escolhida e classe de agressividade ambiental. Já o cobrimento, por usabilidade e segurança será de 5 cm para todo dimensionamento realizado no *software*.

Classe do Concreto(Fck)	
30	Mpa
Cobrimento (c)	
5	cm

Os itens “Diâmetro/lado da seção” e “Comprimento estaca/tubulão” referem-se ao projeto geotécnico, sendo que a inserção dos dados em questão será realizada pelo usuário da ferramenta em centímetros e metros, respectivamente.

Diâmetro/lado da seção (b)	
	cm
Comprimento estaca/tubulão (h)	
	m

Observação: recomenda-se a adoção de diâmetros comerciais correspondentes ao tipo de fundação selecionado a fim de se alcançar maior precisão no cálculo da armadura da mesma.

As bitolas de aço longitudinal e estribos que serão utilizadas poderão ser selecionadas pelo usuário de acordo com a lista abaixo, sendo dadas em mm, conforme diâmetros comerciais usuais para o dimensionamento de fundações profundas.

Aço longitudinal ($\varnothing p$)	Aço estribos ($\varnothing s$)
8	4,2
8	4,2
10	5
12,5	6,3
16	8
20	

Os esforços solicitantes deverão ser preenchidos na unidade de “tf” para forças e “tf.m” para momento. Em razão da variedade de hipóteses, o campo de inserção é livre, de modo que os elementos em questão deverão ser informados pelo usuário.

Esf. Compressão (N_{ck})		tf
Esf. de tração (N_{tk})		tf
Esf. Horizontal (V_{kmax})		tf
Momento Fletor (M_k)		tf.m

Ao final do preenchimento dos dados solicitados, o usuário deverá clicar em “Calcular”, botão posicionado logo abaixo dos campos de coleta de dados.

Calcular

ITEM 3:

Ao final do preenchimento das variáveis e realização do cálculo, para verificação dos “Logs de Cálculo”, o usuário poderá clicar no item 3 abaixo do botão calcular, obtendo, assim, informações preliminares do cálculo.

O acionamento do mesmo abrirá caixas de informações sobre o dimensionamento, a compressão, tração, flexão, aço longitudinal e estribos.

A interface apresenta um cabeçalho com o link "Logs de Cálculo". Abaixo, há seis botões organizados em uma grade de 2x3, cada um com um campo de texto associado para logs:

Compressão	Tração	Flexão Simples
Estribos	Eço Estribos	Aço Longitudinal

ITEM 4:

O resultado do dimensionamento é indicado logo abaixo da imagem ilustrativa, para estribos contendo a bitola do aço e seu espaçamento e para aço longitudinal a quantidade de barras, bitola do aço e seu comprimento mínimo conforme a Tabela 4 da ABNT NBR 6122 (2019).

A interface mostra os resultados de dimensionamento em uma caixa com o título "Valores".

Aço Estribos:
 $\varnothing$ 6.3 mm c/ 8 cm

Aço Longitudinal:
 9 $\varnothing$ 10 mm - Comprimento mínimo de 4m

Observação: em casos onde o dimensionamento a flexão obtém um valor muito abaixo ou muito acima dos vetores de cálculo estabelecidos com base na tabela de Pinheiro (2010) a mensagem abaixo será exibida.

