



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO MARANHÃO  
CAMPUS BALSAS  
COORDENAÇÃO DO CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

**RENATO DA SILVA FREITAS**

**DESENVOLVIMENTO DE *SOFTWARE* PARA O CÁLCULO  
DA CAPACIDADE DE CARGA DE ESTACAS**

**BALSAS-MA  
2019**

Renato da Silva Freitas

Desenvolvimento de *software* para o cálculo da capacidade de carga de estacas

Trabalho de Conclusão de Curso na modalidade Monografia, submetido à Coordenação de Engenharia Civil da Universidade Federal do Maranhão como parte dos requisitos necessários para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Me. Leandro Gomes Domingos

Ficha gerada por meio do SIGAA/Biblioteca com dados fornecidos pelo(a) autor(a).  
Núcleo Integrado de Bibliotecas/UFMA

DA SILVA FREITAS, RENATO.

DESENVOLVIMENTO DE SOFTWARE EDUCACIONAL PARA O CALCULO  
DA CAPACIDADE DE CARGA DE ESTCAS / RENATO DA SILVA  
FREITAS. - 2019.

54 f.

Orientador(a): LEANDRO GOMES DOMINGOS.

Monografia (Graduação) - Curso de Engenharia Civil,  
Universidade Federal do Maranhão, BALSAS, 2019.

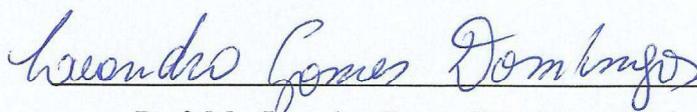
1. Capacidade de carga. 2. Metodologias  
semiempíricas. 3. Visual Basic. I. GOMES DOMINGOS,  
LEANDRO. II. Título.

Renato da Silva Freitas

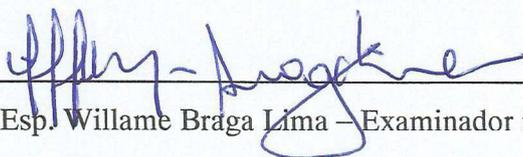
Desenvolvimento de *software* para o cálculo da capacidade de carga de estacas

Trabalho de conclusão de curso na modalidade Monografia, submetido à Coordenação de Engenharia Civil da Universidade Federal do Maranhão como parte dos requisitos necessários para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

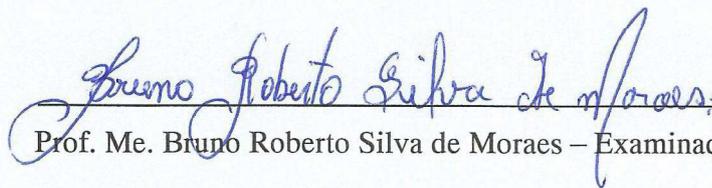
**Aprovado em 16 de Julho de 2019:**



Prof. Me. Leandro Gomes Domingos – Orientador



Prof. Esp. Willame Braga Lima – Examinador interno



Prof. Me. Bruno Roberto Silva de Moraes – Examinador interno

Balsas-MA

2019

## RESUMO

Este trabalho tem como objetivo o desenvolvimento de um *software* para computador *desktop* que automatize o processo de cálculo da previsão da capacidade de carga de estacas, utilizando metodologias semiempíricas. Por meio da realização de uma revisão bibliográfica foram definidas para utilização, neste trabalho, as metodologias de cálculo de capacidade de carga de estacas: Aoki-Velloso e Décourt-Quaresma. Utilizou-se para o desenvolvimento deste *software* a linguagem de programação *Visual Basic* em conjunto com o ambiente de desenvolvimento integrado (IDE) *Visual Studio*, uma ferramenta de programação produzida pela empresa *Microsoft*, que facilita a escrita de scripts e diagnósticos de erros de programação. Para a validação dos resultados fornecidos pelo *software*, utilizou-se de uma comparação com resultados obtidos de exercícios resolvidos de literaturas consagradas, e com resultados obtidos em trabalhos acadêmicos que abordam o mesmo assunto deste trabalho. O *software* apresentou resultados satisfatórios, tornando-o válido para utilização como ferramenta para fins de aprendizagem.

**Palavras-chave:** Metodologias semiempíricas. Capacidade de carga. *Visual Basic*.

## **ABSTRACT**

The purpose of this monograph is to develop a desktop computer software that automates calculation process of the prediction of the pile load capacity using semiempirical methodologies. By means of a bibliographical review, the methodologies for calculating the pile load capacity were: Aoki-Velloso and Décourt-Quaresma. The Visual Basic programming language in conjunction with the Visual Studio, an integrated development environment (IDE), was used for the development of this software. Visual Studio is a programming tool produced by the Microsoft Company, which makes easier to write scripts and diagnose programming errors. For the validation of the results provided by the software, a comparison was made with results obtained from solved exercises of consecrated literatures, and with results obtained in academic papers that approach the same subject of this work. The software presented satisfactory results, making it valid for use as a tool for purposes of learning.

**Keywords:** semiempirical methodologies. Load capacity. Visual Basic.

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>8</b>
<b>2</b>	<b>OBJETIVOS</b>	<b>10</b>
2.1	Objetivos Gerais	10
2.2	Objetivos Específicos	10
<b>3</b>	<b>JUSTIFICATIVA</b>	<b>11</b>
<b>4</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO</b>	<b>13</b>
<b>4.1</b>	<b>Tipos de Estacas e suas subdivisões</b>	<b>13</b>
4.1.1	Estaca de madeira	14
4.1.2	Estaca pré-moldada de concreto	15
4.1.3	Estaca metálica ou de aço	16
4.1.4	Estaca Franki	19
4.1.5	Estaca Strauss	20
4.1.6	Estaca Hélice continua	21
4.1.7	Estaca Ômega	22
4.1.8	Estaca raiz	23
4.1.9	Estaca escavada com injeção ou microestaca	24
<b>4.2</b>	<b><i>Standard Penetration Test (SPT)</i></b>	<b>25</b>
<b>4.3</b>	<b>Métodos Semiempirícos para Previsão da Capacidade de Carga de Estacas</b>	<b>27</b>
4.3.1	Método Aoki-Velloso	28
4.3.2	Método Décourt-Quaresma	29
4.3.3	Método Teixeira	31
4.3.4	Contribuição de monteiro	32
4.3.5	Método de Meyerhof	33
<b>4.4</b>	<b>Visual basic.Net</b>	<b>34</b>
<b>5</b>	<b>METODOLOGIA</b>	<b>37</b>
<b>6</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b>	<b>39</b>
6.1	Software	39
6.2	Questionário de Aceitabilidade	43
<b>7</b>	<b>CONCLUSÃO</b>	<b>45</b>
<b>8</b>	<b>SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS</b>	<b>46</b>
	<b>REFERÊNCIAS</b>	<b>47</b>

<b>APÊNDICE A .....</b>	<b>49</b>
<b>APÊNDICE B .....</b>	<b>54</b>

## 1 INTRODUÇÃO

As estruturas utilizadas na engenharia civil se subdividem em superestrutura e subestrutura ou fundação, a primeira é constituída pelos elementos que compõem a estrutura acima do solo, a segunda é constituída por elementos que se encontram abaixo do solo ou em contato com o mesmo, sendo esta a estrutura responsável por transmitir as cargas provenientes da superestrutura para o solo (AOKI, 2005).

Segundo a ABNT NBR 6122 (ABNT, 2010), dependendo da profundidade e do modo como as cargas são transmitidas para o solo as fundações se subdividem em: fundações superficiais compostas por sapatas, blocos e radier, onde as cargas são transmitidas pela base e a profundidade deve ser inferior a duas vezes a menor dimensão da fundação; e fundações profundas compostas por estacas e tubulões, onde a carga é transmitida pela base ou pela lateral da estaca ou pela combinação entre as duas, devendo a base estar a uma profundidade mínima de 3 m.

Devido a variabilidade das características físicas e químicas das camadas que compõem o solo, a interação solo-estrutura poderá ocasionar deslocamentos verticais, horizontais e rotacionais nas fundações o que pode acarretar em um aumento dos esforços atuantes na estrutura, com isso se torna indispensável a avaliação desta interação. Para avalia-la pesquisadores, utilizando suas características como tipo solo e tipos de fundações, desenvolveram metodologias de previsão da resistência ao carregamento a que são solicitadas (VELLOSO; LOPES, 2010).

Com o surgimento da tecnologia da informação diversos ramos da engenharia procuram automatizar seus processos, procurando dar maior produtividade as suas atividades.

Diante desse contexto, o foco deste trabalho é o desenvolvimento de um *software* capaz de realizar cálculos de parâmetros relacionados à interação solo-estrutura que auxilie estudante na concepção de projetos de estacas bem como no entendimento dos cálculos realizados.

Este trabalho está estruturado em oito capítulos sendo o primeiro capítulo a introdução. O segundo capítulo apresenta os objetivos gerais e específicos. O terceiro a justificativa para o desenvolvimento deste trabalho. No quarto capítulo se disserta sobre os tipos principais de estacas utilizadas no Brasil e sobre metodologias semiempíricas para obtenção da capacidade de carga de estacas. A metodologia

empregada no desenvolvimento do programa é abordada no capítulo cinco, onde são apresentados a linguagem de programação e demais programas utilizados no seu na sua concepção. No sexto capítulo são apresentados os resultados e validação do programa. A conclusão e perspectivas futuras são apresentadas nos capítulos sete e oito, respectivamente.

## 2 OBJETIVOS

Nesta seção são apresentados os objetivos deste projeto.

### 2.1 Objetivos Gerais

Desenvolver um *software* educacional para computador *desktop* que automatize o processo de cálculo da previsão da capacidade de carga de estacas, utilizando metodologias semiempíricas.

### 2.2 Objetivos Específicos

- Implementar dados obtidos por meio da revisão bibliográfica no desenvolvimento do programa em *Visual Basic*;
- Criar interface para entrada de dados quanto às características dos solos, estacas e metodologias semiempíricas a serem utilizadas no cálculo da capacidade de carga;
- Proporcionar a análise de resultados entre os métodos semiempíricos utilizados;
- Emitir relatório com as etapas de cálculos realizados, apresentando-os de forma didática.

### 3 JUSTIFICATIVA

Quando se pretende construir uma edificação deve-se atentar para o tipo de fundação que irá ser utilizada, pois sua função é transferir os carregamentos permanentes e acidentais para camadas resistentes do solo. A utilização de uma fundação que não tenha capacidade para suportar os carregamentos exigidos pode ocasionar desde recalques excessivos ao colapso estrutural da edificação.

Segundo Cintra e Aoki (2010, p. 11), a capacidade de carga de elemento de fundação “trata-se do valor da força correspondente a máxima resistência que um sistema pode oferecer ou do valor representativo da condição de ruptura do sistema, em termos geotécnicos”. Para determinação da capacidade de carga de fundações profundas existem dois tipos de metodologias: as teóricas que utilizam equações baseadas em teorias físicas, porém pouco utilizadas em projetos de fundações profundas; e as semiempíricas, amplamente empregados, onde se utilizam dados obtidos através de técnicas de investigação geotécnica por meio de ensaios *in situ*, sendo o ensaio *Standart Penetration Test* (SPT) o mais popular no Brasil. (CINTRA; AOKI, 2011; VELLOSO; LOPES, 2010).

Durante a realização dos cálculos semiempíricos para previsão de capacidade de carga são utilizadas tabelas que contêm fatores e coeficientes relacionados a características do solo e estacas. Quando em um projeto se demanda calcular estacas com parâmetros diferentes entre si, esta tarefa pode necessitar de um tempo que o engenheiro geralmente não dispõe.

A utilização de linguagens de programação para o desenvolvimento de ferramentas na área da engenharia civil tem otimizado a realização de cálculos extensos que demandam tempo. Também possibilitam a análise de métodos distintos utilizados na elaboração de projetos de engenharia, favorecendo a escolha de projetos seguros e economicamente viáveis.

Ademais, com o intuito de auxiliar estudantes da disciplina de fundações e automatizar o processo de obtenção de previsão de capacidade de carga de estacas, visa-se neste trabalho o desenvolvimento de um programa acadêmico livre utilizando a linguagem de programação *Visual Basic*. Através de uma interface intuitiva, em que dados do ensaio SPT e metodologias semiempíricas são inseridos, almeja-se calcular a capacidade de carga de estacas em que ao final também se apresente um memorial

de cálculo, fornecendo ao estudante uma ferramenta que o auxiliará em seu aprendizado.

## 4 REFERENCIAL TEÓRICO

Nesta seção apresentamos uma revisão bibliográfica dos principais assuntos que serão abordados neste trabalho e que servirão como fundamento teórico para a sua realização.

### 4.1 Tipos de Estacas e suas subdivisões

Segundo a ABNT NBR 6122 (ABNT, 2010, p. 3) se define estaca por:

Elemento de fundação profunda executado inteiramente por equipamentos ou ferramentas, sem que, em qualquer fase de sua execução, haja descida de pessoas. Os materiais empregados podem ser: madeira, aço, concreto pré-moldado, concreto moldado in loco ou pela combinação dos anteriores.

São reconhecidas a execução dos seguintes tipos de estacas: estaca pré-moldada, estaca de reação (mega ou prensada), estaca raiz, estaca de madeira, estaca escavada com injeção ou microestaca, estaca escavada mecanicamente, estaca Strauss, estaca escavada com fluido estabilizante, estaca Franki, estaca mista, estaca metálica ou de aço, estaca hélice contínua monitorada, estaca hélice de deslocamento monitorada, estaca trado vazado segmentado (NBR 6122 (ABNT, 2010).

Conforme Veloso e Lopes (1998), dependendo do impacto causado ao solo, ocasionado pela metodologia empregada em sua execução, as estacas podem ser subdivididas em:

- Estacas de deslocamento, pois ocasionam o deslocamento lateral do solo, dentro desta classificação estão as estacas cravadas;
- Estacas de substituição, onde o solo é removido para a implantação da estaca, dentro desta classificação entram as estacas escavadas em geral;
- Estacas sem deslocamento, esta é uma subdivisão intermediária onde se classificam estacas que na sua execução restabeleçam as tensões geostáticas do solo e onde praticamente não ocorre a remoção do solo em uma escavação.

O quadro 1 apresenta a classificação das principais estacas executadas no país seguindo esta subdivisão.

Quadro 1 – Subdivisão das estacas quanto ao método de execução.

<b>Estaca de deslocamento</b>	<b>Estaca de substituição</b>	<b>Estaca sem deslocamento</b>
Estacas de Madeira Estacas pré-moldadas de concreto Estaca metálica ou de aço Micro estacas injetadas Estacas tipo Franki Estacas ômega	Estacas hélice continua Estaca tipo Strauss	Estacas Raiz

Fonte – Próprio autor.

Nas próximas seções são apresentadas características para as estacas contidas no quadro 1.

#### 4.1.1 Estaca de madeira

Estacas de madeira são constituídas por trocos de árvores, que devem atender aos requisitos da ABNT NBR 7190 (ABNT, 1997), e geralmente tem seu uso aplicado em obras de caráter temporário. Quando utilizadas em obras que demandam uma maior durabilidade, é necessário ser feita uma proteção contra ataques de agentes (fungos e bactérias provenientes da variação do nível do lençol freático) que possam vir a deteriorar e causar seu apodrecimento (ABNT, 2010; ALONSO, 1998).

A cravação consiste da queda de um martelo por gravidade sobre o topo da estaca em que a razão entre seu peso e o peso da estaca tenha o valor mínimo de 1,0. Durante o processo de cravação deve ser usada uma proteção contra impactos no topo da estaca através de cepos ou capacetes. Se neste processo ocorrer o comprometimento da cabeça da estaca, a parte comprometida deverá ser retirada. Caso exista a necessidade de atravessar camadas de solo com maior resistência, as pontas deverão ser protegidas com uma ponteira de aço (ABNT, 2010).

Segundo Alonso (1998) a capacidade de carga admissível para estaca de madeira está em função do diâmetro da seção média da estaca e do tipo de madeira utilizada. Os valores usuais de carga admissíveis em relação a estrutura deste tipo de estaca são apresentados na Tabela 1 a seguir.

Tabela 1 – Cargas admissíveis normalmente usadas em estacas de madeira.

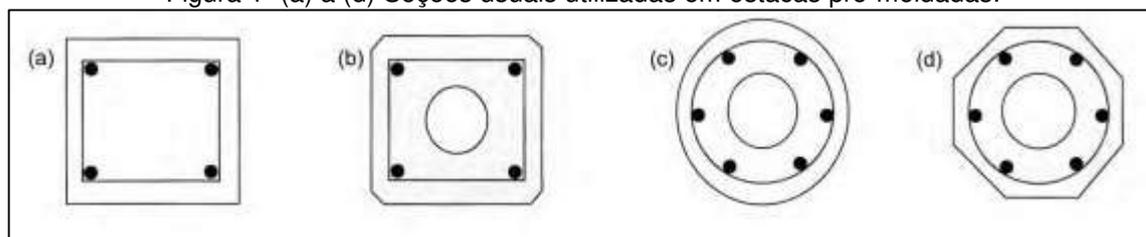
<b>Diâmetro (cm)</b>	<b>Carga (kN)</b>
<b>20</b>	150
<b>25</b>	200
<b>30</b>	300
<b>35</b>	400
<b>40</b>	500

Fonte - Alonso (1998).

#### 4.1.2 Estaca pré-moldada de concreto

Segundo a ABNT NBR 6122 (ABNT, 2010), podem ser utilizados na construção deste tipo de estaca o concreto armado ou protendido, com o seu adensamento sendo realizado por vibração ou centrifugação. A seção transversal que a compõe ao longo de sua estrutura pode ser de diferentes tipos de forma geométrica (Figura 1). Ao final de sua construção deve apresentar resistência que atenda as solicitações de projeto e as solicitações provenientes do seu traslado ao local de cravação.

Figura 1- (a) a (d) Seções usuais utilizadas em estacas pré-moldadas.



Fonte-Velloso e Lopes (2010).

A cravação de estacas pré-moldadas de concreto pode ser feita através de equipamentos que utilizam vibração, prensagem ou percussão. A seleção do método a ser empregado na cravação está condicionada às características do projeto e do local. Pela maior eficiência é recomendada a utilização de martelos mais pesados e com menor altura de queda (ABNT, 2010).

Na possibilidade de serem feitas emendas nas estacas, estas devem ser feitas soldando-se luvas ou anéis metálicos incorporados ao concreto, permitindo a transmissão de esforços entre as estacas (ALONSO, 1998).

As estacas pré-moldadas de concreto apresentam como vantagem em relação a estacas moldadas *in loco* a qualidade do concreto, pois não será atingido por agentes provenientes do solo que podem afetar a sua cura e a pega. Além disso, esse tipo de estaca proporciona maior segurança na travessia de solos muito moles, o que pode ser problemático quando se utilizam estacas moldadas *in loco* (VELLOSO; LOPES, 2010).

Na Tabela 2 é apresentada a carga máxima estrutural admissível para estacas pré-moldadas de concreto para diferentes diâmetros.

Tabela 2 – Carga máxima estrutural admissível para estacas pré-moldadas de concreto.

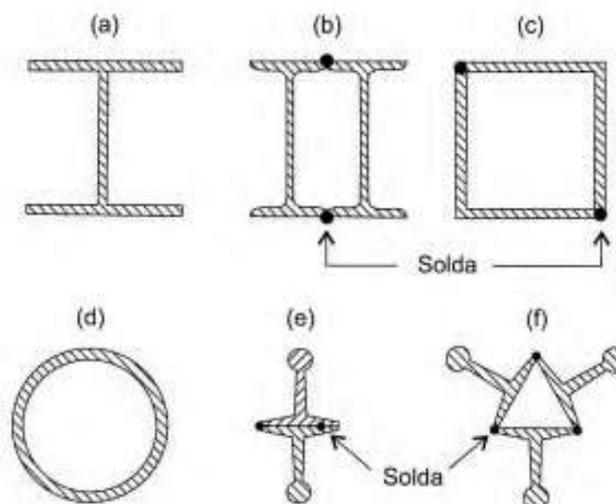
<b>Diâmetro (cm)</b>	<b>Carga máxima estrutural admissível (kN)</b>
<b>15</b>	180
<b>18</b>	260
<b>23</b>	400
<b>28</b>	550
<b>33</b>	750
<b>38</b>	900
<b>42</b>	1150

Fonte- adaptado de Benapar (2011).

#### 4.1.3 Estaca metálica ou de aço

As estacas metálicas ou de aço são estruturas produzidas industrialmente podendo ser formadas de perfis concebidos por processos de soldagem ou laminagem com seção no formato I ou H. Também podem ser formada por seções circulares, quadradas e retangulares de chapa dobrada, e por trilhos desgastados de linhas férreas (ABNT, 2010; ALONSO, 1998). A Figura 2 mostra os tipos de estacas mais utilizadas.

Figura 2- (a) perfil de chapas soldadas; (b) perfis I laminados, associados (duplo); (c) perfis tipo cantoneira; (d) tubos; (e) trilhos associados (duplo); (f) trilhos associados (triplo).



Fonte- Velloso e Lopes (2010).

Embora as estacas metálicas apresentem custo por metro elevado, quando comparada a estacas pré-moldadas e a outros tipos de estacas, a utilização delas pode vir a ser vantajosa economicamente, o que depende das características de projeto (TOMLINSON; WOODWARD, 2007). São apresentadas na Tabela 3 as cargas de serviço usuais para os perfis mais utilizados no mercado.

Tabela 3 – Carga máxima estrutural admissível para estacas metálicas.

Tipo de Estaca	Tipo/Dimensão	Carga máxima (kN)
Trilhos usados	TR 25	200
	TR 22	250
	TR 37	300
	TR 45	400
	2 TR 32	500
	2 TR 37	600
	3 TR 32	750
	3 TR 37	900
Perfis I e H – Aço A36	I 8" (203 mm)	300
	I 10" (254 mm)	400
	I 12" (305 mm)	600
	2 I 10"	800
	2 I 12"	1200
	H 6" (152 mm)	400

(Continuação)

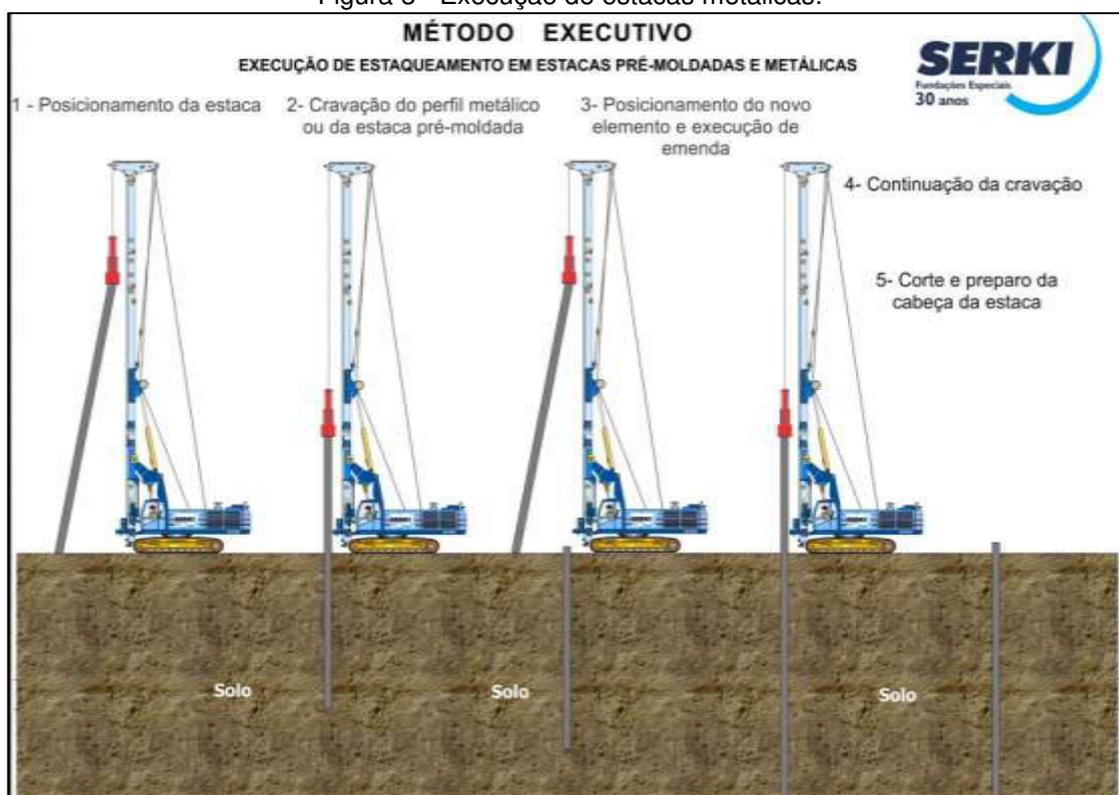
Tipo de Estaca	Tipo/Dimensão	Carga máxima (kN)
<b>Perfis H – Aço A572</b>	H 200 mm	700
	H 200 mm	1000
	H 250 mm	1200
	H 310 mm	1500
	H 310 mm	2000

Fonte- adaptada de Velloso e Lopes (2010).

Este tipo de estaca apresenta como vantagem a estrutura leve que facilita o manuseio e transporte, alta resistência a esforços de compressão, tração e flexão, facilitando a cravação em relação a estacas de madeira e pré-moldadas de concreto (VELLOSO; LOPES, 2010).

A seguir a Figura 3 apresenta a metodologia de execução de estacas de metal ou aço caracterizada pela sua cravação.

Figura 3 - Execução de estacas metálicas.



Fonte- SERKI (2019).

#### 4.1.4 Estaca Franki

As estacas Franki são caracterizadas pela cravação de um tubo, onde em seu interior é depositado areia e brita que é compactada por sucessivos golpes de um pilão, assim formado uma bucha que se adere ao tubo (ABNT, 2010).

A partir dos golpes do pilão na bucha o tubo penetra no solo, devido a ela a água e o solo não penetram no interior do tubo. Após a cravação a bucha é expulsa do interior do tubo através de golpes de pilão a uma altura elevada. Com isso são colocadas as armaduras e concretada à estaca (VELLOSO; LOPES, 2010; MAIA, 1998). A seguir na Tabela 4 são apresentadas cargas admissíveis para diâmetros usuais utilizados em projetos de rotina que posteriormente devem ser comprovadas através de provas de carga.

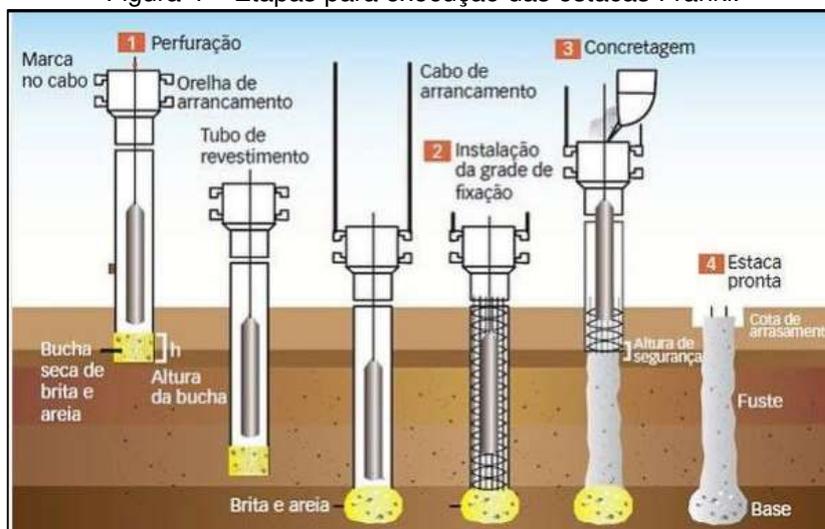
Tabela 4 – Carga admissível para estacas tipo Franki.

Diâmetro (cm)	Carga admissível (kN)
30	450
35	550
40	800
52	1300
60	1700

Fonte- Adaptado de Maia (1998).

Na Figura 4 mostra as etapas do processo executivo deste tipo de estaca.

Figura 4 – Etapas para execução das estacas Franki.



Fonte- Nakamura (2013).

#### 4.1.5 Estaca Strauss

A execução da estaca Strauss é realizada pela escavação do solo por meio de uma sonda e introdução de revestimento metálico simultaneamente a este processo. Chegando a profundidade desejada, inicia-se a concretagem com a retirada de forma gradual do revestimento metálico juntamente com o apiloamento do concreto (ABNT, 2010).

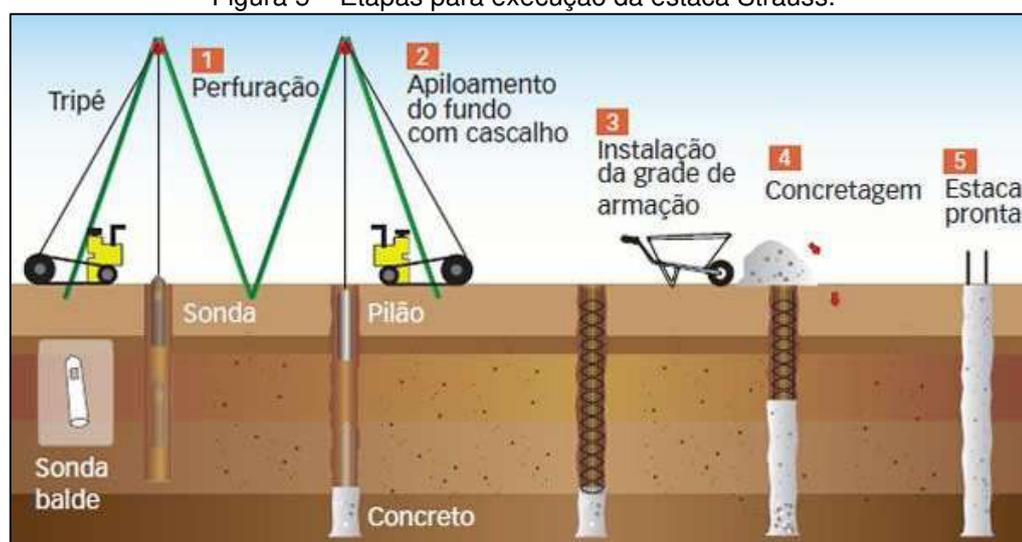
Quando é executada abaixo do nível d'água, se requer grande cuidado nesse processo. Ao final da perfuração, caso exista água que não possa ser retirada pela sonda, recomenda-se tapar o fundo com o lançamento de concreto seco (VELLOSO; LOPES, 2010). Na Tabela 5 são apresentadas cargas usuais de trabalho para utilização em projetos e na Figura 5 mostra as etapas do processo executivo deste tipo de estaca.

Tabela 5 – Carga admissível usual para estacas tipo Strauss.

<b>Diâmetro (cm)</b>	<b>Carga admissível (kN)</b>
<b>25</b>	150
<b>32</b>	250
<b>38</b>	350
<b>45</b>	500

Fonte- Adaptada de Velloso e Lopes (2010).

Figura 5 – Etapas para execução da estaca Strauss.

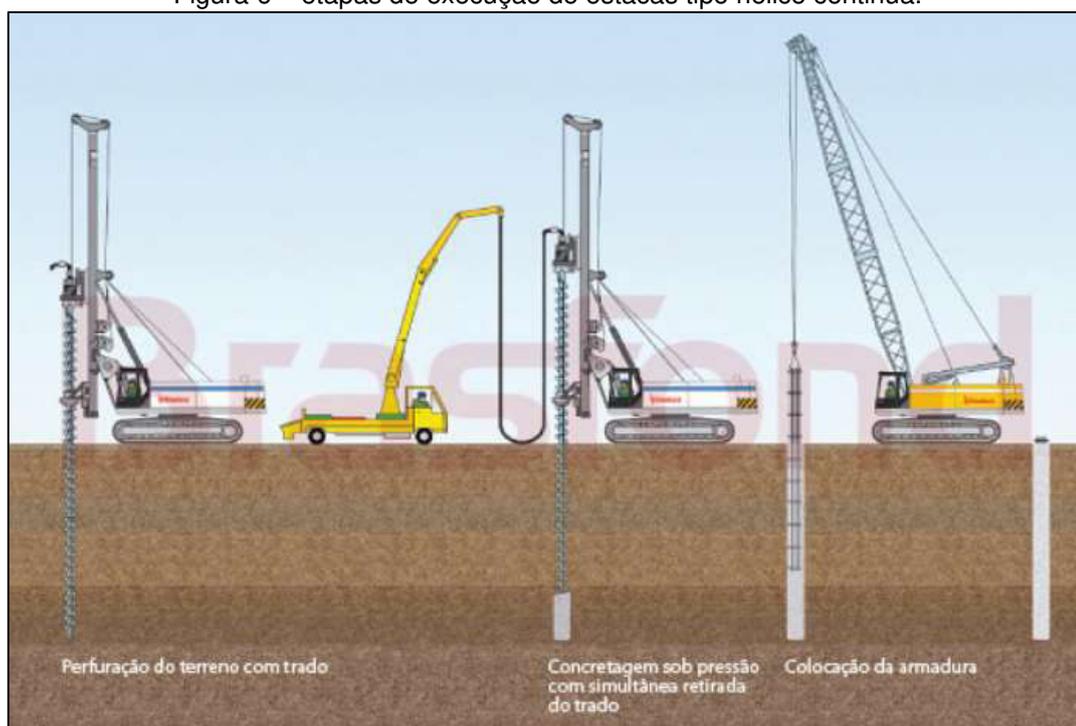


Fonte- Nakamura (2013).

#### 4.1.6 Estaca Hélice Contínua.

A execução da estaca do tipo hélice contínua se dá pela perfuração do solo por um trado helicóntino em que, ao final da perfuração no momento de sua retirada é bombeado, o concreto através da haste que o compõe (ABNT, 2010). A Figura 6 a seguir mostra as principais etapas no seu processo executivo.

Figura 6 – etapas de execução de estacas tipo hélice contínua.



Fonte - Brasfond (2019).

A principal característica desse tipo de estaca é a estabilidade do furo, permitindo sua execução em solos coesivos, arenosos, na presença ou não do lençol freático (ANTUNES, 1998).

Para monitorar a execução de estacas do tipo hélice contínua utiliza-se de um computador com um mostrador digital instalado na cabine de operação e de sensores instalados na máquina executora do furo da estaca. Os sensores informam todos os dados de execução: profundidade da ponta do trado helicoidal em relação ao nível do terreno, velocidade de rotação da mesa rotativa, torque, inclinação da torre, pressão do concreto dentre outras informações.

Na Tabela 6 encontram-se os diâmetros e cargas admissíveis usuais para estacas deste tipo.

Tabela 6 – Carga admissível usual para estacas tipo Hélice contínua monitorada.

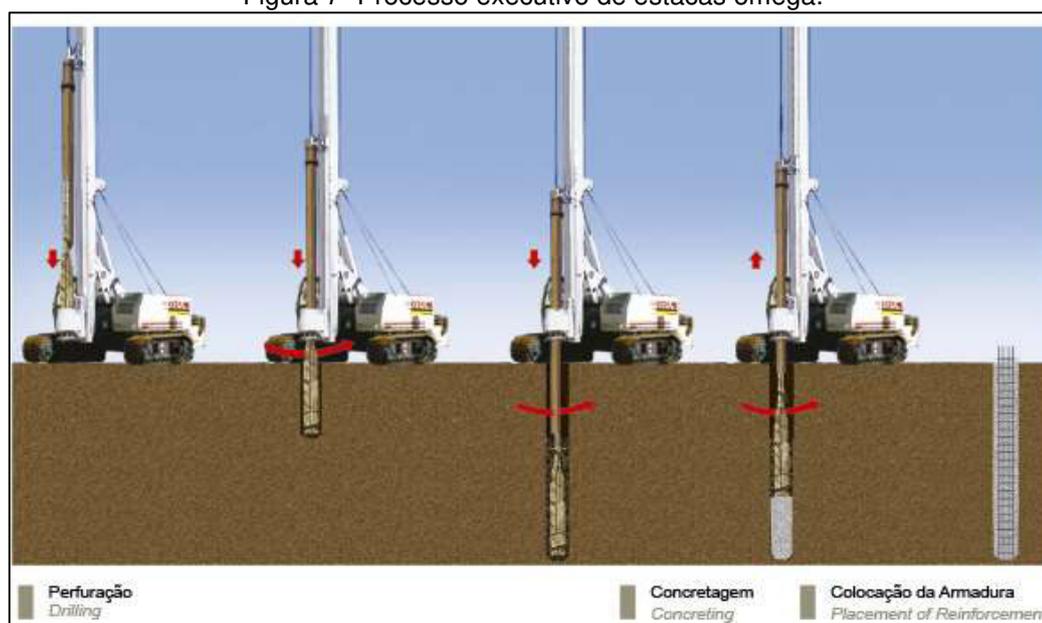
<b>Diâmetro (mm)</b>	<b>Carga admissível (kN)</b>
<b>275</b>	350
<b>300</b>	450
<b>350</b>	600
<b>400</b>	800
<b>425</b>	900
<b>500</b>	1250
<b>600</b>	1800
<b>700</b>	2450
<b>800</b>	3200
<b>900</b>	4000
<b>1000</b>	5000

Fonte- Adaptada de Antunes (1998).

#### 4.1.7 Estaca Ômega

Este tipo de estaca é caracterizado pela perfuração do solo por meio de um trado cônico que o perfura como um parafuso deslocando-o e compactando-o na lateral do furo. O processo de concretagem é semelhante ao da hélice contínua. Pelo fato da hélice utilizada em sua execução não possuir pás, esta estaca dispensa o limpador mecânico (ALMEIDA NETO, 2002). Este processo é ilustrado na Figura 7.

Figura 7- Processo executivo de estacas ômega.



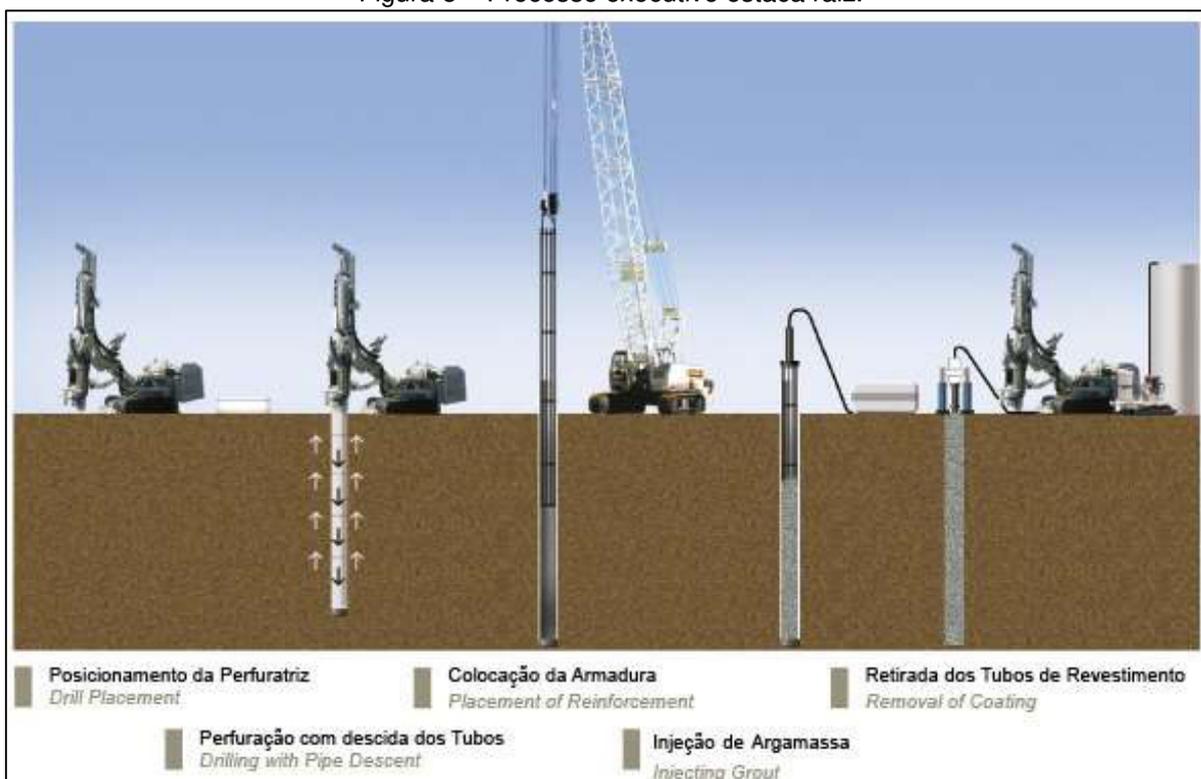
Fonte- Geofund (2019).

Este tipo de estaca pode ser executada com diâmetros de 30 cm até 60 cm, e comprimentos de até 35 m, podendo sua carga admissível atingir a 2000 kN (VELLOSO; LOPES, 2010).

#### 4.1.8 Estaca raiz

A estaca raiz se caracteriza pela perfuração do solo através de uma perfuratriz rotativa em que, à medida que é executada, é implantado um revestimento metálico no furo. Nesse processo ocorre a circulação direta de água no interior do revestimento. Após a perfuração, o revestimento é retirado, coloca-se a armadura e se preenche o furo com argamassa de cimento-areia (ABNT, 2010). A Figura 8 mostra as etapas do processo executivo da estaca raiz.

Figura 8 – Processo executivo estaca raiz.



Fonte - Geofund (2019).

Este tipo de estaca tem como vantagens, em relação as demais estacas, a ausência de vibração durante sua execução, podem atravessar rochas e concreto, o que possibilita o trabalho em ambientes restritos e podem ser executadas em qualquer

inclinação (VELLOSO; LOPES, 2010). Na Tabela 7 são apresentadas cargas usuais de trabalho para utilização em projetos.

Tabela 7 – Carga admissível usual para estacas tipo Raiz.

<b>Diâmetro (cm)</b>	<b>Carga admissível (kN)</b>
<b>17</b>	250
<b>22</b>	400
<b>27</b>	600
<b>32</b>	850
<b>37</b>	1200

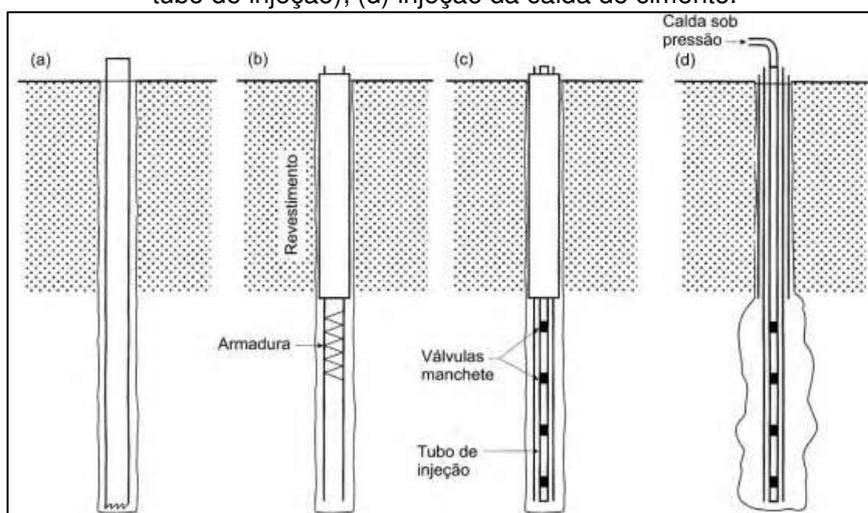
Fonte- Adaptada de Velloso e Lopes (2010).

#### 4.1.9 Estaca escavada com injeção ou microestaca

A microestaca é executada através da perfuração do solo juntamente com a injeção em alta pressão de uma calda de cimento, utilizando um tubo com válvulas denominado “manchete” com o objetivo de aumentar a sua resistência lateral. Este tipo de estaca tem como características a execução em inclinações que podem variar de 0 a 90 graus e uma maior densidade de armadura em comparação com as estacas de concreto armado (ABNT, 2010; ALONSO, 1998). A Figura 9 mostra as etapas para execução desse tipo de estaca.

A capacidade de carga para este tipo de estaca pode chegar a 350 kN para um diâmetro acabado de 15 cm (MICROESTACA... 2019).

Figura 9 - Execução de micro estaca (a) perfuração; (b) colocação da armadura; (c) introdução do tubo de injeção); (d) injeção da calda de cimento.



Fonte- Velloso e Lopes (2010).

## 4.2 Standard Penetration Test (SPT)

O solo é um material natural que apresenta grande variabilidade quanto a características de resistência e deformabilidade. Ao analisar um perfil vertical de um maciço de solo podem ser observados diferentes características como tipo de solo, consistência, compactidade. Diante disso, devem ser feitas análises dos tipos de solo a que serão executadas as fundações. A análise das características do solo é denominada investigação geotécnica, que visa a descoberta das condições que o solo oferece (CINTRA, 2013).

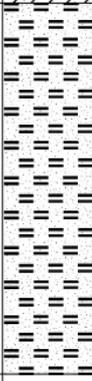
O SPT é um ensaio de penetração dinâmica que consiste na cravação de um amostrador, a cada metro de solo, através de golpes causados pelo impacto da queda de um peso de 65 kg a uma altura de 75 cm. Nesse processo, são anotados o número de golpes necessários para a penetração de 15 cm do amostrado no solo, repetindo esse processo por mais duas vezes, totalizando 45 cm de cravação do amostrador. O resultado da resistência à penetração ( $N_{SPT}$ ) é definido como sendo a soma do número de golpes dos últimos 30 cm de penetração do amostrador (VELLOSO; LOPES, 2010).

Segundo Cintra (2013) podem ser feitas duas interpretações em relação ao valor obtido de  $N_{SPT}$ :

- 1- Pode-se considerar o valor do  $N_{SPT}$  compreendendo o intervalo de um metro a qual foi obtido. Esta interpretação é aplicada rotineiramente em projetos de engenharia, onde também não se considera o primeiro metro se sondagem.
- 2- Considera-se o valor do  $N_{SPT}$  como sendo do metro anterior.

A ABNT NBR 6484 (ABNT, 2001) normatiza os equipamentos e os procedimentos que devem ser utilizados no ensaio SPT. Por meio deste ensaio se obtém medidas indiretas de resistência das camadas estratificadas do solo, nível d'água e amostras de solo deformadas (CINTRA, 2013). Esses dados são reunidos e colocados em um relatório de sondagem (Figura 10).

Figura 10 – Modelo de relatório de sondagem SPT.

PROF. CAMADAS (m)	PERFIL GEOLÓG.	CLASSIFICAÇÃO DO MATERIAL	CONS.* OU COMP.**	% RECUPER.			RECUPERAÇÃO				N.A. (m)		
				Nº GOLPES			PENETRAÇÃO						
							20	40	60	80			
							10	20	30	40			
7,30		ARGILA COLORAÇÃO VERMELHA	POUCO COMP.	1	2	3	4					7	
				2	15	15	15						
				3	2	2	3						5
				4	15	15	15						
				5	2	2	2						4
				6	15	15	15						
				7	1	2	3						5
8,90		ARGILA COLORAÇÃO CINZA	CONS. MOLE*	8	2	2	3					5	
				9	15	15	15						
11,85		ARGILA ARENOSA COLORAÇÃO CINZA CLARA	CONS. MÉDIA*	10	1	1	1					2	
				11	15	15	15						
				12	1	2	2						4
17,20		SILTE ARENOSO COLORAÇÃO AMARELA E CINZA	MED. COMP.**	13	2	2	3					5	
				14	15	15	15						
				15	3	5	10						15
				16	4	9	15						24
				17	5	10	20						30
				18	15	15	15						
		Impenetrável - Prossegue somente c/ Sonda Rotativa	COMP.**	19	6	11	21					32	
				20	5	12	23					35	
				21	8	12	12/5						
				22	15	5							
<b>OBS.</b> 17,20m = IMPENETRÁVEL AO AMOSTRADOR SPT / 17,21m = IMPENETRÁVEL AO TRÉPANO DE LAVAGEM . O FURO FECHOU EM 3,70m. ATÉ 3,70m FURO SECO.							30 cm INICIAIS						
							30 cm FINAIS						
Leitura	Intervalo	N.A.(m)	Método	Início(m)	Fim(m)	Lavagem p/ tempo 10 min. Profund. de Início (m) : 17,20	SOND. ROTATIVA			SOND. À PERCUSSÃO			
1	--:--	--:--	T. Cavadeira	0,00		Estagio 1 (cm) : 1,00	ø			Amostrador : ø I = 1 3/8 "			
2	--:--	--:--	T. Espiral	0,00	1,00	Estagio 2 (cm) : 0,00	ø Revest. :			ø E = 2 "			
3	--:--	--:--	Lavagem	1,45	17,20	Estagio 3 (cm) : 0,00				ø Revestimento = 2 1/2 "			
										Peso=65 kg Alt. Queda=75 cm			

Fonte: Longo (2019).

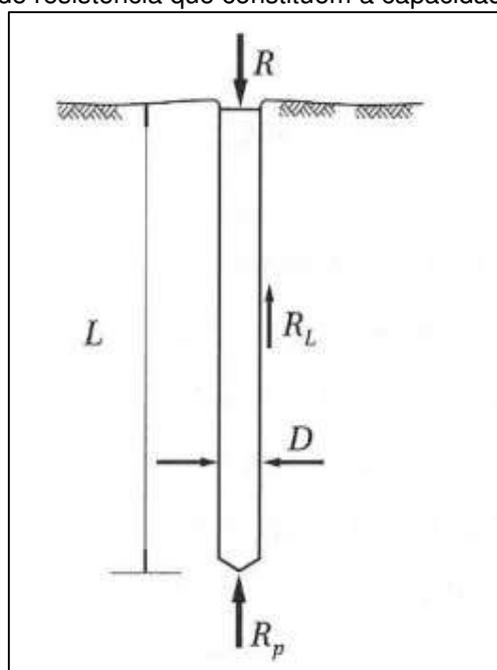
Na seção a seguir serão apresentados métodos semiempíricos para obtenção da capacidade de carga de estacas que utilizam os dados do SPT em seus cálculos.

### 4.3 Métodos Semiempíricos para Previsão da Capacidade de Carga de Estacas

Ao se aplicar uma força vertical de compressão em uma estaca são desenvolvidas tensões resistentes ao longo do seu fuste ou lateral e ponta (Figura 11). A soma das resistências por atrito lateral ( $R_L$ ) e resistência de ponta ( $R_P$ ) caracteriza a capacidade de carga ( $R$ ), representada na Equação 1 (CINTRA, 2013).

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

Figura 11- Parcelas de resistência que constituem a capacidade de carga da estaca.



Fonte- Velloso e Lopes (2010).

No Brasil, o SPT é o ensaio geotécnico mais utilizado em projetos de fundações e, por esse motivo, pesquisadores têm interesses em desenvolver métodos para o cálculo da capacidade de carga usando dados obtidos por este ensaio (VELLOSO; LOPES, 2010; CINTRA; AOKI, 2010).

Para realização dos cálculos de previsão de capacidade de carga Cintra e Aoki (2010) fazem algumas considerações sobre as dimensões das estacas:

- Para estaca pré-moldada de concreto com seção vazada, para o cálculo da área da seção transversal, a consideramos como maciça;
- Para estacas metálicas, dependendo da interação solo estaca, consideramos a área real do perfil ou a área equivalente ao retângulo envolvente;

- Para estaca Franki área calculada a partir do volume da base alargada admitindo-se esta como esférica;
- Para o cálculo do perímetro consideramos o perímetro externo para estacas pré-moldadas de concreto com seção vazada;
- Para estaca metálicas consideramos o perímetro das faces em contato com o solo.

A seguir, serão apresentados alguns dos principais métodos semiempíricos para previsão de capacidade de carga, para estacas submetidas a uma carga vertical de compressão, utilizados no Brasil.

#### 4.3.1 Método Aoki-Velloso

A metodologia proposta por Aoki e Veloso (1975 apud VELLOSO; LOPES, 2010), propõe que a resistência lateral e de ponta de uma estaca podem ser estimadas respectivamente pelas Equações 2 e 3 a seguir:

$$R_L = \frac{U}{F_2} \sum_1^n (\alpha K N_L \Delta_L) \quad (2)$$

$$R_P = \frac{K N_P}{F_1} A_P \quad (3)$$

Onde:

$U$  corresponde ao perímetro do fuste da estaca;

$N_p$  é o  $N_{SPT}$  na ponta da estaca;

$N_L$  é a média dos  $N_{SPT}$  contidos na camada de tamanho  $\Delta_L$ ;

$K$  e  $\alpha$  são coeficientes que estão relacionado ao tipo de solo;

$F_1$  e  $F_2$  são fatores de correção que depende do tipo de estaca considerada no cálculo;

$A_p$  é a área do perímetro da ponta da estaca.

Na Tabela 8 são apresentados os coeficientes  $K$  e  $\alpha$ . Os valores destes coeficientes foram obtidos a partir de conhecimentos dos próprios autores do método e através de dados contidos na literatura. Também são apresentados na Tabela 9 os fatores de correção  $F_1$  e  $F_2$ .

Tabela 8- Valores dos coeficientes K e  $\alpha$  utilizados no método Aoki-Velloso

<b>Solo</b>	<b>K (Mpa)</b>	<b><math>\alpha</math>(%)</b>
<b>Areia</b>	1,00	1,4
<b>Areia siltosa</b>	0,80	2,0
<b>Areia siltoargilosa</b>	0,70	2,4
<b>Areia argilosa</b>	0,60	3,0
<b>Areia argilossiltosa</b>	0,50	2,8
<b>Silte</b>	0,40	3,0
<b>Silte arenoso</b>	0,55	2,2
<b>Silte arenoargiloso</b>	0,45	2,8
<b>Silte argiloso</b>	0,23	3,4
<b>Silte argiloarenoso</b>	0,25	3,0
<b>Argila</b>	0,20	6,0
<b>Argila arenosa</b>	0,35	2,4
<b>Argila arenossiltosa</b>	0,30	2,8
<b>Argila siltosa</b>	0,22	4,0
<b>Argila siltoarenosa</b>	0,33	3,0

Fonte: Aoki e Velloso (1975 apud CINTRA; AOKI, 2010).

Tabela 9- Fatores de correção F<sub>1</sub> e F<sub>2</sub>

<b>Tipo de estaca</b>	<b>F<sub>1</sub></b>	<b>F<sub>2</sub></b>
<b>Franki</b>	2,50	2F1
<b>Metálica</b>	1,75	2F1
<b>Pré-moldada</b>	1+D/0,80	2F1
<b>Escavada</b>	3,0	2F1
<b>Raiz, Hélice contínua e Ômega</b>	2,0	2F1

Fonte: Aoki e Velloso (1975 apud CINTRA; AOKI, 2010).

#### 4.3.2 Método Décourt-Quaresma

Conforme Décourt e Quaresma (1978 apud CINTRA; AOKI, 2010), neste método as resistências de ponta e lateral são dadas pelas Equações 4 e 5 a seguir:

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

$$R_p = \alpha C N_p A_p \quad (5)$$

Onde:

$N_L$  é a média da somatória dos  $N_{SPT}$  ao longo do fuste da estaca, não se considera os valores utilizados para resistência de ponta;

$N_p$  é a média dos  $N_{SPT}$  no nível da ponta, 1 m acima e 1 m abaixo;

$C$  é um coeficiente característico do solo;

$\beta$  e  $\alpha$  fatores de ponderação que dependem do tipo de estaca;

$U$  corresponde ao perímetro do fuste da estaca;

$L$  é o comprimento da estaca.

Nas Tabelas 10 e 11 são apresentados os fatores  $\beta$  e  $\alpha$ , respectivamente. E na Tabela 12 mostram-se os valores dos coeficientes  $C$ .

Tabela 10 -Valores de  $\alpha$  para o método de Décourt-Quaresma.

Tipo de solo	Tipo de estaca				
	Escavada em geral	Escavada (betonita)	Hélice contínua	Raiz	Injetada sob altas pressões
Argilas	0,85	0,85	0,3*	0,85	1,0*
Solos intermediários	0,6	0,6	0,3*	0,6	1,0*
Areias	0,5	0,5	0,3*	0,5	1,0*

**\*valores apenas orientativos diante do reduzido número de dados disponíveis**

Fonte: Décourt(1996 apud CINTRA; AOKI, 2010 ).

Tabela 11 - Valores de  $\beta$  para o método de Décourt-Quaresma.

Tipo de solo	Tipo de estaca				
	Escavada em geral	Escavada (betonita)	Hélice contínua	Raiz	Injetada sob altas pressões
Argilas	0,8*	0,9*	1,0*	1,5*	3,0*
Solos intermediários	0,65*	0,75*	1,0*	1,5*	3,0*
Areias	0,5*	0,6*	1,0*	1,5*	3,0*

**\*valores apenas orientativos diante do reduzido número de dados disponíveis**

Fonte: Décourt (1996 apud CINTRA; AOKI, 2010).

Tabela 12 - Coeficiente característico do solo  $C$ .

Tipo de solo	$C$ (kPa)
Argila	120
Silte argiloso	200
Silte arenoso	250
Areia	400

Fonte: Décourt e Quaresma (1978 apud CINTRA; AOKI, 2010).

### 4.3.3 Método Teixeira

A partir da aplicação dos métodos anteriormente descritos, Teixeira (1996 apud CINTRA; AOKI, 2010) apresenta uma metodologia que as unifica, para isso utilizando a equação 6 para a capacidade de carga em função dos parâmetros  $\alpha$  e  $\beta$ :

$$R = R_p + R_L = \alpha N_p A_p + \beta N_L UL \quad (6)$$

Onde:

$N_p$  é valor médio dos  $N_{spt}$ 's contidos em um intervalo de 4 diâmetros acima da pontas e um diâmetro abaixo;

$N_L$  a média da somatória dos  $N_{SPT}$  ao longo do fuste da estaca;

$\beta$  é o parâmetro relativo a resistência lateral da estaca independentemente do tipo de solo;

$\alpha$  é o parâmetro relativo a resistência de ponta;

$U$  corresponde ao perímetro do fuste da estaca;

$L$  é o comprimento da estaca.

Para estacas pré-moldadas flutuantes em camadas espessas de argila moles sensíveis, com  $N_{SPT}$  inferior a 3, Teixeira (1996 apud CINTRA; AOKI, 2010) adverte que este método não é aplicável.

Os valores dos parâmetros  $\beta$  e  $\alpha$  são apresentados nas Tabelas 13 e 14 a seguir:

Tabela 13- Valores do parâmetro  $\alpha$ .

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

Fonte: Teixeira (1996 apud CINTRA; AOKI, 2010).

Tabela 14- Valores do parâmetro  $\beta$ .

<b>Tipo de estaca</b>	<b><math>\beta</math>(Kpa)</b>
Pré-Moldada e perfil metálico	100
Franki	120
Escavada a céu aberto	160
Raiz	210

Fonte: Teixeira (1996 apud CINTRA; AOKI, 2010).

#### 4.3.4 Contribuição de Monteiro

Este método foi desenvolvido por Monteiro (1997 apud VELLOSO; LOPES, 2010) com base em experiências obtidas na empresa Estacas Franki Ltda, estabeleceu valores diferentes para os coeficientes  $K$  e  $\alpha$ ,  $F_1$  e  $F_2$  utilizados no método Aoki-Velloso. Estes coeficientes são apresentados nas Tabelas 15 e 16 respectivamente.

Tabela 15- Valores dos coeficientes  $K$  e  $\alpha$  utilizados no método Monteiro

<b>Solo</b>	<b><math>K</math> (kgf/cm<sup>2</sup>)</b>	<b><math>\alpha</math>(%)</b>
<b>Areia</b>	7,3	1,4
<b>Areia siltosa</b>	6,8	2,0
<b>Areia siltoargilosa</b>	6,3	2,4
<b>Areia argilosa</b>	5,7	3,0
<b>Areia argilossiltosa</b>	5,4	2,8
<b>Silte</b>	5	3,0
<b>Silte arenoso</b>	0,55	2,2
<b>Silte arenoargiloso</b>	0,45	2,8
<b>Silte argiloso</b>	0,23	3,4
<b>Silte argiloarenoso</b>	0,25	3,0
<b>Argila</b>	0,20	6,0
<b>Argila arenosa</b>	0,35	2,4
<b>Argila arenossiltosa</b>	0,30	2,8
<b>Argila siltosa</b>	0,22	4,0
<b>Argila siltoarenosa</b>	0,33	3,0

Fonte: Aoki e Velloso (1975 apud CINTRA; AOKI, 2010).

Tabela 16- Fatores de correção  $F_1$  e  $F_2$ 

<b>Tipo de estaca</b>	<b><math>F_1</math></b>	<b><math>F_2</math></b>
<b>Franki</b>	2,50	2F1
<b>Metálica</b>	1,75	2F1
<b>Pré-moldada</b>	1+D/0,80	2F1
<b>Escavada</b>	3,0	2F1
<b>Raiz, Hélice contínua e Ômega</b>	2,0	2F1

Fonte: Aoki e Velloso (1975 apud CINTRA; AOKI, 2010).

Algumas recomendações são dadas por Monteiro (1997 apud VELLOSO; LOPES, 2010) para aplicação destes coeficientes:

- O valor de  $N_{SPT}$  é limitado a 40;
- Devem ser considerados para o cálculo da resistência de ponta a média dos valores da camada com espessura de 7 vezes o diâmetro a cima da base, e 3 vezes o diâmetro a baixo da base. A resistência de ponta será dada pela soma dessas medias divididas por dois.

#### 4.3.5 Método de Meyerhof

Meyrhof (1956 apud VELLOSO; LOPES, 2010) a partir de estudos para obter a capacidade de carga de estacas por meio do teste SPT, propõe as seguintes considerações:

- Para estacas cravadas em solo arenoso a resistência unitária de ponta e resistência unitária por atrito lateral, são dadas pelas equações 7 e 8 a seguir:

$$q_{p,ult} = \frac{0,4ND}{B} \leq 4N \quad (7)$$

Onde:

$q_{p,ult}$  é a resistência unitária de ponta (em kgf/cm<sup>2</sup>);

N é o  $N_{SPT}$  na ponta da estaca;

D é o comprimento das estaca;

B é o diâmetro do fuste;

$$\tau_{p,ult} = \frac{\bar{N}}{50} \quad (8)$$

Onde:

$\bar{N}$  é a média dos  $N_{SPT}$  ao longo do comprimento da estaca;

$\tau_{p,ult}$  é a resistência unitária por atrito lateral (em kgf/cm<sup>2</sup>).

- Para estacas escavadas em solos não coesivos, a resistência de ponta é igual a um terço dos valores obtidos pelas equações 7, e a resistência lateral é igual a metade do valor dado pela equação 8.

- Para estacas com base alargada tipo Franki, a resistência de ponta é duas vezes a obtida nas equações 7 e 8.
- Deve ser adotado um valor médio compreendendo os  $N_{SPT}$  correspondentes a camadas 4 diâmetros a cima e uma diâmetro a baixo da ponta da estaca, quando próxima a esta a camada de suporte arenosa varia.

#### 4.4 Visual basic.Net

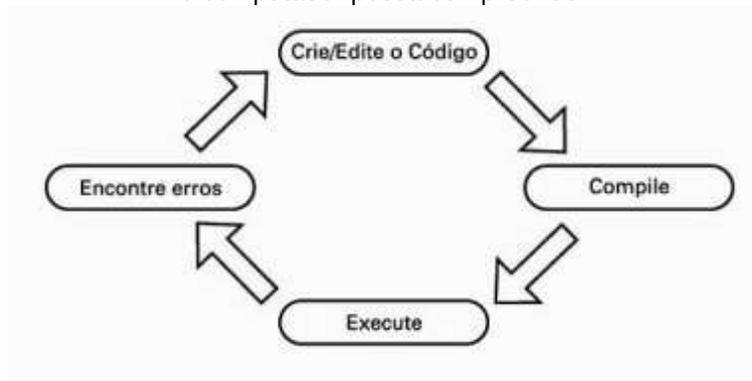
Um programa de computador é um conjunto de instruções para elementos de hardware quem têm como objetivo a execução de tarefas e solução de problemas, este conjunto de instruções é denominado algoritmo (GARCIA, 2002).

Os algoritmos de um programa de computador são escritos em uma linguagem de programação que pode ser de baixo nível, que são instruções mais próximas do que o hardware pode entender, e de alto nível que são instruções mais próximas da linguagem humana com uma maior abstração das instruções dadas para o hardware simplificando a programação (MACKENZIE; SHARKEY, 2002).

As linguagens de programação de alto nível podem ser convertidas em linguagem de máquina. Esse processo de conversão é denominado de compilação sendo que esta tarefa é realizada por programas chamados de compiladores. Mackenzie e Sharkey (2002,p.6) afirmam que:

Originalmente, a maioria das linguagens de programação era composta de apenas um item, um compilador. O programa era criado com o uso de um editor de texto, como o Bloco de notas, e o compilador era executado, passando o nome do arquivo ou programa-fonte. Em seguida, ele produziria o resultado final, um programa executável, pressupondo a inexistência de erros. O resultado compilado era executado, testado para a verificação de erros e, então, você voltaria a seu editor de texto para fazer alterações no código. Ele seria compilado mais uma vez, e o ciclo se repetiria. Esse processo de desenvolvimento (veja a Figura 12) não era de uma linguagem específica; era uma atividade comum para todos os programadores.

Figura 12- Os compiladores convertem o código-fonte de linguagens de alto nível em instruções que o computador possa compreender.



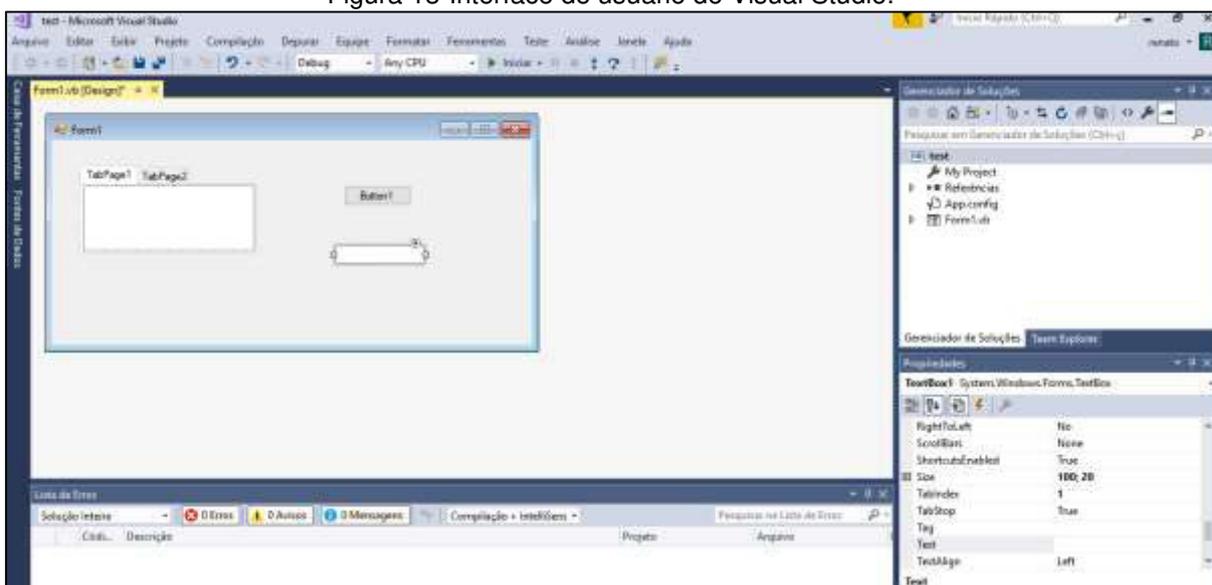
Fonte: Mackenzie e Sharkey (2002).

Com o passar dos anos foram criados diversos tipos de linguagens como: COBOL, APL, Pascal, C e BASIC entre centenas de outras. Acompanhado a evolução progressiva dos computadores e visando aumentar a produtividade da programação essas linguagens também foram aprimoradas ou criadas novas linguagens como C++, JAVA e Visual Basic.Net (MACKENZIE; SHARKEY, 2002).

Também foi melhorado o ciclo apresentado na figura 2, onde foi desenvolvido o conceito de Ambiente Integrado de Desenvolvimento (IDE, *Integrated Development Environment*) que tem como objetivo unificar componentes de edição, depuração e compilação em uma interface de desenvolvimento para o programador (MACKENZIE; SHARKEY, 2002).

Das linguagens citadas, o *Visual Basic.NET* é uma linguagem de programação criada pela Microsoft®, que através da IDE *Visual Studio* permite a criação de programas que utilizem uma interface gráfica, facilitando a escrita e diagnósticos de erros de programação (DEITEL; DEITEL; DEITEL, 2013). Ainda, essa é uma linguagem dirigida por eventos, isto é, os programas escritos nesta linguagem irão interagir com eventos realizados pelo usuário como clique no mouse e pressionamento de teclas. O Visual Studio apresenta ferramentas para facilitar o desenvolvimento da interface gráfica do usuário (figura 13) tais como botões, caixas de texto, tabelas formatação de *layout*, inserção e tabelas dentre outros (DEITEL; DEITEL; DEITEL, 2013).

Figura 13-Interface de usuário do Visual Studio.



Fonte- Próprio autor.

## 5 METODOLOGIA

Por meio da realização da revisão bibliográfica, definiu-se as metodologias semiempíricas a serem implementadas no algoritmo do programa utilizando a linguagem de programação *Visual Basic.NET* por meio da IDE *Visual Studio*.

Por serem metodologias geralmente utilizadas para introdução ao cálculo de capacidade de carga na disciplina de fundações em cursos de engenharia civil e também por serem difundidas no país foram definidas para utilização neste trabalho, as metodologias de cálculo de capacidade de carga de estacas: Aoki-Velloso e Décourt-Quaresma. Também foi definido a utilização da seção circular pois esta é uma seção em comum para os tipos de estacas e métodos de cálculo.

Em seguida, deu-se início à definição do *layout* do programa, considerando as variáveis utilizadas nos cálculos como dados de entrada. Na implementação da interface gráfica utilizando-se a linguagem *Visual Basic.Net* são utilizados botões, caixas de texto, planilhas internas e variados elementos que atendam às necessidades do usuário. Estabeleceu-se a divisão do programa em uma janela contendo quatro abas:

- Cadastro de sondagem: onde foram inseridos os dados referentes a sondagem do solo em que a estaca será construída;
- Metodologias semiempíricas: onde foi definida a metodologia de cálculo para a capacidade de carga e diâmetro da estaca;
- Resultados: onde foram apresentados os resultados de resistência de ponta e resistência lateral obtidos utilizando os cálculos indicados pela metodologia semiempírica selecionada;
- Relatório: onde foi elaborado um relatório contendo os dados de sondagem e resultados juntamente com a capacidade de carga do tipo de estaca selecionada.

A partir disso, foi implementado no algoritmo do programa os coeficientes correspondentes as metodologias de cálculo selecionadas para este trabalho. Também nesta etapa, definiu-se as estruturas lógicas que seriam implementadas para a realização dos cálculos.

Para a validação dos resultados fornecidos pelo programa, utilizou-se de uma comparação com resultados obtidos de exercícios resolvidos de literaturas

consagradas, e uma comparação com resultados obtidos em trabalhos acadêmicos que abordam o mesmo assunto deste trabalho.

Também, para a validação do programa, foram convidados alguns acadêmicos do curso de engenharia civil, que já cursaram a disciplina de fundações que aborda fundações por estacas, a utilizar o *software*.

A utilização do *software* se deu por meio de uma entrevista realizada no período de 03/07/2019 a 10/07/2019, onde na qual este foi apresentado juntamente com um tutorial de utilização (APÊNDICE A) e após convidou-se o entrevistado a utilizá-lo.

Na ocasião, após sua utilização, submeteu-se o usuário ao preenchimento de um questionário (APÊNDICE B) em que se tratou da opinião do usuário quanto a utilização do programa. Com a aplicação deste questionário teve-se o intuito de obter o nível de aceitabilidade do programa no meio acadêmico. Em termos gerais, nas questões presentes no questionário aplicado abordou-se sobre a interface do *software*, intuitividade deste e nível de aceitação quanto a sua finalidade.

## 6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nas seções seguintes são apresentados os resultados obtidos através do emprego da metodologia deste trabalho.

### 6.1 Software

A partir da metodologia empregada neste trabalho, obteve-se como resultado o programa “PILLE FOUNDATIONS 1.0” com o intuito de automatizar os cálculos de capacidade de carga de estacas utilizando metodologias semiempíricas.

Na primeira aba (Figura 14), denominada de “CADASTRO DE SONDAGEM”, são apresentados os campos de texto para a inserção de dados referentes aos boletins de sondagem como: Profundidade de sondagem, índice Nspt, tipo de solo encontrado, espessura da camada. Ao clicar no botão “CADASTRAR” em paralelo aos campos de texto uma planilha contendo esses dados se atualiza a cada nova inserção de dados. Neste processo de cadastro as informações são salvas em vetores aplicados ao algoritmo do programa que calcula a capacidade de carga de acordo com a metodologia de cálculo selecionada na próxima aba.

Figura 14-Cadastro de sondagem.

The screenshot shows the 'CADASTRO DE SONDAGEM' (Soil Logging) window of the 'PILLE FOUNDATIONS 1.0' software. The window has four tabs: 'CADASTRO DE SONDAGEM', 'MÉTODOLOGIAS SEMIEMPÍRICAS', 'RESULTADOS', and 'RELATÓRIO'. The 'CADASTRO DE SONDAGEM' tab is active. On the left, there are several input fields: 'Identificação da sondagem:', 'Profundidade de sondagem(m):', 'Camada a ser cadastrada:' (with a dropdown arrow), 'Espessura da camada(m):', 'NSPT:', and 'Tipo de solo:' (with a dropdown arrow). Below these fields is a 'CADASTRAR' button. On the right, there is a table titled 'Identificação da sondagem' with the following columns: 'Camada', 'Espessura(m)', 'Nspt', and 'SOLO'. The table body is currently empty.

Fonte - Próprio autor.

Na aba seguinte (Figura 15), tem-se “MÉTODOLOGIAS SEMIEMPÍRICAS” onde são exibidos campos de texto para a inserção do tipo de metodologia a ser empregada no cálculo da capacidade de carga da estaca, tais como: comprimento da estaca, diâmetro e tipo de estaca. Esses dados são armazenados dentro de variáveis implementadas no código do programa. De acordo com o método de cálculo

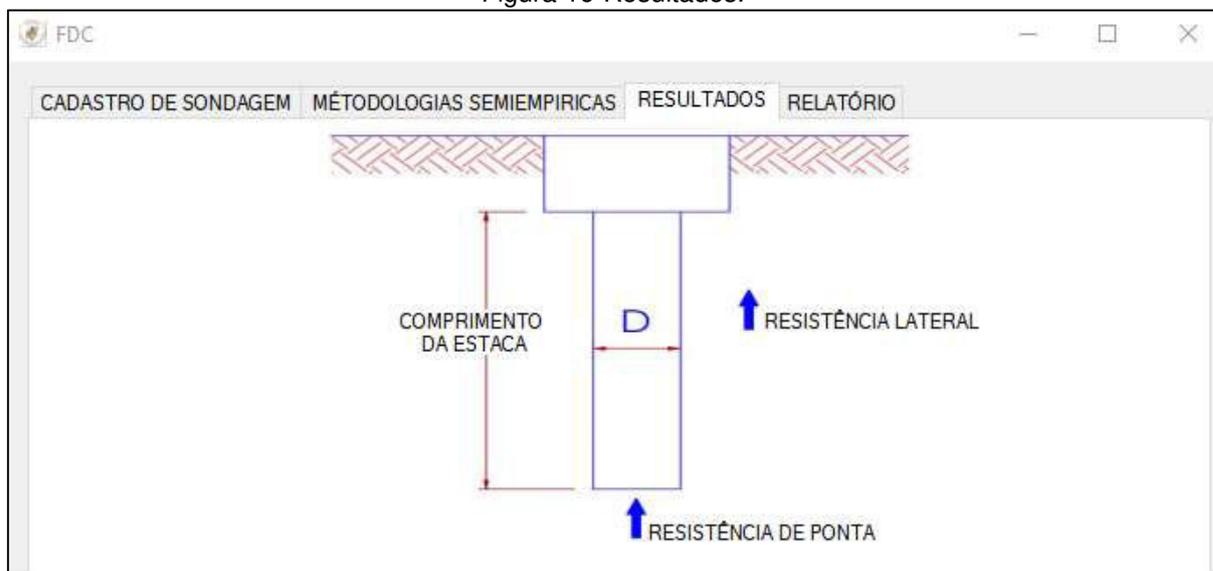
selecionado, serão utilizados coeficientes previamente inseridos em variáveis no algoritmo do programa. Ao clicar no botão “CALCULAR” é feito o cálculo da capacidade de carga da estaca. Os resultados são apresentados na próxima aba.

Figura 15 - Metodologia semiempíricas.

Fonte - Próprio autor.

Na aba “RESULTADOS” (Figura 16), como próprio nome já revela, são exibidos os resultados dos cálculos realizados pelo programa, resistência lateral e resistência de ponta juntamente com uma ilustração de uma estaca genérica.

Figura 16-Resultados.

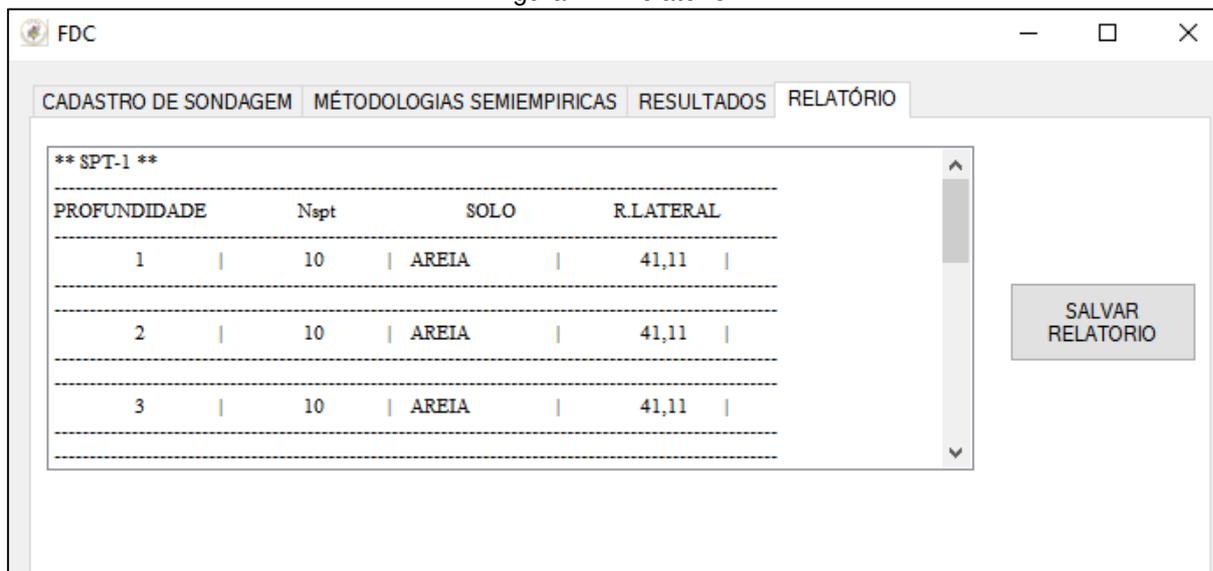


Fonte-Próprio Autor.

Por fim, na aba “RELATÓRIO” (Figura 17) é indicado em um arquivo de texto um relatório geral dos dados inseridos e os resultados dos cálculos realizados pelo programa onde se tem a possibilidade de salvá-lo em uma pasta interna do

computador ao clicar no botão “SALVAR RELATÓRIO”. O arquivo de saída é um relatório no formato de bloco de notas.

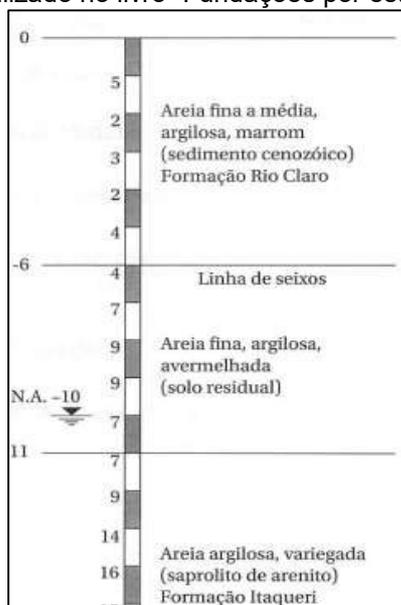
Figura 17- Relatório.



Fonte- Próprio autor.

Para validação dos cálculos realizados pelo programa, utilizou-se o exercício resolvido 01 do livro “Fundações por estacas: projeto geotécnico” (CINTRA, 2013), que considera uma estaca pré-moldada de concreto com diâmetro de 0,33m e comprimento de 12m, cravada em um solo que apresenta o perfil de sondagem representado na figura 18.

Figura 18-Perfil de sondagem utilizado no livro “Fundações por estacas: projeto geotécnico”.



Fonte: Cintra (2013).

A Tabela 17 a seguir apresenta uma comparação dos resultados dados pelo programa com do exercício resolvido 01 utilizando o método Aoki-veloso para previsão da capacidade de carga da estrutura. Observa-se que os resultados fornecidos pelo programa apresentam uma pequena diferença em relação aos do exercício resolvido, isto devido a utilização de valores aproximados nos seus resultados. Na terceira coluna da tabela 06 mostra-se a representação em porcentagem da diferença entre os resultados fornecidos pelo programa com os do exercício resolvido 01.

Tabela 17- Comparação entre resultados do programa com o exercício resolvido 01.

<b>RESULTADOS</b>	<b>PILLE FOUNDATIONS</b>	<b>EXERCÍCIO</b>	<b>VARIAÇÃO</b>
<b>Resistência Lateral</b>	449,19 KN	437,00 KN	2,79 %
<b>Resistência de Ponta</b>	508,64 KN	510,00 KN	0,27%
<b>Capacidade de Carga</b>	957,82 KN	950,00 KN	0,82%

Fonte- Próprio autor.

Do mesmo modo foi utilizado para validação dos resultados do programa o a sondagem utilizada por Alves (2014) no cálculo da capacidade de carga da estaca PC6A (Figura 19). Onde se calculou a capacidade de carga da estaca utilizando a metodologia Decourt-Quaresma.

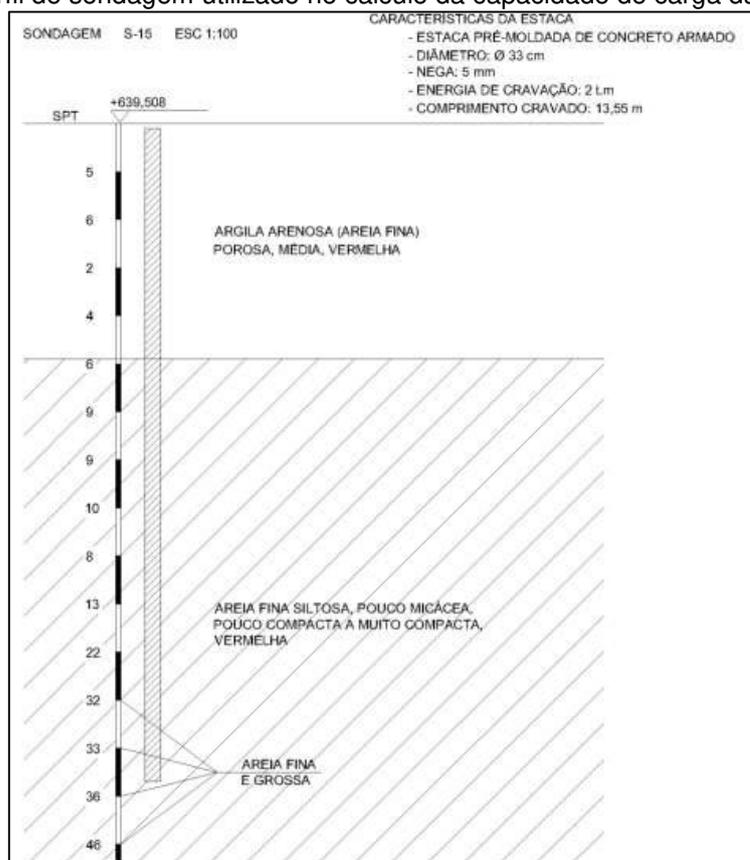
A Tabela 18 apresenta o resultado final para capacidade carga dado pelo programa em comparação ao disponibilizado por Alves(2014). Observou-se uma variação do valor fornecido pelo programa em relação ao fornecido por Alves (2014), devido ao programa utilizar um maior número de casas decimais.

Tabela 18- Comparação entre resultados do programa com o disponibilizado por Alves(2014).

<b>RESULTADOS</b>	<b>PILLE FOUNDATIONS</b>	<b>Alves(2014)</b>	<b>VARIAÇÃO</b>
<b>CAPACIDADE DE CARGA</b>	1.652,52 KN	1634,23 KN	1,11 %

Fonte- Próprio autor.

Figura 19-Perfil de sondagem utilizado no cálculo da capacidade de carga da estaca PC6A.



Fonte- Alves (2014).

## 6.2 Questionário de Aceitabilidade

O questionário foi aplicado a 4 alunos. A quantidade baixa dos alunos se deve ao fato de existir apenas uma turma de 9 alunos, no período de aplicação, apita a ser entrevistada. Onde dessa turma apenas 4 estavam com disponibilidade para serem entrevistados.

A tabela 19 a seguir mostra os dados obtidos para as perguntas 1 e 2 do questionário. Observa-se que para a pergunta 1 como para a pergunta 2 os entrevistados deram notas de 4 a 5 o que representa uma boa aceitabilidade do software pelos entrevistados.

Tabela 19- Resultado do questionário perguntas 1 e 2.

Nota	Perguntas	
	1- De 0 a 5 que nota você dá ao software? Onde 0 é ruim e 5 bom.	2- De 0 a 5 que nota você dá para interface do software? Onde 0 é ruim e 5 bom.
<b>0</b>	-	-
<b>1</b>	-	-
<b>2</b>	-	-
<b>3</b>	-	-
<b>4</b>	25%	75%
<b>5</b>	75%	25%

Fonte: Próprio autor.

Para a pergunta número 3 do questionário (Encontrou alguma dificuldade na utilização do software? Se sim quais?), 75% dos entrevistados não encontraram dificuldades na utilização do programa. Já 25% dos entrevistados apontaram dificuldades relacionadas intuitividade da interface do programa.

Para a pergunta número 4 (Na sua opinião o software atende ao que ele propõe (calcular a capacidade de carga de estacas)?), 100% dos entrevistados apontam que o programa atende a sua proposta.

Observa-se que para os teste de validação realizados e para o questionário aplicado, o programa "PILLE FOUNDATIONS 1.0" apresenta resultados que validam sua utilização para resolução da previsão da capacidade de carga de estacas utilizando métodos semiempíricos.

## 7 CONCLUSÃO

Foi desenvolvido neste trabalho um software para computador desktop utilizando a linguagem de programação *Visual Basic.Net*, que automatiza o processo de cálculo da previsão da capacidade de carga de estacas utilizando metodologias semiempíricas.

Os resultados obtidos com a utilização do programa foram validados através de uma comparação com resultados fornecidos de exercícios resolvidos de literaturas consagradas e com dados fornecidos em trabalhos acadêmicos relacionados a obtenção da capacidade de carga de estacas. Observou-se que o programa apresenta resultados muito próximos com os fornecidos para a realização dos testes.

As respostas obtidas por meio da realização de uma entrevista a acadêmicos juntamente com a aplicação de um questionário sobre a utilização do programa, fornecem dados que apontam o programa com um bom nível de aceitabilidade e que este atende ao que propõe.

Desta forma, o programa apresenta resultados satisfatórios, tornando-o válido para utilização como ferramenta para fins de aprendizagem, otimização e realização de cálculos.

## 8 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Como perspectivas futuras na continuação deste trabalho tem-se:

- Implementação de um controle de profundidade da estaca selecionada;
- Controle de inserção de dados pelo usuário;
- Implementação de um banco de dados de sondagem sendo possível utilizá-la em cálculos posteriores;
- Implementação de outros métodos semiempíricos para o cálculo da capacidade de carga de estacas;
- Implementação de parâmetros para se obter a carga admissível da estaca;
- Desenvolver o modulo para previsão de recalque utilizando metodologias semiempíricas.

## REFERÊNCIAS

- AOKI, Nelson. **Segurança e confiabilidade de fundações profundas – Congresso Brasileiro de Pontes e estruturas**. Escola de engenharia de São Carlos- Universidade de São Paulo. Rio de Janeiro. 2005.
- ALONSO, Urbano Rodriguez. Estacas de madeira. In: HACHICH, W et al (Edit.). **Fundações: teoria e prática**. 2. ed. São Paulo: PINI, 1998. P. 374-375.
- \_\_\_\_\_, Urbano Rodriguez. Estacas Injetadas. In: HACHICH, W et al (Edit.). **Fundações: teoria e prática**. 2. ed. São Paulo: PINI, 1998. P. 361-372.
- \_\_\_\_\_, Urbano Rodriguez. Estacas pré-moldadas. In: HACHICH, W et al (Edit.). **Fundações: teoria e prática**. 2. ed. São Paulo: PINI, 1998. P. 373-374.
- ANTUNES, William Roberto; TAROZZO, Hélio. Estacas Tipo Hélice Contínua. In: HACHICH, W et al (Edit.). **Fundações: teoria e prática**. 2. ed. São Paulo: PINI, 1998. P. 345-348.
- ALMEIDA NETO, José Albuquerque de. **Análise do desempenho de Estaca Hélice Contínua e Ômega: Aspectos Executivos**. 2002. 166 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Solos, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7190**: Projeto de estruturas de madeira. Rio de Janeiro, 1997.
- \_\_\_\_\_. **NBR 6484**: Solo – Sondagens de simples reconhecimento com SPT – Método de ensaio. Rio de Janeiro, 2001.
- \_\_\_\_\_. **NBR 6122**: Projeto e Execução de Fundações. Rio de Janeiro, 2010.
- ALVES, Rubens Diego Fernandes. **Estudo da previsão da carga de ruptura de estacas pré-moldadas de concreto**. 2014. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Norte.
- BENAPAR. **Catálogo comercial: túneis, fundações, geotécnica e infraestruturas**. 2ª ed. 2011. 46 p.
- BRASFOND. **Estacas hélice contínua**. 2019. Disponível em: <<http://www.brasfond.com.br/fundacoes/ehcontinua.html>>. Acesso em: 10 jun. 2019.
- CINTRA, José Carlos A.; AOKI, Nelson. **Fundações por estacas**: projeto geotécnico. São Paulo: Oficina de Textos, 2011.
- CINTRA, José Carlos A. et al. **Fundações**: Ensaios estáticos e dinâmicos. Oficina de Textos, 2013.
- DEITEL, Paul; DEITEL, Abbey; DEITEL, Harvey. **Visual Basic 2010 Simplesmente: Uma Abordagem App-Driven**. 4. ed. Rio de Janeiro: Ciência Moderna, 2013.

GARCIA, Anita Lopes Guto. **Introdução a Programação** - 500 Algoritmos Resolvidos. São Paulo: Campus, 2002.

GEOFUND. **Estacas Ômega**. 2019. Disponível em: <<http://www.geofund.com.br/novosite-br/index.php/estaca-omega>>. Acesso em: 10 jun. 2019.

GEOFUND. **Estacas Raiz**. 2019. Disponível em: <<http://www.geofund.com.br/novosite-br/index.php/estaca-omega>>. Acesso em: 10 jun. 2019.

LONGO, Luis Filipe. **Como obter a pressão admissível a partir do SPT**. Disponível em: <<https://suporte.altoqi.com.br/hc/pt-br/articles/360004276094-Como-obter-a-pressao-admissivel-a-partir-do-SPT>>. Acesso em: 07 abr. 2019.

LOPES, Francisco R.; VELLOSO, Dirceu A. **Fundações-volume completo**. São Paulo: Oficina de Textos, 2010.

NAKAMURA, Juliana. **Profundidade técnica**: Escolha da tecnologia para execução de fundações profundas moldadas in loco é definida pela análise do tipo de estrutura e das características do solo. 2013. Disponível em: <<http://construcaomercado17.pini.com.br/negocios-incorporacao-construcao/146/profundidade-tecnica-escolha-da-tecnologia-para-execucao-de-fundacoes-299192-4.aspx>>. Acesso em: 10 jun. 2019.

MAIA. Cloves Moreira. Estacas tipo Franki. In: HACHICH, W et al (Edit.). **Fundações**: teoria e prática. 2. ed. São Paulo: PINI, 1998. P. 329-335.

MACKENZIE, Duncan.; SHARKEY, Kent. **Aprenda Visual Basic .NET em 21 Dias**; tradução: Aldir José Coelho Corrêa da Silva; revisão técnica: Marcos Jorge. São Paulo: Person Education do Brasil, 2003.

MICROESTACA ARCOS. 2019. Disponível em: <<https://arcos.eng.br/microestaca-arcos/>>. Acesso em: 27 jun. 2019.

SERKI. **Estacas cravadas**. 2019. Disponível em: <<http://www.serki.com.br/servicos/estavascravadas/>>. Acesso em: 27 jun. 2019.

TOMLINSON, Michael; WOODWARD, John. **Pile design and construction practice**. 5. ed. Londres: Crc Press, 2007.

## APÊNDICE A

# MANUAL- PILLE FUDATIONS 1.0

### ABA – CADASTRO DE SONDAGEM

Dado um perfil de sondagem o usuário do “PILLE FUDATIONS” deve inserir nos campos (figura 20):

- 1- A identificação da sondagem, ex: SPT-1
- 2- Profundidade limite a qual foi realizada o teste de sondagem SPT.
- 3- Identificação da camada a ser cadastrada, ex:1,2,3,4... etc.
- 4- A espessura da camada que está sendo cadastrada. OBS: O programa tem um limite de espessura de 1m, no caso de camadas maiores deve-se dividir a camada considerando o limite, ex: temos uma camada de argila de 3m, desta forma deve-se dividir a espessura da camada em seguimentos de 1m. Se tivermos uma camada de argila de 2,3m divide-se em 2 seguimentos de 1m e 1 seguimento de 0,3m.
- 5- O índice NSPT que corresponde a soma do número de golpes necessários para penetrar os 30cm finais na realização da sondagem SPT. OBS: no caso de camadas estratificadas que não se encontram na zona do teste SPT deve-se considerar o NSPT da camada mais próxima com tipo de solo que mais se assemelha com o tipo de solo contido nesta camada.
- 6- Seleciona-se o tipo de solo encontrado na camada podendo ser: "AREIA", "AREIA SILTOSA", "AREIA SILTOARGILOSA", "AREIA ARGILOSA", "AREIA ARGILLOSSILTOSA", "SILTE", "SILTE ARENOSO", "SILTE ARENOARGILOSO", "SILTE ARGILOSO", "SILTE ARGILOARENOSO", "ARGILA", "ARGILA ARENOSA", "ARGILA ARENOSSILTOSA", "ARGILA SILTOSA", "ARGILA SILTOARENOSA".
- 7- Ao clicar no botão "CADASTRAR" serão inseridos os dados na tabela ao lado.

Figura 20: Cadastro de sondagem.

CADASTRO DE SONDAAGEM    MÉTODOLOGIAS SEMIEMPÍRICAS    RESULTADOS    RELATÓRIO

Identificação da sondagem: SPT-1 **1**

Profundidade de sondagem(m): 12 **2**

Camada a ser cadastrada: 16 **3**

Espessura da camada(m): 1 **4**

NSPT: 90 **5**

Tipo de solo: AREIA SILTOSA **6**

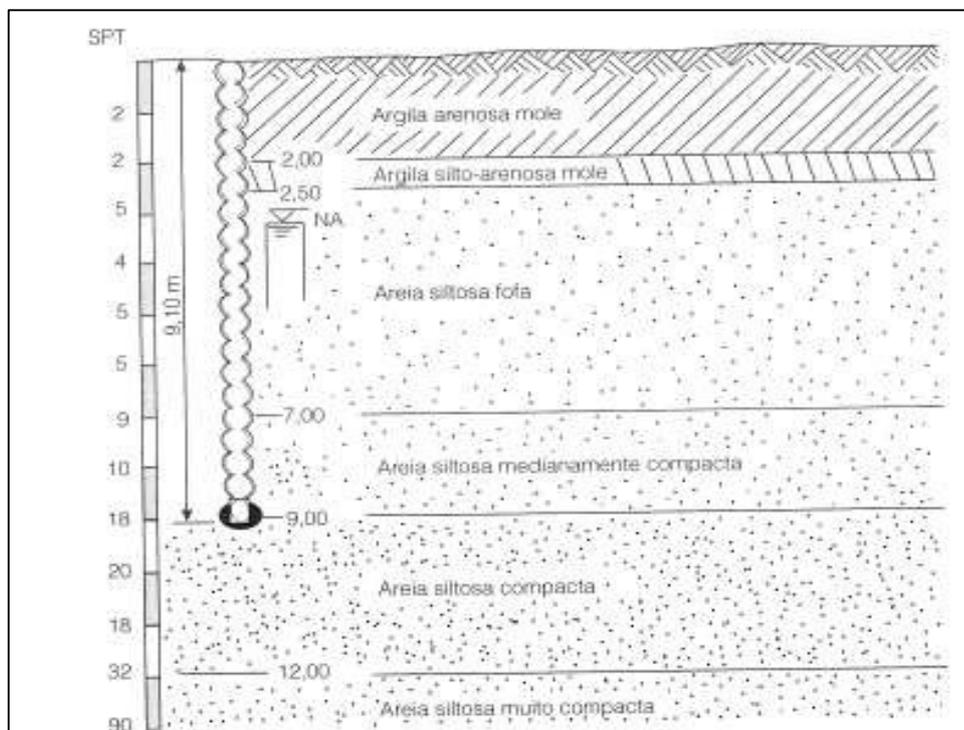
**CADASTRAR 7**

SPT-1			
Camada	Profundidade	Nspt	SOLO
8	1	9	AREIA SILTOSA
16	1	90	AREIA SILTOSA
3	0.5	5	AREIA SILTOSA
4	1	5	AREIA SILTOSA
5	1	4	AREIA SILTOSA

A seguir apresenta-se um exemplo prático de inserção de dados de sondagem no programa "PILLE FUDATIONS".

Dado o perfil de solo contido na figura 21 deve-se inserir os dados de sondagem de forma que correspondam ao Quadro 2.

Figura 21: Sondagem SPT.



Quadro 2: Dados de sondagem planilha preenchida após inserção de dados no programa.

Camada	Espessura	Nspt	SOLO
1	1	2	ARGILA ARENOSA
2	0,5	2	ARGILA SILTOARENOSA
3	0,5	5	AREIA SILTOSA
4	1	5	AREIA SILTOSA
5	1	4	AREIA SILTOSA
6	1	5	AREIA SILTOSA
7	1	5	AREIA SILTOSA
8	1	9	AREIA SILTOSA
9	1	10	AREIA SILTOSA
10	1	18	AREIA SILTOSA
11	1	20	AREIA SILTOSA
12	1	18	AREIA SILTOSA
13	1	32	AREIA SILTOSA
14	1	90	AREIA SILTOSA

## ABA-MÉTODOLOGIAS SEMIEMPIRICAS

Nesta aba será selecionada a metodologia de cálculo que será aplicada para obter a capacidade de carga, assim deve-se preencher os seguintes campos (figura 3):

- 1- O diâmetro da estaca. Obs: separando as casas decimais por virgula.
- 2- Neste campo insere-se o comprimento da estaca correspondendo a parte que corresponde a um número inteiro. Ex: se uma estaca tem comprimento de 9,30m deve-se colocar nesse campo 9m.
- 3- Neste campo insere-se a parte correspondente a parte que não é inteira. Ex: se uma estaca tem comprimento de 9,30m deve-se colocar nesse campo 0,30m.

Obs: Nos campos 2 e 3 deve-se considerar o comprimento da estaca a partir da cota de arrasamento que neste caso foi padronizada em -1m.

- 4- Seleciona-se a metodologia de cálculo.
- 5- A partir da metodologia selecionada, neste campo irão aparecer os tipos de estacas disponíveis para o cálculo.

- 6- Ao clicar no botão "CALCULAR" serão calculados a resistência lateral e a resistência de ponta da estaca selecionada.

Figura 22: Seleção da metodologia de cálculo.

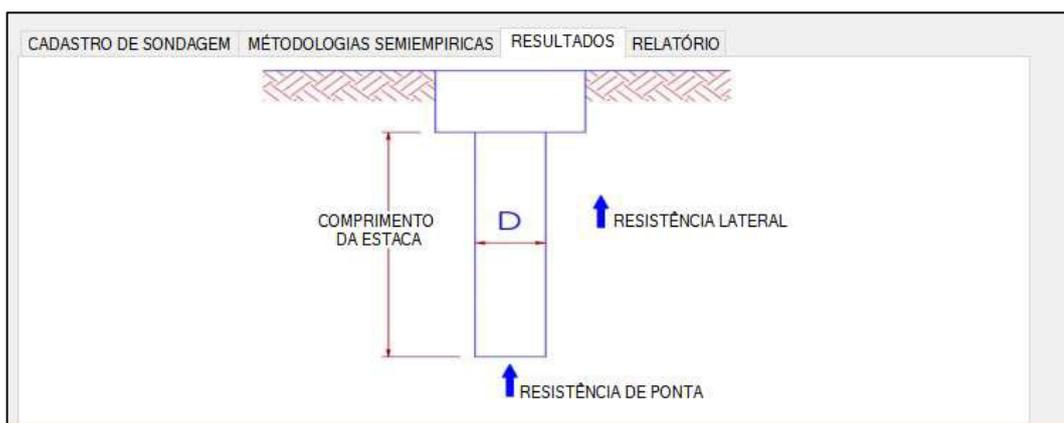
The screenshot shows a software interface with four tabs: "CADASTRO DE SONDAGEM", "MÉTODOLOGIAS SEMIEMPIRICAS", "RESULTADOS", and "RELATÓRIO". The "MÉTODOLOGIAS SEMIEMPIRICAS" tab is active. The form contains the following fields and controls:

- Diametro(m):** Input field with value "0,4" (circled 1).
- Comprimento da estaca:** Two input fields with values "9" (circled 2) and "0,3" (circled 3), both followed by "(m)".
- Método:** Dropdown menu with "AOKI-VELOSO" selected (circled 4).
- Tipo de estaca:** Dropdown menu with "FRANKI" selected (circled 5).
- CALCULAR:** Button (circled 6).

## ABA-RESULTADOS

Nesta aba são apresentados os resultados obtidos na forma como está representada na figura 23.

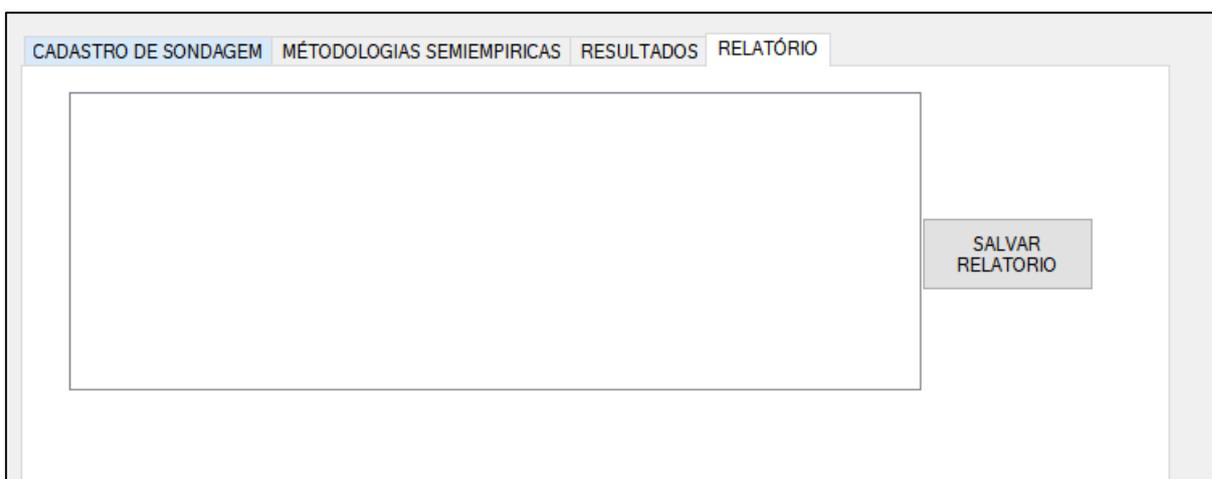
Figura 23: Resultados.



## ABA- RELATÓRIO

A depender da metodologia utilizada para o cálculo da capacidade de carga, será criado um relatório (figura 24) que irá dispor dos parâmetros e formulas utilizadas.

Figura 24: Relatório final.



O programa PILLE FOUNDATIONS 1.0 pode ser adquirido via envio de solicitação para o e-mail: [renatofreitas1213@hotmail.com](mailto:renatofreitas1213@hotmail.com).

**APÊNDICE B****FORMULÁRIO –UTILIZAÇÃO DO SOFTWARE “PILLE FOUNDATIONS 1.0”**

1- De 0 a 5 que nota você dá ao software? Onde 0 é ruim e 5 bom.

---

2- De 0 a 5 que nota você dá para interface do software? Onde 0 é ruim e 5 bom.

---

3- Encontrou alguma dificuldade na utilização do software? Se sim quais?

---

---

4- Na sua opinião o software atende ao que ele propõe (calcular a capacidade de carga de estacas)? Sim ou Não.

---