UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS
ESCOLA DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL

DECLARAÇÃO

ORLANDO MUNDOCO CORRÊA

DIMENSIONAMENTO DE ESTACAS EM SOLO TROPICAL PELO MÉTODO BASEADO EM ENSAIOS PMT - NORMA FRANCESA

Monografia apresentada no Trabalho de Conclusão de Curso 2 do Curso de Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Goiás.

Aprovado em: 18/01/2021.

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Renato Resende Angelim – EECA/UFG (Orientador)

Prof. Dr. Maurício Martines Sales – EECA/UFG (Examinador Interno)

Eng. Civil, M.Sc. Romulo Rodrigues Machado (Examinador Externo)

Atesto que as revisões solicitadas foram feitas:

Prof. Dr. Renato Resende Angelim (orientador)

Em: 22/01/2021

OBSERVAÇÕES COMPLEMENTARES:

- **Todos os campos do presente documento são de preenchimento obrigatório, sendo os mesmos adequados a quantidade de examinadores;**
- **Após preenchido, o documento deve ser assinado por todos os examinadores e também pelo orientador do referido trabalho.**

Documento assinado eletronicamente por **Renato Resende Angelim**, **Professor do Magistério Superior**, em 22/01/2021, às 19:32, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015.

Documento assinado eletronicamente por **Maurício Martines Sales**, **Professor do Magistério Superior**, em 25/01/2021, às 15:28, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015.

Documento assinado eletronicamente por **ROMULO RODRIGUES MACHADO**, **Usuário Externo**, em 25/01/2021, às 21:02, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015.

A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.ufg.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **1821664** e o código CRC **2287A3C1**.

Referência: Processo nº 23070.001968/2021-68 SEI nº 1821664

NIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS
ESCOLA DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

DIMENSIONAMENTO DE ESTACAS EM SOLO TROPICAL PELO MÉTODO BASEADO EM ENSAIOS PMT - NORMA FRANCESA

ORLANDO MUNDOCO CORRÊA

GOIÂNIA
2021

ORLANDO MUNDOCO CORRÊA

DIMENSIONAMENTO DE ESTACAS EM SOLO TROPICAL PELO MÉTODO BASEADO EM ENSAIOS PMT - NORMA FRANCESA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal de Goiás para a aprovação na disciplina de TCC 2.
Orientador: Prof. Dr. Renato Resende Angelim

GOIÂNIA

2021

ORLANDO MUNDOCO CORRÊA

DIMENSIONAMENTO DE ESTACAS EM SOLO TROPICAL PELO MÉTODO BASEADO EM ENSAIOS PMT - NORMA FRANCESA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal de Goiás para a aprovação na disciplina de TCC 2.
Orientador: Prof. Dr. Renato Resende Angelim

Aprovado em: 18/01/2021.

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Renato Resende Angelim – EECA/UFG (Orientador)

Prof. Dr. Maurício Martines Sales – EECA/UFG (Examinador Interno)

Eng. Civil, M.Sc. Romulo Rodrigues Machado (Examinador Externo)

Atesto que as revisões solicitadas foram feitas:

Prof. Dr. Renato Resende Angelim (orientador)

Documento assinado eletronicamente por **Renato Resende Angelim**, **Professor do Magistério Superior**, em 22/01/2021, às 19:32, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015.

Documento assinado eletronicamente por **Maurício Martines Sales**, **Professor do Magistério Superior**, em 25/01/2021, às 15:28, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015.

Documento assinado eletronicamente por **ROMULO RODRIGUES MACHADO**, **Usuário Externo**, em 25/01/2021, às 21:02, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015.

A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.ufg.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **1821664** e o código CRC **2287A3C1**.

Autor: Orlando Mundoco Corrêa. Citação: CORRÊA, O. M. Tel.: (62) 99664-1133; e-mail: orl.mundoco@gmail.com

RESUMO

Como as fundações em estacas e *radiers* estaqueados vem ganhando cada vez mais espaço no Brasil, percebe-se a necessidade de que as metodologias de dimensionamento desse tipo de fundação sejam aperfeiçoadas cada vez mais. Encontrou-se na norma francesa de fundações profundas métodos para a estimativa da capacidade de carga de estacas e de previsão de recalque a partir de resultados de ensaios pressiométricos (PMT). O presente trabalho objetivou, assim, o dimensionamento de fundações utilizando tais métodos e a comparação desses resultados com leituras extraídas de provas de carga estáticas (PCE) de estacas metálicas e de concreto executadas no campo Experimental da Engenharia Civil da universidade Federal de Goiás. Notou-se que os métodos apresentaram boas estimativas para previsão da carga de ruptura de ponta e previsões razoáveis para o recalque, no entanto as estimativas para a tensão de ruptura lateral não foram satisfatórias. O grande desafio da aplicação dos métodos apresentados na documentação normativa francesa em estacas executadas em solo brasileiro são as diferenças estruturais entre o solo de clima temperado encontrado na França e o solo tropical do Brasil. Assim, o método aparenta ser promissor, carecendo, no entanto, de ajustes para que se aproxime mais da realidade brasileira.

Palavras-Chave: Estacas, Carga Última, Recalque, Ensaio PMT.

ABSTRACT

The utilization of foundations in piles and piled rafts have been increasing in Brazil. Thereby, there is demand for better methodologies in order to design this type of foundation. In the French standard for deep foundations we can find methods to estimate the bearing capacity of piles and prediction of settlement using results of pressuremeter tests. The present dissertation aimed, therefore, the designing of foundations using these French methods and the comparison of their results with values from Static Load Tests performed in metallics Piles and Concrete Piles at the Experimental field of Civil Engineering at the Federal University of Goiás. The methods yielded good estimation for bearing capacity at the pile tip and reasonable predictions for settlement, however the estimates were not satisfactory for the skin friction resistance. The structural differences between the soil of France and the tropical soil in Brazil is the biggest challenge in applying the French methods on Brazilian soil piles. Thus, the method appears to be promising, however, lacking adjustments to bring it closer to the Brazilian reality.

Keywords: Piles, Bearing Capacity, Pile Settlement, Pressuremeter Test.

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 - Ensaio PMT: princípio de execução, com sonda tipo Ménard 12
Figura 2.2 - Exemplo de curva pressiométrica 13
Figura 2.3 - Estaca submetido à carga de ruptura de compressão 15
Figura 2.4 – Representação gráfica das integrais para cálculo da L_{ef} 18
Figura 2.5 - Curvas f_{solo} para cada tipo de solo 22
Figura 2.6 – Curva *carga vs recalque* típica 24
Figura 2.7 – Curvas de mobilização – Modelo Frank-Zhao 25
Figura 2.8 – Divisão em 10 segmentos 26
Figura 2.9 – Campo Experimental EECA-UFG 27
Figura 2.10 – Resultados PCE – Estaca de Concreto Escavada 31
Figura 2.11 – Resultados PCE – Estacas Metálicas de Ponta Aberta 29
Figura 2.12 – Resultados PCE – Estacas Metálicas de Ponta Fechada 30
Figura 2.13 – Resultados PCE – Estacas de Concreto Prensadas 30
Figura 3.1– Resultados médios das sondagens pressiométricas na estação seca. 35
Figura 3.2 – Divisão das estacas em segmentos e valores de q_s e q_b para cada camada 35
Figura 4.1 - Variação da relação R_{calc}/R_{PCE} com o aumento do diâmetro – Estacas de Ponta Aberta 37
Figura 4.2 – Curva F-Z vs PCE para a estaca A4 37
Figura 4.3 - Variação da relação R_{calc}/R_{PCE} com o aumento do diâmetro – Estacas de Ponta Fechada 38
Figura 4.4 – Relação entre resistências de ponta calculadas e lidas – Estacas de Ponta Fechada 39
Figura 4.5 – Relação entre resistências laterais calculadas e lidas – Estacas de Ponta Fechada 39
Figura 4.6 – Comparação das parcelas de ponta e lateral – Estacas de Ponta Fechada 40
Figura 4.7 – Curva F-Z vs PCE para a estaca F6 41
Figura 4.8 – Relações calculadas/lidas para a estaca E8 42
Figura 4.9 – Comparação das parcelas de ponta e lateral para a Estaca E8 43
Figura 4.10 – Curva F-Z vs PCE para estaca E8 44

Figura 4.11 – Distribuição de carga ao longo do comprimento sendo a) carga no topo de 20,37 kN; b) carga no topo de 52,48 kN; c) carga no topo de 79,93 kN; d) carga de ruptura calculada x carga de ruptura PCE 45

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 - Classificação das estacas segundo a NF P 94-262 16
Tabela 2.2 – Valor de $k_{p,máx}$ em função do tipo de solo e do método de execução da estaca... 19
Tabela 2.3 - Coeficiente redutor para perfis metálicos de base aberta 20
Tabela 2.4 - Valores de $\alpha_{estaca\text{-}solo}$ para cada tipo de solo 21
Tabela 2.5 - Parâmetros a, b e c para a estimativa do fator f_{solo} 22
Tabela 2.6 - Valores de $q_{s,máx}$ em função do tipo de solo e procedimento executivo da fundação 23
Tabela 2.7 - N_{SPT} e classificação do solo. 28
Tabela 2.8 – Valores médios dos módulos pressiométrico e das pressões limites – EECA-UFG. 28
Tabela 2.9 – Características das provas de carga estáticas. 29
Tabela 2.10 – Resultados PCE instrumentada – Estaca Ponta Fechada F4 com diâmetro de 114,3 mm. 31
Tabela 2.11 – Resultados PCE instrumentada – Estaca Ponta Fechada F6 com diâmetro de 165,1 mm. 32
Tabela 2.12 – Resultados PCE instrumentada – Estaca Ponta Fechada F8 com diâmetro de 219,1 mm. 32
Tabela 2.13 – Resultados PCE instrumentada – Estaca escavada E8 com diâmetro de 260 mm. 32

Tabela 4.1– Capacidades de carga calculadas para as estacas metálicas de ponta aberta prensadas. 36

Tabela 4.2– Capacidades de carga calculadas para as estacas metálicas de ponta fechada prensadas. 38

Tabela 4.3 – Capacidades de carga calculadas para as Estaca Escavada de Concreto 42

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 10

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA 12

2.1 RESULTADOS OBTIDOS EM ENSAIOS PMT 12

2.2 CAPACIDADE DE CARGA DE FUNDAÇÕES PROFUNDAS 14

2.2.1 Classificação das estacas quanto ao processo executivo 16

2.2.2 Dimensionamento de estacas pelo Método Pressiométrico 17

2.3 ESTIMATIVA RECALQUE 24

2.3.1 Curvas de Mobilização 25

2.3.2 Método de Transferência de Carga 26

2.4 PROVAS DE CARGA – CAMPO EXPERIMENTAL EECA UFG 27

2.4.1 Descrição do Campo Experimental 27

2.4.2 Descrição das estacas utilizadas nas provas de carga 29

3 MATERIAIS E MÉTODOS 33

4 RESULTADOS 36

4.1 ESTACAS METÁLICAS DE PONTA ABERTA 36

4.2 ESTACAS METÁLICAS DE PONTA FECHADA 38

4.3 ESTACA ESCAVADA DE CONCRETO 41

5 CONCLUSÃO 47

REFERÊNCIAS 49

ANEXO A – CÁLCULOS CAPACIDADE DE CARGA 51

ANEXO B – ESTIMATIVA DE RECALQUE 58

1 INTRODUÇÃO

Ultimamente, pode-se notar o crescimento da construção de edifícios altos no Brasil e o desenvolvimento das tecnologias de execução de fundações. Com a introdução de modernas perfuratrizes, as soluções envolvendo estacas e *radiers* estaqueados vêm ganhando um grande espaço nos projetos desses grandes empreendimentos. Além disso, nota-se uma tendência para o aumento do uso de estacas em edifícios de médio e pequeno porte após a implementação das restrições advindas da NR-18/2020 para a execução de tubulões a céu aberto. Dentro deste cenário, é de grande interesse que as metodologias de dimensionamento desse tipo de fundação sejam aperfeiçoadas cada vez mais.

Conforme é explicado pela norma de fundações, a NBR 6122 (ABNT, 2019), as estacas transmitem as cargas aplicadas sobre elas para o solo através de sua base e de sua superfície lateral. Tais princípios de reação às solicitações da estaca é o que é referenciado na literatura como resistência de ponta e resistência lateral, respectivamente. Assim, as incógnitas a serem elucidadas no dimensionamento de uma fundação profunda são essas duas parcelas de reação e o deslocamento do conjunto frente às solicitações (recalque).

O dimensionamento é feito com base em parâmetros geotécnicos do perfil de solo. Para tanto é necessária a investigação do subsolo, que pode ser realizada por meio de ensaios de laboratório ou de campo. Os ensaios laboratoriais são, normalmente, mais demorados e nem sempre representam as condições de campo, além da dificuldade de retirada de amostras. Assim, os resultados dos ensaios de campo são mais largamente utilizados para o dimensionamento de fundações, uma vez que esses são mais rápidos e mais fiéis às condições *in situ* na obtenção dos parâmetros geotécnicos do solo.

Nesse sentido, destaca-se o ensaio pressiométrico (PMT – *PressureMeter Test*), que consiste na expansão de uma célula cilíndrica sob pressão controlada inserida em um pré-furo. Esse ensaio foi criado por Jean-Louis Ménard na década de 50 e seus resultados podem ser analisados utilizando a teoria de expansão de cavidade cilíndrica. Atualmente, esse é um dos principais ensaios de campo utilizados no dimensionamento de fundações na Europa, em especial na França, onde o equipamento foi concebido.

Diante disso, o presente trabalho possuiu como objetivo realizar a estimativa da capacidade de carga de estacas escavadas de concreto e de estacas metálicas tubulares prensadas a partir de resultados de ensaios pressiométricos. Em seguida, foi feita a previsão dos recalques dessas estacas.

Os métodos utilizados neste estudo foram os preconizados na norma francesa de fundações profundas: a NF P 94-262 publicada pela *Association Française de Normalisation* (AFNOR, 2012) em sua versão A1 (*Amendement 1* – Emenda 1), anexos A, D, F e L. Tais anexos descrevem os métodos recomendados pela AFNOR para a classificação de estacas, estimativa da capacidade de carga a partir de resultados de ensaios PMT e previsão de recalques.

A metodologia apresentada nessa norma foi desenvolvida para o solo francês, de clima temperado, o qual possui características diferentes do solo tropical laterítico encontrado em grande parte do Brasil. Portanto, pretende-se também com esse estudo a verificação da efetividade de tal metodologia aplicada em solo tropical.

Para tanto, foram utilizados os resultados dos ensaios pressiométricos realizados por Machado (2020) no Campo Experimental da Escola de Engenharia Civil e Ambiental (EECA) da Universidade Federal de Goiás (UFG). As previsões obtidas a partir dos cálculos propostos pelo método adotado serão comparadas com os resultados de Provas de Carga Estáticas (PCE's) executadas por Galvani Jr. (2020) nesse mesmo Campo Experimental.

O estabelecimento de uma correção dos métodos apresentados na NF P 94-262/A1 foge do escopo desta pesquisa. No entanto, com os resultados encontrados, espera-se ter uma primeira ideia dos desvios apresentados. Isso poderá motivar uma discussão futura sobre as causas dos desvios e a influência das diferenças pedológicas dos solos tropicais na aplicação das metodologias desenvolvidas para o solo francês de clima temperado.

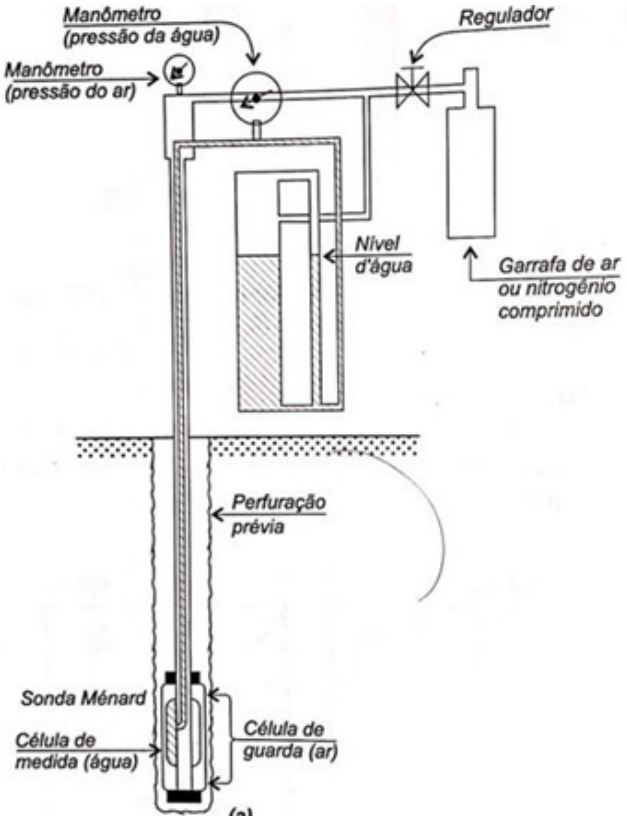
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 RESULTADOS OBTIDOS EM ENSAIOS PMT

O ensaio PMT foi concebido por Ménard, em 1955, quando ele desenvolveu um equipamento capaz de ser inserido no solo através de um pré-furo e expandido à pressão controlada. Essa versão do pressiômetro é conhecida como Pressiômetro de Ménard (*Ménard PressureMeter* - MPM) ou Pressiômetro Pré-furo (*Pre-boring Pressuremeter* – PBP) (MÉNARD, 1967).

A Figura 2.1 ilustra os componentes típicos de um pressiômetro de Ménard.

Figura 2.1 - Ensaio PMT: princípio de execução, com sonda tipo Ménard



Fonte: adaptado de Velloso, 2011

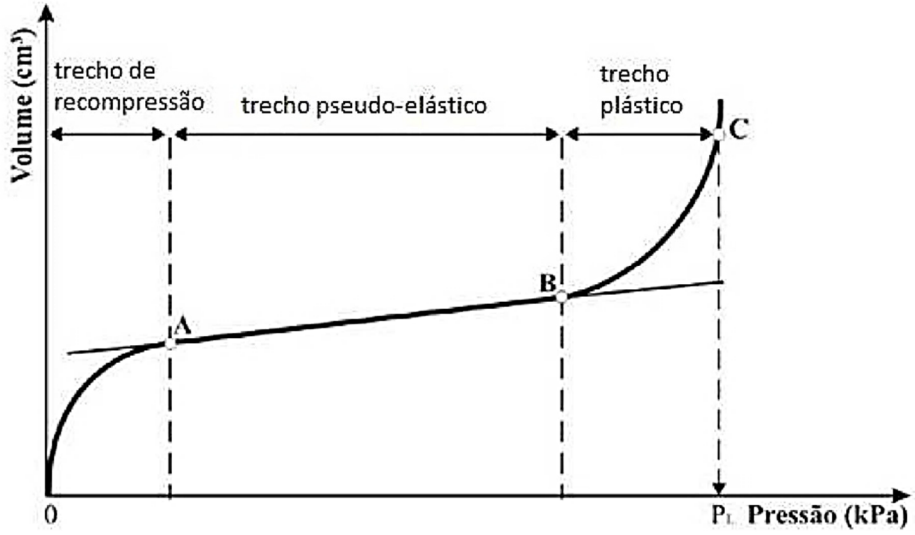
A sonda é composta por uma célula de medida (célula central), a qual é preenchida com água, e uma célula de guarda em cada extremidade da sonda, preenchidas com gás. A célula central é a responsável por expandir (radialmente) e as de guarda asseguram que a expansão ocorra adequadamente, mantendo a forma cilíndrica da célula central, de modo a garantir uma pressão

radial uniforme nas paredes do solo. Enquanto a célula central é expandida, a pressão é medida ao longo do tempo até a ruptura/plastificação do solo (MÉNARD, 1967).

A descrição dos procedimentos envolvidos na execução do ensaio, calibração do equipamento e no tratamento das leituras pode ser encontrada na norma francesa NF P 94-110-1 (AFNOR, 2000).

Os resultados das leituras são sintetizados em uma curva denominada **curva pressiométrica**. A partir dessa curva se extrai os valores que caracterizam o solo estudado, tais como pressão limite e módulo pressiométrico de Ménard (MÉNARD, 1967). A Figura 2.2 apresenta um exemplo típico de uma curva pressiométrica.

Figura 2.2 - Exemplo de curva pressiométrica



Fonte: Imamura, 2017

Assim, são apresentadas a seguir as definições da pressão limite do solo (p_L), da pressão limite líquida (p_L^*) e do módulo pressiométrico de Ménard (E_M). Embora o ensaio forneça outros valores de caracterização de solo, apenas esses três parâmetros são necessários no dimensionamento de fundações profundas a partir dos métodos propostos pela norma francesa de fundações profundas.

a) Pressão limite (p_L): pressão na qual ocorre a ruptura do solo. Segundo a NF P 94-110-1 (AFNOR, 2000) a pressão limite é definida como sendo a pressão na qual a sonda alcança o um volume igual ao dobro do volume da cavidade. Esse volume é denominado volume limite (V_l) e é expresso matematicamente por:

$$V_l = V_s + 2 \cdot v_0 \tag{2.1}$$

em que, V_l: volume limite;

V_s: volume inicial da sonda, à pressão atmosférica;

v_0: volume inicial.

b) Pressão limite líquida (p_L^*): é definida como sendo a pressão limite (p_L) subtraída pela tensão horizontal de repouso do solo (AFNOR 2000). Esse parâmetro é definido matematicamente por:

$$p_L^*(z) = p_L(z) - \sigma_{0h}(z) \tag{2.2}$$

em que, $p_L^*(z)$: pressão limite líquida na profundidade z;

$p_L(z)$: pressão limite na profundidade z;

$\sigma_{0h}(z)$: tensão horizontal de repouso do solo na profundidade z.

c) Módulo pressiométrico de Ménard (E_M): Segundo a NF P 94-110-1 (AFNOR, 2000), ele pode ser definido como o módulo de deformação do solo, calculado para um segmento (p_1, V_1 ; p_2, V_2) situado no trecho elástico do solo. A seguir é apresentada a equação para a determinação desse módulo:

$$E_M = 2 \cdot (1 + v) \cdot \left[V_s + \frac{V_1 + V_2}{2}\right] \cdot \frac{p_2 - p_1}{V_2 - V_1} \tag{2.3}$$

em que, v: coeficiente de Poisson do solo. Adotar $v = 0{,}33$ (AFNOR, 2000);

V_s: volume inicial da sonda, à pressão atmosférica;

V_1 e V_2: volumes inicial e final, respectivamente, do intervalo considerado na aferição do módulo pressiométrico;

p_1 e p_2: pressões inicial e final, respectivamente, do intervalo considerado na aferição do módulo pressiométrico;

A partir desses parâmetros pode-se, então, aplicar a metodologia de dimensionamento de estacas apresentada na norma francesa de fundações profundas.

2.2 CAPACIDADE DE CARGA DE FUNDAÇÕES PROFUNDAS

Segundo Velloso e Lopes (2010), os métodos estáticos de dimensionamento de estacas consideram que há um equilíbrio de forças entre a carga aplicada, o seu peso próprio e a reação do solo. Este último fator é subdividido em duas parcelas: reação da ponta e reação lateral.

O equilíbrio de forças existente em uma estaca em uma situação de iminente ruptura do solo é dada pela equação (2.4) e pela Figura 2.3.

$$R_c = Q_{ult} + W = R_b + R_s \tag{2.4}$$

em que, R_c: capacidade e carga da estaca

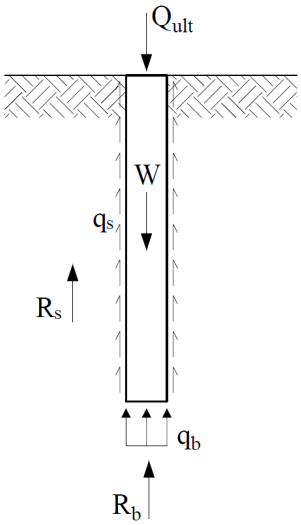
Q_{ult}: máxima carga admissível sobre a estaca

W: peso próprio da fundação

R_b: capacidade de carga da ponta

R_s: capacidade de carga lateral

Figura 2.3 - Estaca submetido à carga de ruptura de compressão



Fonte: adaptado de Velloso, 2011

A reação de ponta é gerada a partir da reação normal na base da estaca, representada na Figura 2.3 como q_b. Já a reação lateral é resultado do atrito lateral (q_s), que é a força cisalhante que surge na interface estaca-solo ou solo-solo, quando a adesão do solo na estaca é mais alta que a coesão entre as partículas. Esse último caso pode acontecer, por exemplo, em fundações moldadas *in loco*. (Velloso e Lopes, 2010).

A norma de fundações profundas francesa traz duas alternativas para o cálculo dessas duas parcelas de capacidade de carga de uma estaca a partir de ensaios de campo. Elas são: o Método Pressiométrico e o Método Penetrométrico. Esse último é utilizado para o dimensionamento de fundações a partir de resultados de ensaios do tipo CPT e foge do escopo do presente trabalho.

Assim, adiante será apresentada de maneira detalhada a metodologia de cálculo do Método Pressiométrico da NF P 94-262/A1. No entanto, é importante apresentar de antemão a classificação das estacas quanto ao processo executivo segundo essa norma.

2.2.1 Classificação das estacas quanto ao processo executivo

No dimensionamento de fundações profundas, é fundamental que se conheça o processo executivo. A maneira na qual o solo em torno de uma estaca se encontrará após a sua execução depende diretamente do processo usado para a sua construção (FRANK, 1999).

Portanto, são apresentadas na Tabela 2.1 as diferentes classes e categorias de estacas trazidas pelo Anexo A da NF P 94-262/A1, bem como a tradução dos termos de origem francesa.

Tabela 2.1 - Classificação das estacas segundo a NF P 94-262

Classe	Categoria	Terminologia	Abreviação	Tradução
1	1	Foré simple	FS	Escavada simples
	2	Foré boue	FB	Escavada com lama estabilizante
	3	Foré tubé (virole perdue)	FTP	Escavada com camisa metálica perdida
	4	Foré tubé (virole récupérée)	FTR	Escavada com camisa metálica recuperada
	5	Foré simple ou boue avec rainurage ou puits	FSR, FBR, PU	Com ranhuras (escavação simples ou com lama estabilizante)
2	6	Foré tarière creuse simple rotation, ou double rotation	FTC, FTCD	Hélice contínua e ômega
3	7	Vissé moulé	VM	Parafusada simples
	8	Vissé tubé	VT	Parafusada com camisa metálica
4	9	Battu béton préfabriqué ou précontraint	BPF, BPR	Pré-moldados de concreto armado ou protendido cravados
	10	Battu enrobé (béton – mortier – coulis)	BE	Estaca revestida cravada (concreto, argamassa, *groute*)
	11	Battu moulé	BM	Tipo Franki
	12	Battu acier fermé	BAF	Estaca metálica de ponta fechada
5	13	Battu acier ouvert	BAO	Tubo metálico de ponta aberta
6	14	Profilé H battu	HB	Perfil H cravado
	15	Profilé H battu injecté	HBi	Perfil H com *groute*
7	16	Palplanches battues	PP	Placas metálicas cravadas
1B	17	Micropieu type I	M1	Microestaca tipo 1 (com camisa metálica recuperada)
	18	Micropieu type II	M2	Microestaca tipo 2 (sem camisa metálica)
8	19	Pieu ou micropieu injecté mode IGU (type III)	PIGU, MIGU	Estacas e microestaca injetadas de maneira global e unitária (tipo 3)
	20	Pieu ou micropieu injecté mode IRS (type IV)	PIRS, MIRS	Estacas e microestaca injetadas de maneira localizada (tipo 4)

Fonte: adaptado de AFNOR, 2012

2.2.2 Dimensionamento de estacas pelo Método Pressiométrico

São apresentados nesse tópico os procedimentos utilizados pela NF P 94-262/A1 para a estimativa da capacidade de carga de ponta e lateral de estacas a partir de ensaios PMT. Entretanto, é necessário introduzir primeiramente o conceito de altura de embutimento efetiva, que traz definições importantes utilizadas no processo de dimensionamento.

2.2.2.1 Altura de embutimento efetiva

A altura de embutimento efetiva (L_{ef}) é um parâmetro que pode ser obtido tanto a partir de resultados de ensaios pressiométricos (p_L) quanto penetrométricos (q_c). Para ensaios PMT, ela é caracterizada pela relação entre a integral dos valores de pressão limite líquida (p_L^*) ao longo de certo trecho do comprimento de uma estaca dividida pela pressão limite líquida equivalente (p_{Le}^*). A pressão limite líquida equivalente é um valor médio das pressões limites líquidas nos entornos da ponta dessa estaca.

As equações (2.5) e (2.6) apresentam, respectivamente, as equações que definem a altura de embutimento efetiva e a pressão limite líquida equivalente, definidas no anexo D da NF P 94-262/A1. A Figura 2.4 mostra a representação gráfica das integrais dessas equações, que podem ser entendidas como a área abaixo do gráfico *pressão limite líquida vs profundidade "z"*.

$$L_{ef} = \frac{1}{p_{Le}^*} \int_{L-h_D}^{L} p_L^*(z) \cdot dz \tag{2.5}$$

em que, $p_L^*(z)$: pressão limite líquida na cota z;

L: profundidade de embutimento da fundação

h_D: igual a $10 \cdot D$

p_{Le}^*: pressão limite líquida equivalente que é definida matematicamente pela equação (2.6).

$$p_{Le}^* = \frac{1}{3a+b} \int_{L-b}^{L+3a} p_L^*(z) \cdot dz \tag{2.6}$$

Sendo os parâmetros *a* e *b* apresentados abaixo:

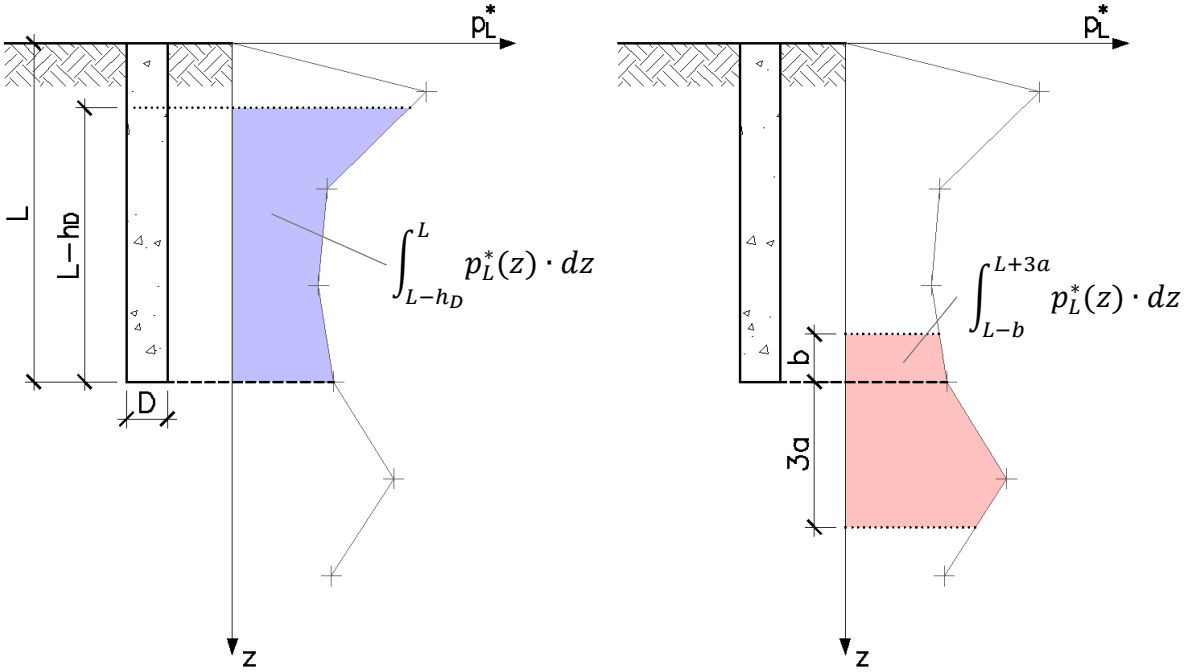
$$a = máx \left\{ \frac{D}{2}, 0{,}5m \right\} \tag{2.7}$$

$$b = mín \{a, h\} \tag{2.8}$$

em que, D: diâmetro da estaca;

h: comprimento da estaca na sua última camada de solo.

Figura 2.4 – Representação gráfica das integrais para cálculo da L_{ef}



Fonte: Do autor

O valor mínimo para a altura de embutimento efetiva é igual a $3 \cdot D$ ou 1,5 m, caso o diâmetro seja superior à 0,5 m.

Frank (1999) apresenta uma classificação para os diferentes tipos de fundações em função da relação L_e/D que ajudam a entender a influência da altura de embutimento efetiva no comportamento da fundação:

- $L_{ef}/D < 1{,}5$: A fundação é classificada como **rasa** e despreza-se, portanto, o efeito do atrito lateral no cálculo da capacidade de carga da fundação. A metodologia de cálculo apresentada adiante não é aplicável para esse tipo de fundação;
- $L_{ef}/D > 5{,}0$: A fundação é classificada como **profunda**, e a metodologia apresentada adiante aplica-se plenamente;
- $1{,}5 < L_{ef}/D < 5{,}0$: Se trata de uma fundação **semi-profunda**, em que se considera as reações laterais da fundação no cálculo da capacidade de carga, mas despreza-se a contribuição das camadas superficiais. Essa consideração é refletida em um fator apresentado no próximo tópico denominado k_p, que é utilizado no cálculo da capacidade de carga de ponta de estacas. (AFNOR, 2012)

2.2.2.2 Cálculo da capacidade de carga da ponta

O princípio geral para a estimativa da capacidade de carga de uma estaca é dado pela equação (2.9), a seguir:

$$R_b = A_b \cdot q_b \tag{2.9}$$

em que, R_b: capacidade de carga da ponta

A_b: área da base da fundação

q_b: tensão de ruptura do solo abaixo da base da fundação

O valor da tensão de ruptura do solo (q_b) abaixo da base da fundação é dado pela equação (2.10):

$$q_b = k_p \cdot p_{Le}^* \tag{2.10}$$

em que, p_{Le}^*: é a pressão limite líquida equivalente, definida pela equação (2.6)

k_p: fator de capacidade de carga do solo

Dependendo da relação entre a altura de embutimento efetiva e o diâmetro da estaca, o fator k_p é calculado ou pela equação (2.11) ou pela (2.12), sendo $k_{p,máx}$ obtido a partir da Tabela 2.2..

$$\text{Se } \mathrm{L_{ef}/D} > 5{,}0 : k_p = k_{p,máx} \tag{2.11}$$

$$\text{Se } \mathrm{L_{ef}/D} < 5{,}0 : k_p = 1 + \left(k_{p,máx} - 1\right) \cdot \left(\frac{\mathrm{L_{ef}}}{\mathrm{D}}\right) \cdot \left(\frac{1}{5}\right) \tag{2.12}$$

Tabela 2.2 – Valor de $k_{p,máx}$ em função do tipo de solo e do método de execução da estaca

Classe da estaca	**Argila (%$CaCO_3$ < 30%) Silte Solos intermediários**	**Areias Pedregulho Solos intermediários**	**Calcário**	**Marga Marga calcária**	**Rocha alterada ou fragmentada (a)**
1[(b)]	1,15	1,1	1,45	1,45	1,45
2	1,3	1,65	1,6	1,6	2
3	1,55	3,2	2,35	2,1	2,1
4	1,35	3,1	2,3	2,3	2,3
5	1	1,9	1,4	1,4	1,2
6	1,2	3,1	1,7	2,2	1,5

7	1	1	1	1	1,2
8[(b)]	1,15	1,1	1,45	1,45	1,45

(a): No caso de rochas sãs, deve-se avaliar a necessidade ou não do emprego dos métodos e teorias próprios da mecânica das rochas;

(b): Não se considera, normalmente, a resistência de ponta para estacas raiz.

Fonte: adaptado de AFNOR, 2012

As estacas metálicas tubulares de ponta aberta e as em perfil H alteram significativamente a região da ponta da fundação. Por essa razão, é necessário minorar a resistência do solo nessa zona. Assim, a seguinte equação é empregada no lugar da equação (2.9) para a estimativa da capacidade de carga da ponta para esses tipos de estaca (FRANK, 1999):

$$R_b = \rho_p \cdot A_b \cdot k_p \cdot p_{le}^* \tag{2.13}$$

em que, ρ_p é o coeficiente de redução, dado pela Tabela 2.3.

Tabela 2.3 - Coeficiente redutor para perfis metálicos de base aberta

Tipo de estaca	**Argila**	**Areia**
Tubular aberta	0,50	0,50
Perfil H	0,50	0,75

Fonte: adaptado de Frank, 1999

2.2.2.3 Cálculo da capacidade de carga lateral

A capacidade de carga lateral de uma estaca de seção constante ao longo do comprimento é dada pela equação (2.14), a seguir.

$$R_s = P_s \cdot \int_0^D q_s(z) \cdot dz \tag{2.14}$$

em que, R_s: capacidade de carga lateral da estaca

P_s: perímetro da seção transversal da estaca

$q_s(z)$: atrito lateral unitário na cota z obtido pela na equação (2.15).

$$q_s(z) = \alpha_{estaca-solo} \cdot f_{solo} \cdot p_L^*(z) \leq q_{s,máx} \quad (2.15)$$

em que, $\alpha_{estaca-solo}$: coeficiente que depende do processo executivo da estaca e do tipo de solo que a envolve e é dado pela Tabela 2.4.

f_{solo}: fator que depende do tipo de solo e dos seus valores de p_L^*

Tabela 2.4 - Valores de $\alpha_{estaca-solo}$ para cada tipo de solo

Categoria da estaca	Abreviação da terminologia francesa [(b)]	Argila (%$CaCO_3$ < 30%); Silte; Solos intermediários	Areias; Pedregulho; Solos intermediários	Calcário	Marga; Marga calcária	Rocha alterada ou fragmentada
1	FS	1,1	1,0	1,8	1,5	1,6
2	FB	1,25	1,4	1,8	1,5	1,6
3	FTP	0,7	0,6	0,5	0,9	-
4	FTR	1,25	1,4	1,7	1,4	-
5	FSR, FBR, PU	1,3	-	-	-	-
6	FTC, FTCD	1,5	1,8	2,1	1,6	1,6
7	VM	1,9	2,1	1,7	1,7	-
8	VT	0,6	0,6	1	0,7	-
9	BPF, BPR	1,1	1,4	1	0,9	-
10	BE	2	2,1	1,9	1,6	-
11	BM	1,2	1,4	2,1	1	-
12	BAF	0,8	1,2	0,4	0,9	-
13	BAO	1,2	0,7	0,5	1	1
14	HB	1,1	1	0,4	1	0,9
15	HBi	2,7	2,9	2,4	2,4	2,4
16	PP	0,9	0,8	0,4	1,2	1,2
17	M1[(a)]	-	-	-	-	-
18	M2[(a)]	-	-	-	-	-
19	PIGU, MIGU	2,7	2,9	2,4	2,4	2,4
20	PIRS, MIRS	3,4	3,8	3,1	3,1	3,1

(a): Para as estacas da categoria 17 e 18 considera-se valores de atrito lateral unitário de categorias cuja execução seja a mais próximas possível das estacas em questão em termos de tecnologia. (b) Ver simbologia na Tabela 2.1

Fonte: adaptado de AFNOR, 2012

O fator f_{solo} é um conjunto de funções do seguinte formato:

$$f_{solo} = (a \cdot p_L^* + b) \cdot \left(1 - e^{-c \cdot p_L^*}\right) \tag{2.16}$$

em que a pressão limite líquida (p_L^*) é inserida na equação em MPa e os parâmetros *a, b* e *c* são definidos de acordo com a Tabela 2.5.

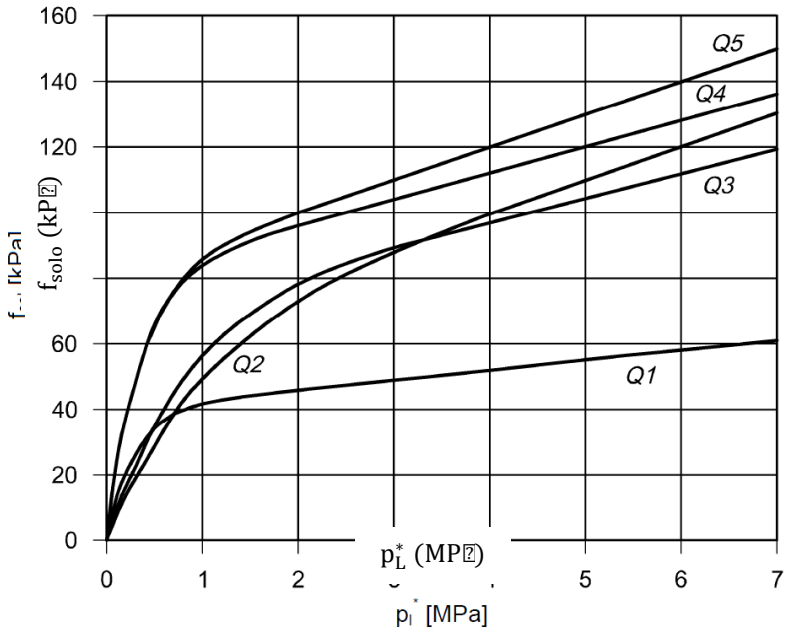
Tabela 2.5 - Parâmetros a, b e c para a estimativa do fator f_{solo}

Tipo de solo	**Argila (%$CaCO_3$ < 30%); Silte; Solos intermediários**	**Areias; Pedregulho; Solos intermediários**	**Calcário**	**Marga; Marga calcária**	**Rocha alterada ou fragmentada**
Curva	Q1	Q2	Q3	Q4	Q1
a	0,003	0,01	0,007	0,008	0,01
b	0,04	0,06	0,07	0,08	0,08
c	3,5	1,2	1,3	3	3

Fonte: adaptada de AFNOR, 2012

O valor do fator f_{solo} também pode ser obtido graficamente a partir da plotagem das funções da equação (2.16) em um diagrama $f_{solo} \times p_L^*$. Tais curvas são apresentadas na Figura 2.5 para os diferentes tipos de solo e encontram-se no Anexo F da NF P 94-262 (2012).

Figura 2.5 - Curvas f_{solo} para cada tipo de solo



Fonte: adaptado de AFNOR, 2012

Conforme está indicado na equação (2.15), o resultado obtido para o atrito lateral unitário não pode ser superior ao atrito lateral unitário máximo ($q_{s,máx}$). Caso o resultado da equação seja numericamente superior em alguma cota z, adota-se $q_{s,máx}$ como valor do atrito lateral unitário desse ponto. A Tabela 2.6 (AFNOR, 2012) fornece para cada categoria de estaca os valores de $q_{s,máx}$.

Tabela 2.6 - Valores de $q_{s,máx}$ (em kPa) em função do tipo de solo e procedimento executivo da fundação

Categoria da estaca	**Abreviação**	**Argila (%$CaCO_3$ < 30%); Silte**	**Solos intermediários**	**Areias; Pedregulho**	**Calcário**	**Marga; Marga calcária**	**Rocha alterada ou fragmentada**
1	FS	90	90	90	200	170	200
2	FB	90	90	90	200	170	200
3	FTP	50	50	50	50	90	-
4	FTR	90	90	90	170	170	-
5	FSR, FBR, PU	90	90			-	-
6	FTC, FTCD	90	90	170	200	200	200
7	VM	130	130	200	170	170	-
8	VT	50	50	90	90	90	-
9	BPF, BPR	130	130	130	90	90	-
10	BE	170	170	260	200	200	-
11	BM	90	90	130	260	200	-
12	BAF	90	90	90	50	90	-
13	BAO	90	90	50	50	90	90
14	HB	90	90	130	50	90	90
15	HBi	200	200	380	320	320	320
16	PP	90	90	50	50	90	90
17	M1	-	-	-	-	-	-
18	M2	-	-	-	-	-	-
19	PIGU, MIGU	200	200	380	320	320	320
20	PIRS, MIRS	200	200	440	440	440	500

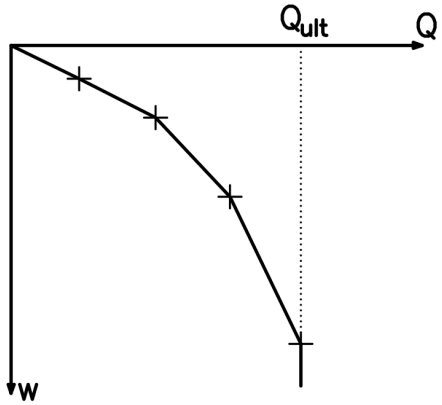
Fonte: adaptado de AFNOR, 2012

2.3 ESTIMATIVA RECALQUE

Quando submetidas a um carregamento, as estacas sofrem um deslocamento vertical devido à deformação do solo e ao encurtamento do fuste (VELLOSO; LOPES, 2011). A soma dessas duas parcelas de deslocamento é o que se denomina recalque e ele cresce gradativamente com o carregamento até o ponto de ruptura do solo.

A representação gráfica da progressão do recalque com o aumento da carga aplicada é denominada curva *carga-recalque*. A Figura 2.6 traz um exemplo típico dessa curva, onde *w* representa o recalque lido na cabeça da estaca e *Q* a carga aplicada. Na figura são apresentados os estágios crescentes de carregamento até chegar à ruptura do solo, bem como a progressão do recalque com esse aumento da carga.

Figura 2.6 – Curva *carga vs recalque* típica



Fonte: adaptado de Velloso, 2011

Com o comportamento dessa curva em mente, diversas metodologias de estimativa de recalque foram elaboradas, dentre as quais destacam-se duas:

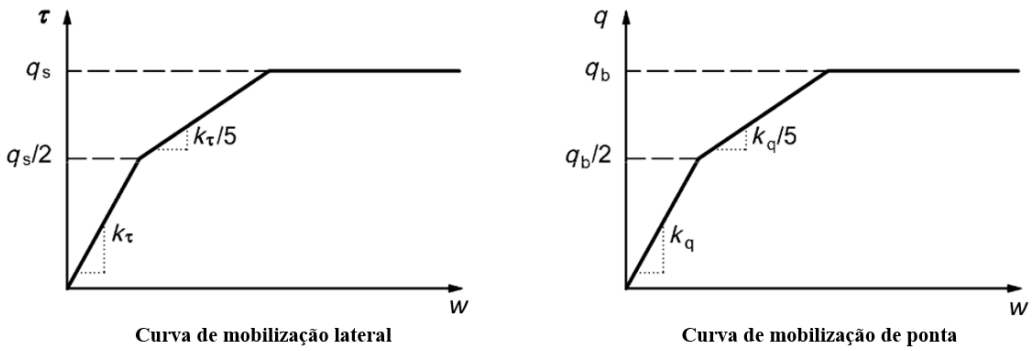
- As baseadas na **teoria da elasticidade**, que assumem que a curva *carga-recalque* se comporta de maneira elástica nas cargas de serviço das estacas. Assim, o recalque é estimado com base no Módulo de Elasticidade do solo. (Velloso, 2011)
- As denominadas **Métodos de Transferência de Carga**, que estimam curvas que relacionam as deformações de uma estaca isolada, tanto laterais (próximas à interface) quanto na base, com as tensões transferidas para o solo.

Dito isso, tem-se que o método preconizado pela norma francesa de fundações profundas é embasado na segunda vertente: o Método de Transferência de Carga.

2.3.1 Curvas de Mobilização

O recalque na cabeça de uma estaca pode ser calculado a partir de curvas de mobilização dos esforços laterais e de ponta das estacas em função do deslocamento vertical w. Um dos modelos de curvas mais importantes na literatura francesa é o modelo de Frank-Zhao (F-Z), apresentado na Figura 2.7. Ele permite a obtenção das curvas de mobilização a partir do módulo pressiométrico E_M e das tensões de ruptura de ponta q_b e lateral q_s. (AFNOR, 2012)

Figura 2.7 – Curvas de mobilização – Modelo Frank-Zhao



Fonte: adaptado de AFNOR, 2012

No modelo de Frank-Zhao tem-se que:

$$k_\tau = \frac{\alpha \cdot E_M}{D} \tag{2.17}$$

em que, $\alpha = 2{,}0$ Para solos finos

$\alpha = 0{,}8$ Para solos granulares

$$k_q = \frac{\beta \cdot E_M}{D} \tag{2.18}$$

em que, $\beta = 11{,}0$ Para solos finos

$\beta = 4{,}8$ Para solos granulares

onde D é o diâmetro da estaca.

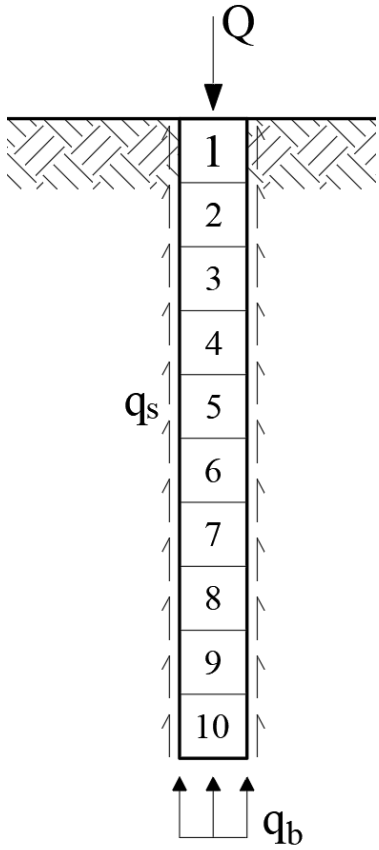
Segundo Frank (1999), o método traz estimativas satisfatórias para cargas iguais a até 70 % da carga última da estaca e foi calibrado para atender a esse domínio de cargas. Em relação às restrições quanto às dimensões das estacas, segundo Abchir *et al.* (2016), o modelo F-Z foi elaborado partindo de uma base de dados de estacas cujos diâmetros variavam de 170 mm a 2800 mm (grandes diâmetros) e comprimentos de 3 a 54 m. Apesar disso, a NF P 94-262 (AFNOR, 2012) o recomenda para estacas cujo diâmetro esteja compreendido entre 800 mm a 1200 mm.

2.3.2 Método de Transferência de Carga

Com as curvas de mobilização pode-se, então, construir o modelo da curva *carga-recalque* da estaca. Para tanto, é necessário construir um conjunto de pares ordenados *carga-recalque*. Para a obtenção de um ponto, pode-se seguir os seguintes passos (Briaud e Anderson, 1983):

1. Dividir a estaca em segmentos, conforme representado na Figura 2.8. É recomendada uma divisão em torno de 10 segmentos;
2. Adota-se um valor inicial para um deslocamento w_{base} na base da estaca (segmento 10);
3. A partir das curvas τ x w e q x w obtenha as tensões na base e na lateral do segmento;
4. Com as tensões aplicadas na base e na lateral, calcular a deformação elástica δ devido a compressão sobre o segmento;
5. Calcular o deslocamento w_{topo} no topo do segmento a partir da equação:
$$w_{topo} = w_{base} + \delta \quad (2.19)$$
6. Calcular, a partir do somatório de forças, a resultante no topo do segmento;
7. O deslocamento e a força resultante no topo do segmento 10 são iguais ao deslocamento e força aplicada na base do 9;
8. A partir da curva τ x w obtenha a tensão lateral do segmento;
9. Repita os passos 4 ao 8 para todos os segmentos até chegar ao segmento 1;
10. O deslocamento final no topo do segmento 1 será igual ao recalque no topo da estaca e a força resultante será igual à carga correspondente a esse recalque.

Figura 2.8 – Divisão em 10 segmentos



Fonte: Do autor

A partir desses passos, obtêm-se um par ordenado *carga-recalque*. Repetindo esse processo para mais pontos, é possível obter uma estimativa da curva *carga-recalque* da estaca (BRIAUD; ANDERSON, 1983). Com o uso de ferramentas de informática, é possível programar para que se encontre valor inicial do deslocamento na base do segmento 10 que tenha como saída uma carga desejada. Um exemplo disso é a ferramenta "Atingir Meta" do Microsoft Excel.

2.4 PROVAS DE CARGA – CAMPO EXPERIMENTAL EECA UFG

Ensaios de Provas de Carga Estáticas (PCEs) de estacas metálicas prensadas e de estacas de concreto realizadas por Galvani Junior (2020) no campo experimental da EECA-UFG são utilizados neste trabalho. Assim dentro deste item, são apresentados os resultados desses ensaios bem como a descrição do campo experimental onde eles foram realizados.

2.4.1 Descrição do Campo Experimental

O campo experimental da EECA-UFG situa-se na Avenida Universitária nº 1488, Quadra 86, Setor Leste Universitário, Goiânia – GO. As coordenadas geográficas do campo são 16°40'41" S e 49°14' 31" W (GALVANI JUNIOR, 2020).

Figura 2.9 – Campo Experimental EECA-UFG

Fonte: Galvani Júnior, 2020

Pela descrição táctil-visual, o solo desse local é composto por uma camada de seis metros de areia siltosa de coloração vermelha transacionando para um solo siltoso arenoso róseo a partir do sétimo metro de solo (MACHADO, 2020).

É apresentada na Tabela 2.7 a caracterização granulométrica do solo para cada metro do perfil, bem como o valor de N_{SPT} da camada, obtido na sondagem SPT (*Standard Penetration Test*). Pode-se notar que nos primeiros seis metros de solo trata-se de uma areia cuja compacidade varia de muito fofa a fofa, segundo a correlação entre compacidade de areais e N_{SPT} apresentada na Tabela 2.6 do livro Curso Básico de Mecânica dos Solo (SOUSA PINTO, 2006).

Tabela 2.7 - N_{SPT} e classificação do solo.

Trecho (m)	N_{SPT}	Classificação granulométrica sem defloculante / Classificação granulométrica com defloculante / Classificação MCT
0,30 - 0,75	03	Areia siltosa / Areia argilosa / LA'-LG'
1,00 - 1,45	01	Areia siltosa / Areia argilosa / LA'-LG'
2,00 - 2,45	01	Areia siltosa / Areia argilosa / LG'
3,00 - 3,45	02	Areia siltosa / Areia argilosa / LA'-LG'
4,00 - 4,45	06	Areia siltosa / Areia argilosa / LA'-LG'
5,00 - 5,45	08	Areia siltosa / Areia argilosa / LG'

Nota: LA' – Solo arenoso laterítico; LG' – Solo argiloso laterítico.

Fonte: Angelim, Nascimento e Sales, 2019

Foram também realizados ensaios pressiométricos Ménard (PMT) no campo experimental da EECA, sendo 4 sondagens PMT realizadas na estação seca e 3 sondagens PMT na chuvosa, por Machado (2020). A média dos resultados desses ensaios são apresentados na Tabela 2.8, sendo E_M o módulo pressiométrico médio e p_L a pressão limite média, das sondagens para cada estação.

Tabela 2.8 – Valores médios dos módulos pressiométrico e das pressões limites – EECA-UFG.

z (m)	Clima chuvoso		Média clima seco	
	E_M (MPa)	p_L (kPa)	E_M (MPa)	p_L (kPa)
0,5	3,03	235,88	11,01	803,33
1,5	1,34	115,84	9,29	390,27
2,5	1,29	107,32	7,24	355,03
3,5	2,18	133,62	10,40	418,63
4,5	6,47	317,49	11,67	665,48
5,5	7,60	381,83	7,40	409,48

Fonte: Adaptado Machado, 2020

2.4.2 Descrição das estacas utilizadas nas provas de carga

As características das estacas executadas para a execução das PCEs por Galvani Junior (2020) são apresentadas na Tabela 2.9. Em seu trabalho "foram executadas sete estacas metálicas tubulares prensadas (quatro de ponta fechada e três de ponta aberta) e quatro estacas de concreto (uma escavada e três prensadas e concretadas *in situ*)" (GALVANI JUNIOR, 2020).

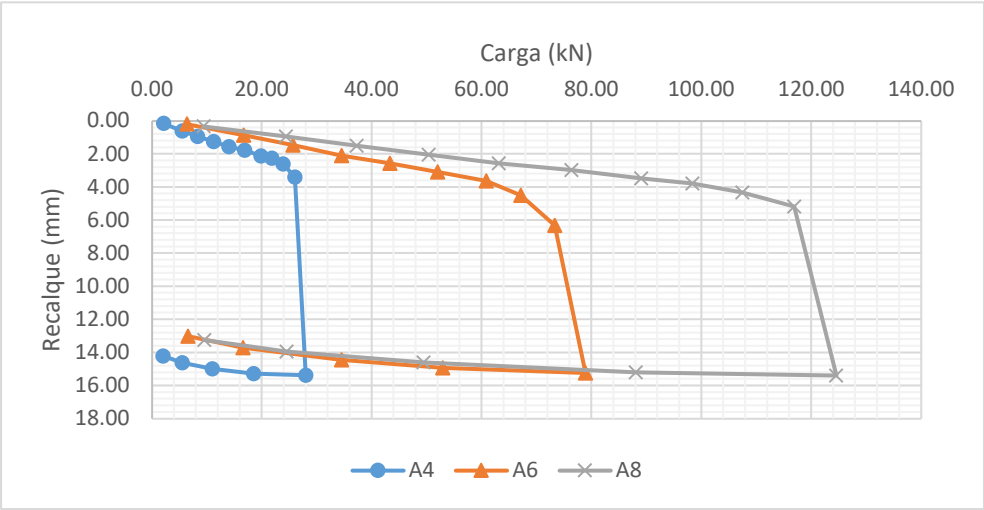
Tabela 2.9 – Características das provas de carga estáticas.

Denominação	Tipo	D_{ex} (mm)	e (mm)	Comprimento final (m)
A4	Estaca metálica tubular de ponta aberta	114,3	4,5	3,50
A6		165,1	5,0	
A8		219,1	6,3	
F4	Estaca metálica tubular de ponta fechada	114,3	4,5	
F6		165,1	5,0	
F8		219,1	6,3	
F6*		165,1	5,0	
C4	Estaca prensada e concretada *in situ*	114,3	-	
C6		165,1	-	
C8		219,1	-	
E8	Estaca escavada	260	-	

Fonte: Galvani Jr, 2020

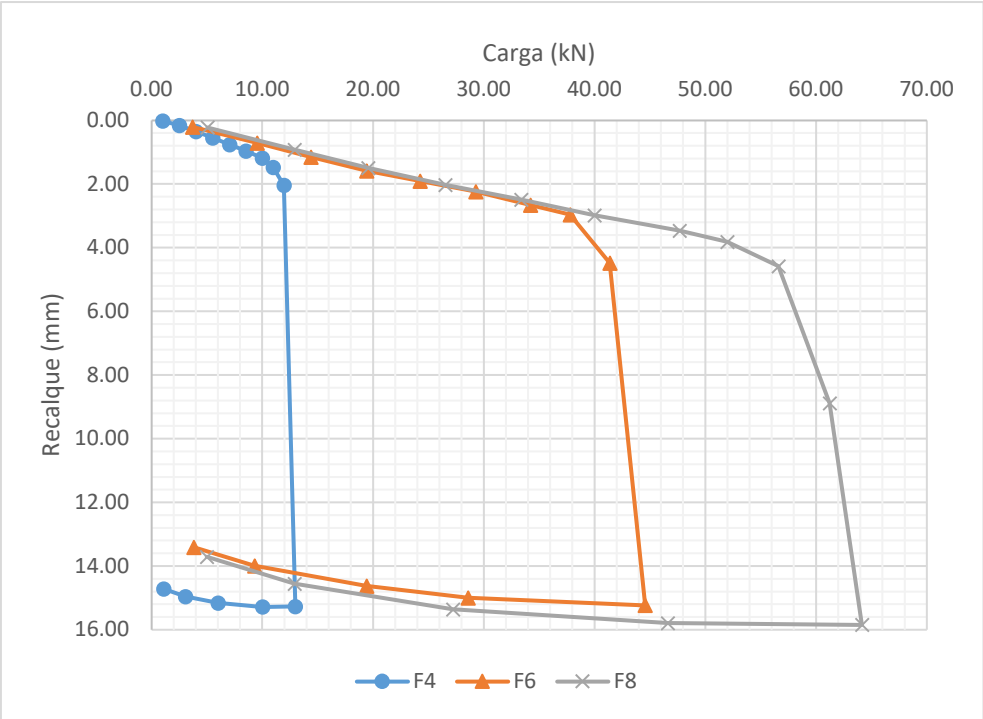
São apresentadas nas Figuras 2.10 a 2.13 os resultados das provas de carga, os quais foram agrupados segundo o tipo das estacas.

Figura 2.10 – Resultados PCE – Estacas Metálicas de Ponta Aberta



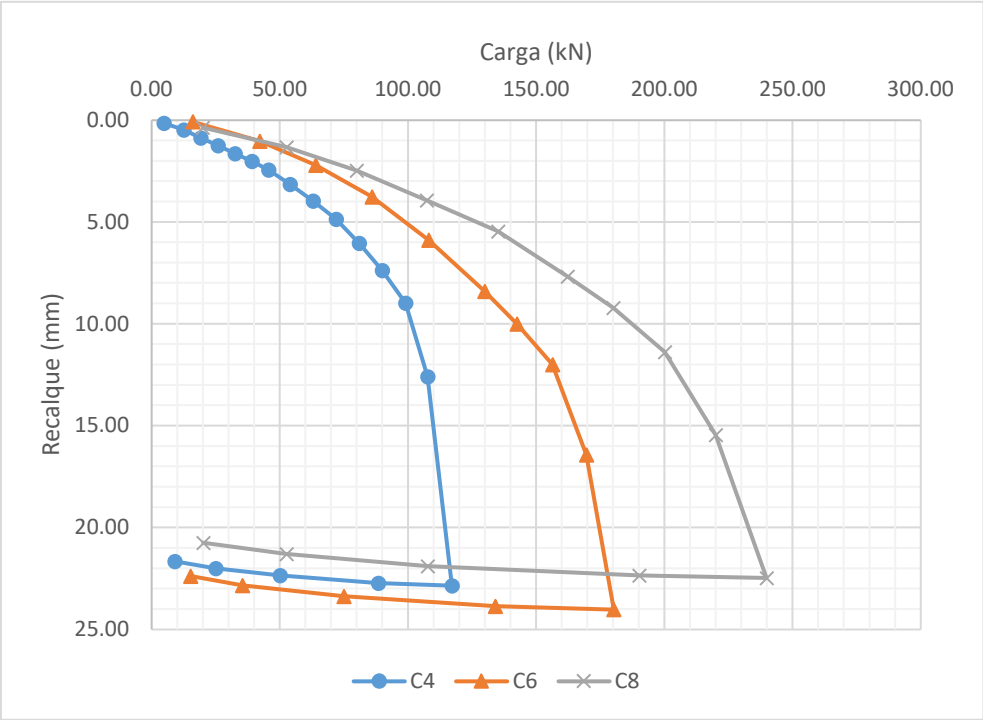
Fonte: Adaptado de Galvani Jr., 2020

Figura 2.11 – Resultados PCE – Estacas Metálicas de Ponta Fechada



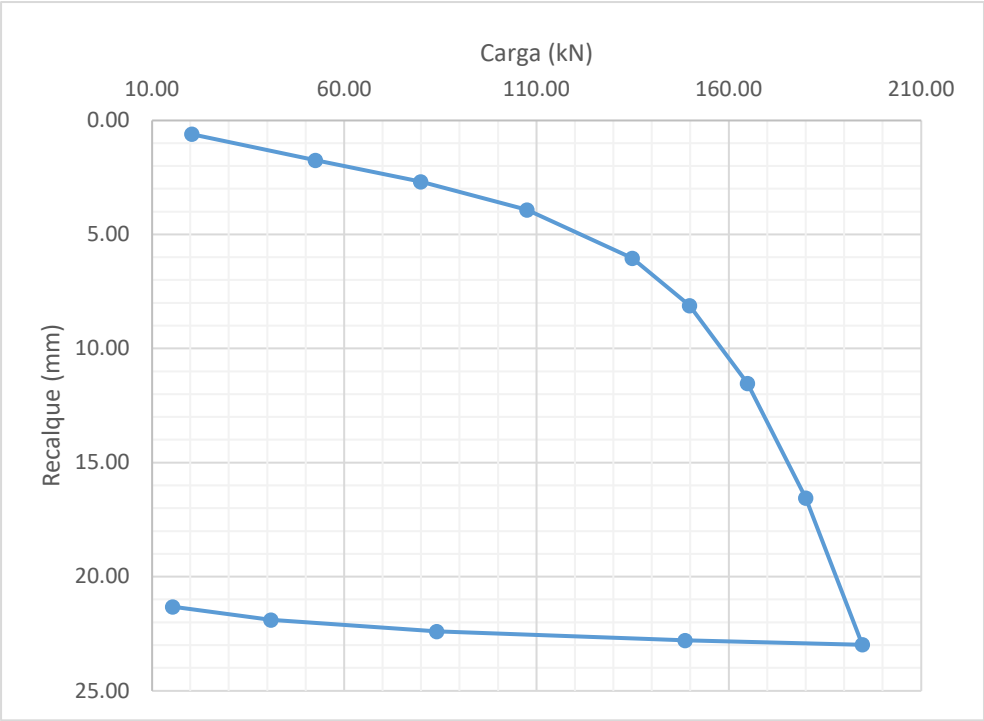
Fonte: Adaptado de Galvani Jr., 2020

Figura 2.12 – Resultados PCE – Estacas de Concreto Prensadas



Fonte: Adaptado de Galvani Jr., 2020

Figura 2.13 – Resultados PCE – Estaca de Concreto Escavada



Fonte: Adaptado de Galvani Jr., 2020

Vale notar que as PCEs em concreto e as em tubo metálico de ponta fechada foram instrumentadas. Assim, é possível obter as parcelas de ponta e lateral para as cargas de rupturas.

Desse modo, nas Tabelas de 10 a 13 são apresentadas para as estacas F4, F6, F8 e E8 as cargas aplicadas no topo das estacas (P), as lidas nas suas pontas (P_p) e as cargas transmitidas para o solo pela superfície lateral (P_l), obtidas pela diferença entre P e P_p. Conforme será explicado no Capítulo 3, não foram feitos estudos sobre as estacas de concreto do tipo prensada. Por essa razão não foram apresentados os resultados das parcelas de ponta e lateral dessas estacas.

Tabela 2.10 – Resultados PCE instrumentada – Estaca Ponta Fechada F4 com diâmetro de 114,3 mm.

P (kN)	P_p (kN)	P_l (kN)	ρ (mm)
0,00	0,00	0,00	0,00
1,01	0,29	0,72	0,02
2,51	1,45	1,07	0,16
4,00	2,73	1,28	0,35
5,51	3,93	1,58	0,55
7,04	5,05	1,98	0,76
8,50	6,17	2,34	0,96
9,99	7,28	2,70	1,18
10,98	7,98	3,00	1,47
11,95	8,82	3,14	2,04
12,97	9,74	3,22	15,27

Fonte: Adaptado de Galvani Jr., 2020

Tabela 2.11 – Resultados PCE instrumentada – Estaca Ponta Fechada F6 com diâmetro de 165,1 mm.

P (kN)	P_p (kN)	P_l (kN)	ρ (mm)
0,0	0,0	0,00	0,00
3,7	1,8	1,87	0,21
9,5	7,6	1,87	0,71
14,4	12,2	2,22	1,15
19,4	16,6	2,81	1,58
24,2	20,7	3,58	1,90
29,3	24,7	4,60	2,24
34,2	27,9	6,28	2,66
37,8	31,1	6,72	2,96
41,4	34,3	7,03	4,48
44,6	37,4	7,18	15,23

Fonte: Adaptado de Galvani Jr., 2020

Tabela 2.12 – Resultados PCE instrumentada – Estaca Ponta Fechada F8 com diâmetro de 219,1 mm.

P (kN)	P_p (kN)	P_l (kN)	ρ (mm)
0,0	0,0	0,00	0,00
5,1	2,6	2,44	0,22
12,9	11,9	1,03	0,92
19,6	18,5	1,05	1,50
26,5	24,8	1,74	2,03
33,4	31,2	2,16	2,49
40,0	37,0	3,00	2,99
47,7	45,4	2,29	3,47
52,0	49,0	3,01	3,82
56,6	52,8	3,83	4,58
61,2	56,1	5,16	8,88
64,1	58,3	5,81	15,84

Fonte: Adaptado de Galvani Jr., 2020

Tabela 2.13 – Resultados PCE instrumentada – Estaca escavada E8 com diâmetro de 260 mm.

P (kN)	P_p (kN)	P_l (kN)	ρ (mm)
0,00	0,00	0,00	0,00
20,37	2,03	18,34	0,60
52,48	3,55	48,93	1,74
79,93	4,28	75,65	2,68
107,48	5,10	102,38	3,92
134,93	6,79	128,14	6,04
149,76	8,51	141,25	8,12
164,88	11,95	152,92	11,52
179,96	18,63	161,33	16,54
194,69	29,99	164,70	22,98
148,65	25,64	123,01	22,79
84,03	16,67	67,37	22,40
40,98	8,44	32,53	21,89
15,38	3,14	12,24	21,31
0,00	-0,08	0,08	20,51

Nota: A linha em destaque corresponde ao ponto de ruptura do solo.

Fonte: Adaptado de Galvani Jr., 2020

3 MATERIAIS E MÉTODOS

O processo metodológico do presente trabalho divide-se nas seguintes etapas:

1) Estimativa da capacidade de carga das estacas metálicas e de concreto executadas no Campo Experimental da EECA-UFG;
2) Construção da curva *carga-recalque* dessas estacas segundo metodologia apresentada no item 2.3.

Para tanto, foram elaboradas planilhas de cálculo no *software* Microsoft Excel, sendo os resultados obtidos comparados com as curvas *carga-recalque* obtidas nos ensaios PCEs realizados por Galvani Junior (2020).

Os cálculos foram realizados com as seguintes considerações:

1) Peso específico médio do solo: $\boldsymbol{\gamma_{nat}}$ **= 16 kN/m³**, definido de acordo com os valores de peso específico determinados via poço de amostragem por Machado (2020);
2) Coeficiente de Empuxo do solo em repouso: $\boldsymbol{K_0}$ **= 0,50**, valor médio estimado segundo a "fórmula de Jaki"[1], considerando que o ângulo de atrito interno efetivo do solo geralmente é próximo de 30° (SOUSA PINTO, 2006);
3) Classificação do solo na lateral e na ponta da estaca: Areia (solo granular), segundo classificação granulométrica do solo apresentada na Tabela 2.7;
4) Módulo de elasticidade do concreto: $\boldsymbol{E_c}$ **= 25 GPa**;
5) Módulo de elasticidade do aço: $\boldsymbol{E_s}$ **= 200 GPa**.
6) Módulos pressiométricos e pressões limites do solo: adotados os **valores referentes ao período seco**, tendo em vista que as PCEs foram executadas durante o período seco por Galvani Junior (2020);

[1] Fórmula de Jaki: K0 = 1 – sen φ', sendo φ' o ângulo de atrtiro interno efetivo do solo, cujo valor é geralmente próximo de 30° (SOUSA PINTO, 2006).

Além disso, vale destacar que:

- As estacas metálicas, apesar de prensadas, foram calculadas como **estacas cravadas**, tendo em vista que nas tabelas da NF P 94-262/A1 (AFNOR, 2012) não estão compreendidas estacas prensadas;
- As estacas de concreto prensadas foram excluídas do estudo, pois o modo executivo utilizado não é contemplado na tabela da NF P 94-262/A1 (AFNOR, 2012).

Assim, foram realizados os cálculos da capacidade de carga para os seguintes grupos:

1) Estacas Metálicas Tubulares de Ponta Aberta (consideradas como estacas cravadas);
2) Estacas Metálicas Tubulares de Ponta Fechada (consideradas como estacas cravadas);
3) Estaca Escavada de Concreto.

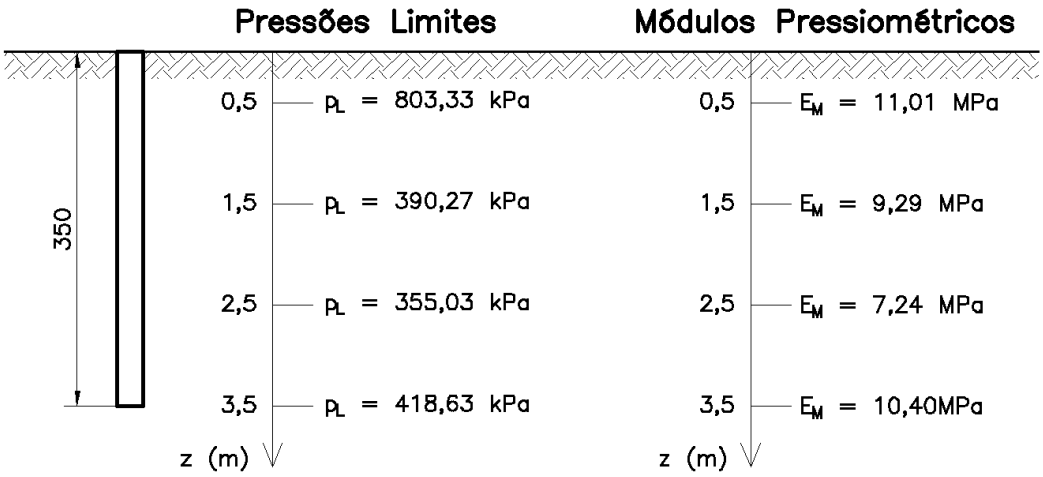
Vale notar que, dentre os três grupos estudados, a estaca de concreto é a única que se enquadra perfeitamente nas categorias apresentadas pela norma francesa (Tabela 2.1), já que nela não se encontra estacas do tipo prensada. Assim, foi feita para ela uma comparação entre a capacidade obtida pelo método francês com a obtida a partir do método Décourt-Quaresma, um dos métodos mais utilizados no Brasil para dimensionamento de estacas. Esse cálculo foi feito utilizando os valores N_{SPT} apresentados na Tabela 2.7 e **considerando os Fatores de Segurança do método iguais a 1,0**, de modo se obter a carga última do solo e não a de projeto.

Sabe-se que a previsão de recalque das estacas pelo método do capítulo 2.3 depende dos resultados do cálculo da capacidade de carga. Ao longo do desenvolvimento das estimativas das curvas *carga-recalque* das estacas metálicas, foram observados desvios exagerados que advieram de erros no cálculo da capacidade de carga e não do método de cálculo de recalque em si. Foram apresentadas, então, as previsões de recalque apenas para as estacas de cada grupo que apresentaram melhor nível de acerto em relação à capacidade de carga extraída das PCEs de Galvani Júnior (2020). Assim, a previsão de recalque foi feita para as seguintes estacas:

1) Estaca A4: Metálica de Ponta Aberta, diâmetro de 114,3 mm;
2) Estaca F6: Metálica de Ponta Fechada, diâmetro de 165,1 mm;
3) Estaca E8: Escavada de Concreto, diâmetro de 260 mm;

A Figura 3.1 apresenta um esquema resumindo as informações coletadas do solo a partir dos ensaios PMT realizados na estação seca:

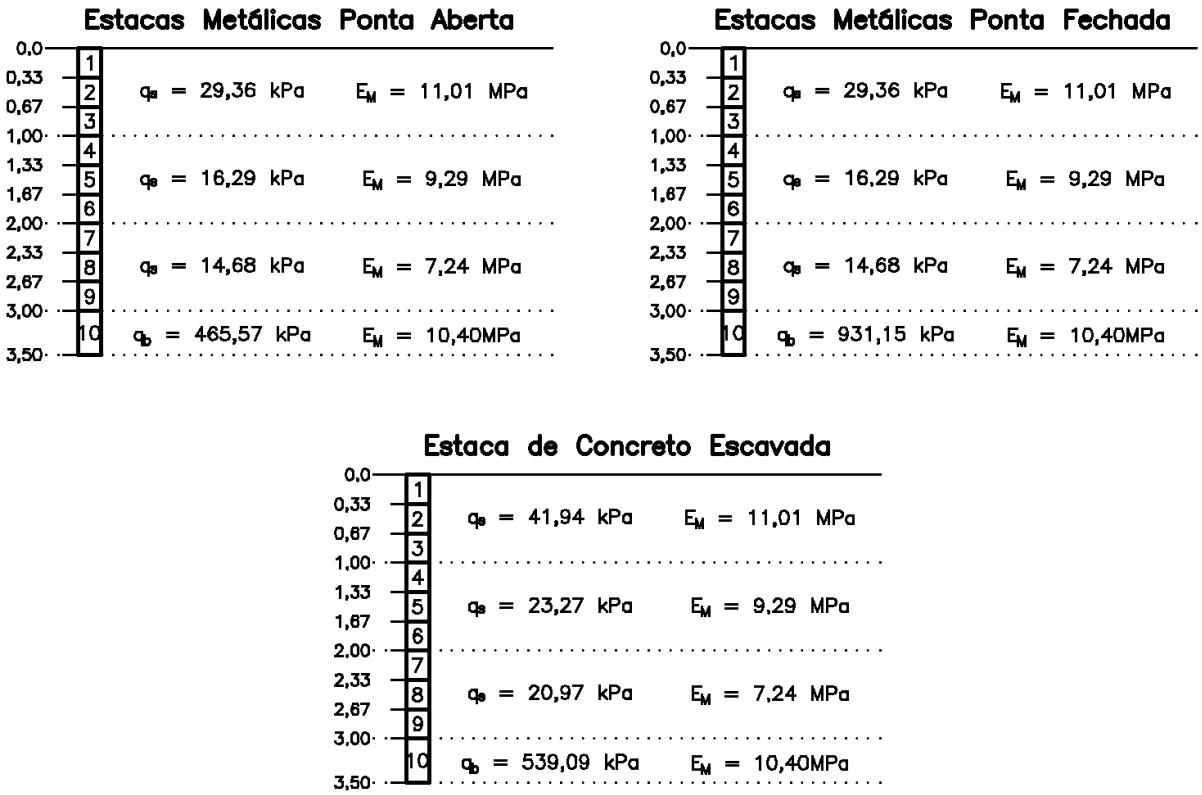
Figura 3.1– Resultados médios das sondagens pressiométricas na estação seca.



Fonte: Adaptado de Machado, 2020

Assim, para o cálculo do recalque previsto para cada grupo de estaca, foram elaborados os modelos apresentados na Figura 3.2, estabelecidos conforme a metodologia apresentada no item 2.3, sendo as estacas divididas em 10 segmentos. Os valores de q_s e q_b são calculados conforme os métodos apresentados no item 2.2.3 e encontram-se detalhados no Anexo A.

Figura 3.2 – Divisão das estacas em segmentos e valores de q_s e q_b para cada camada



Fonte: Do autor

4 RESULTADOS

Seguindo os métodos de cálculo apresentados no Capítulo 2 e partindo das premissas discutidas no Capítulo 3 , foram obtidos os resultados apresentados neste capítulo. O desenvolvimento dos cálculos está apresentado em detalhe nos Anexos A e B.

Vale ressaltar que as estacas estudadas no presente trabalho são classificadas como fundações do tipo **profundas**, segundo classificação apresentada no tópico 2.2.2.1 , já que as relações L_e/D variam de 7,29 a 8,02. Assim, a metodologia discorrida no capítulo 2.2 aplica-se plenamente, desprezando a influência das camadas superficiais na resistência de ponta. Em outras palavras, os cálculos foram feitos com os valores de k_p iguais ao $k_{p,máx}$ da Tabela 2.2, sem a necessidade da correção trazida pela equação (2.12).

4.1 ESTACAS METÁLICAS DE PONTA ABERTA

A Tabela 4.1 apresenta para as três estacas metálicas de ponta aberta a resistência de ponta (R_b), a resistência lateral (R_s) e a capacidade de carga total (R_{calc}), calculadas pelo método do item 2.2. São apresentadas, ainda, as capacidades de carga (R_{PCE}), obtidas a partir dos resultados de Galvani Junior (2020) para efeitos de comparação.

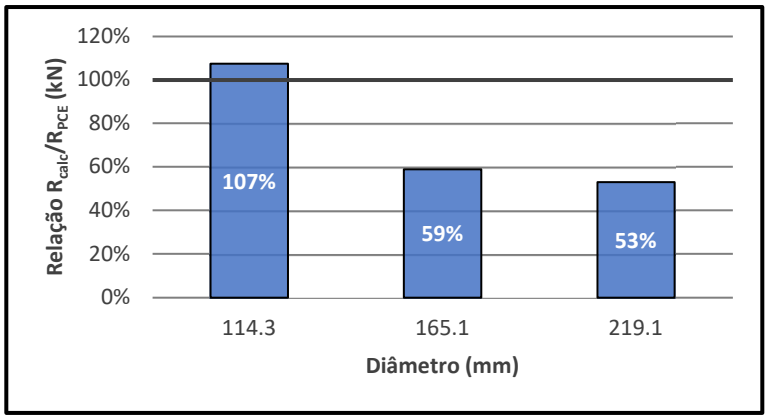
Tabela 4.1– Capacidades de carga calculadas para as estacas metálicas de ponta aberta prensadas.

Estaca	Diâmetro (mm)	R_b (kN)	R_s (kN)	R_{calc} (kN)	R_{PCE} (kN)
A4	114,3	4,78	25,27	30,05	27,99
A6	165,1	9,97	36,51	46,48	78,90
A8	219,1	17,55	48,45	66,00	124,54

Fonte: Do autor

Nota-se que foi obtido um bom resultado para o diâmetro 114,3 mm, porém o nível de acerto foi diminuindo conforme o diâmetro foi aumentando. A Figura 4.1 apresenta a variação da relação R_{calc}/R_{PCE} com o aumento do diâmetro.

Figura 4.1 - Variação da relação R_{calc}/R_{PCE} com o aumento do diâmetro – Estacas de Ponta Aberta

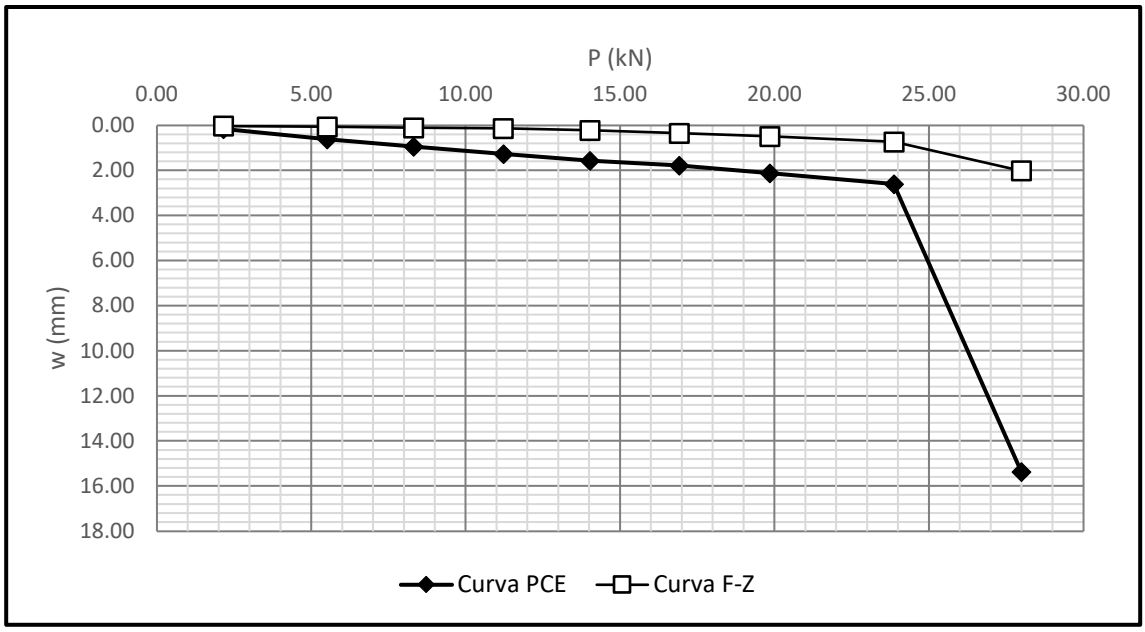


Fonte: Do autor

Um dos motivos para o desvio observado para as estacas A6 (D=165,1mm) e A8 (D=219,1mm) é o fato de o procedimento executivo das estacas metálicas não está compreendido na tabela de classificação da NF P 94-262/A1. Assim, os coeficientes que dependem do tipo de execução podem não ter sido representativos.

Como a estaca A4 foi a que apresentou uma relação R_{calc}/R_{PCE} mais próxima de 100%, os cálculos de estimativa de recalque foram apresentados para ela. Assim, a Figura 4.2 apresenta a Curva F-Z dessa estaca, obtida a partir da metodologia discorrida no item 2.3, e a sua comparação com a curva *carga-recalque* obtida na PCE de Galvani Junior (2020).

Figura 4.2 – Curva F-Z vs PCE para a estaca A4



Fonte: Do autor

Observa-se que as estimativas de recalque obtidas pelo modelo Frank-Zhao não se aproximaram muito dos resultados obtidos na prova de carga. Uma vez que o modelo descreveu um comportamento mais rígido do que foi observado ao longo da execução das provas de carga, conclui-se que os fatores das curvas de mobilização que dependem do tipo de solo podem não estar representando com fidelidade a situação de campo, uma vez que o método foi elaborado para um solo estruturalmente diferente do brasileiro. Além disso, vale citar o pequeno comprimento das estacas ensaiadas, que podem ter tido influência nesses erros também.

4.2 ESTACAS METÁLICAS DE PONTA FECHADA

A Tabela 4.2 apresenta para as três estacas metálicas de ponta fechada a resistência de ponta (R_b), a resistência lateral (R_s) e a capacidade de carga total (R_{calc}), calculada pelo método do item 2.2. São apresentadas, ainda, as capacidades de carga (R_{PCE}), obtidas a partir dos resultados de Galvani Junior (2020).

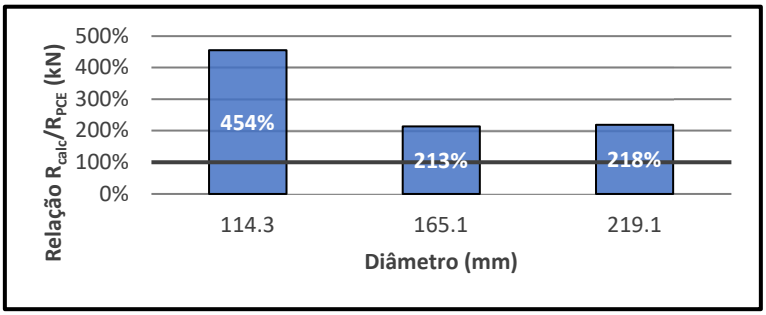
Tabela 4.2– Capacidades de carga calculadas para as estacas metálicas de ponta fechada prensadas.

Estaca	D (mm)	R_b (kN)	R_s (kN)	R_{calc} (kN)	R_{PCE} (kN)
F4	114,3	15,59	43,33	58,92	12,97
F6	165,1	32,52	62,58	95,10	44,55
F8	219,1	57,00	83,05	140,05	64,13

Fonte: Do autor

Analisando a Tabela 4.2, observou-se que as cargas de ruptura calculadas foram superestimadas pela metodologia francesa quando comparadas com os resultados da PCE. As diferenças entre os valores calculados e os obtidos na PCE diminuíram com o aumento dos diâmetros, conforme pode-se notar na Figura 4.3, a qual apresenta as relações R_{calc}/R_{PCE} das três estacas.

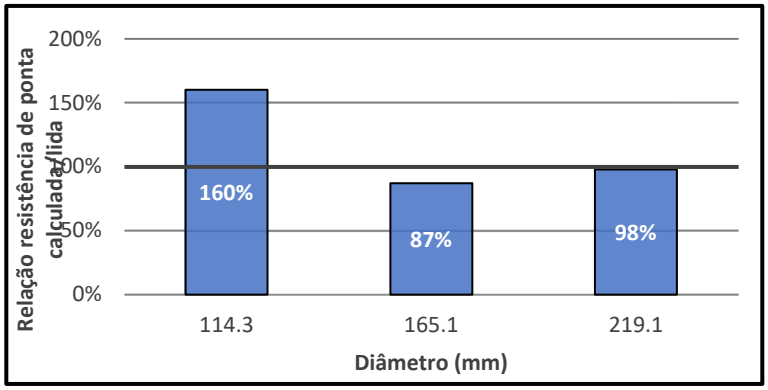
Figura 4.3 - Variação da relação R_{calc}/R_{PCE} com o aumento do diâmetro – Estacas de Ponta Fechada



Fonte: Do autor

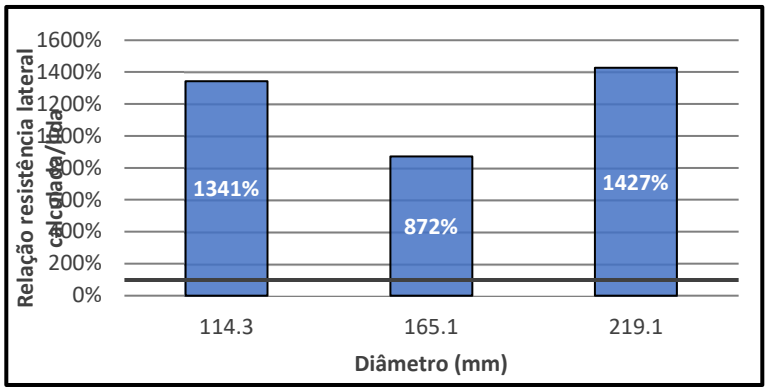
Além disso, tendo em vista que as estacas metálicas de ponta fechada foram instrumentadas, foi possível analisar a relação entre as parcelas de ponta (R_b) e lateral (R_s) na contribuição da capacidade de carga total da estaca. Assim, as Figuras 4.4 e 4.5 apresentam as relações entre os valores calculados e os obtidos nas PCEs para essas duas parcelas.

Figura 4.4 – Relação entre resistências de ponta calculadas e lidas – Estacas de Ponta Fechada



Fonte: Do autor

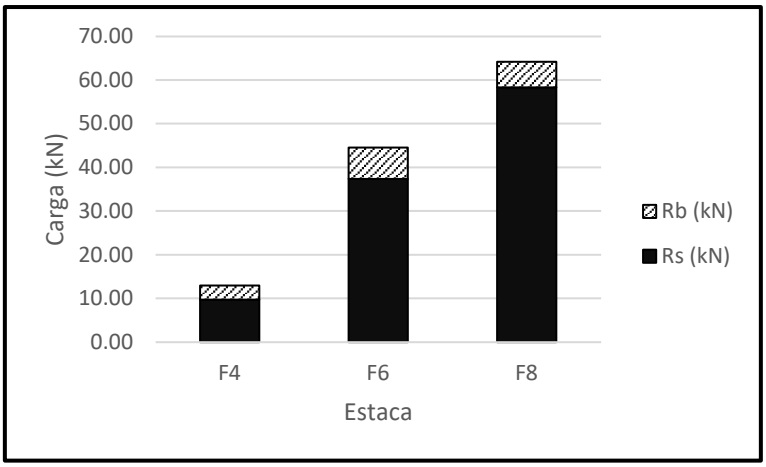
Figura 4.5 – Relação entre resistências laterais calculadas e lidas – Estacas de Ponta Fechada



Fonte: Do autor

Assim, fica evidente que as estimativas para a parcela de ponta da capacidade de carga foram estimadas com um bom grau de acerto, ao passo que a parcela lateral foi extremamente superestimada. Vale notar, que a contribuição da parcela lateral foi consideravelmente maior na composição total da capacidade de carga que a parcela de ponta, conforme pode-se observar na Figura 4.6. Assim, conclui-se que os desvios observados na Tabela 4.2 e na Figura 4.3 advém praticamente do erro na estimativa da capacidade de carga lateral do solo.

Figura 4.6 – Comparação das parcelas de ponta e lateral (calculadas) – Estacas de Ponta Fechada



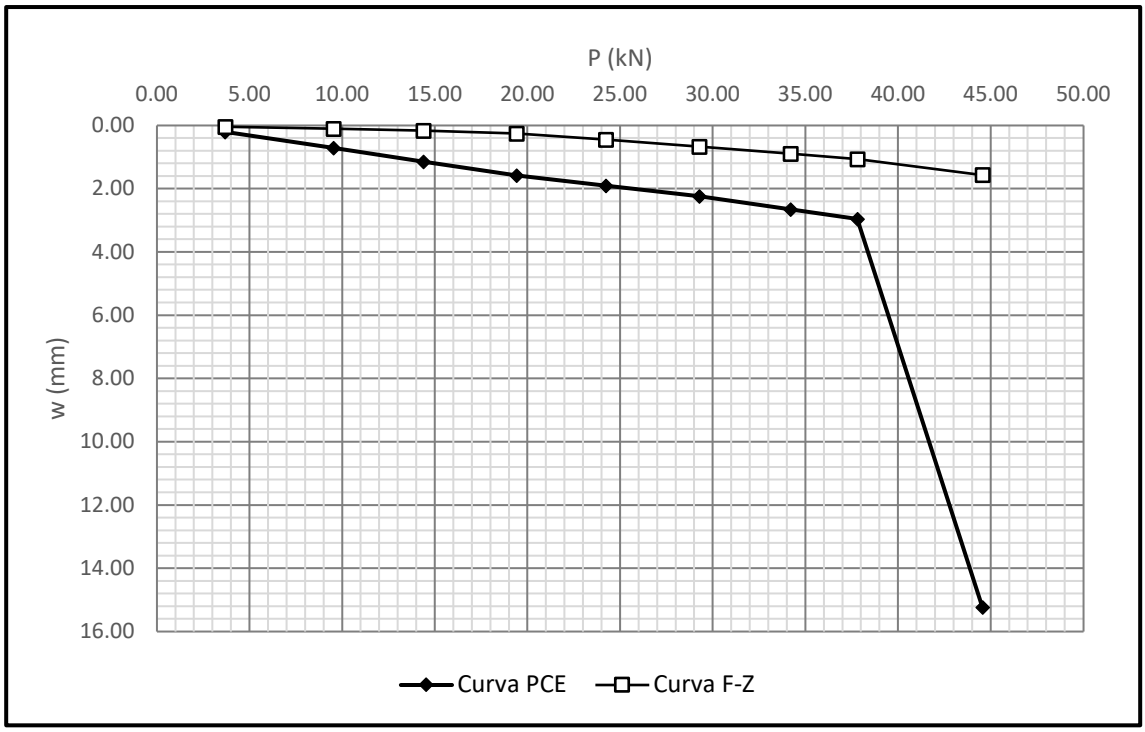
Fonte: Do autor

Um dos motivos para as diferenças apresentadas entre as resistências laterais últimas calculadas em relação às lidas é o fato de o procedimento executivo desse grupo de estacas não estar contemplado na norma NF P 94-262/A1, análogo ao que foi discutido para as estacas de ponta aberta no capítulo 4.1.

Além disso, vale lembrar que existem diferenças entre o solo encontrado no Brasil e o encontrado na França. Segundo Machado (2020), o solo da região do campo experimental é composto basicamente por solo laterítico, o qual é típico de locais de clima quente e com regime de chuvas moderadas a intensas. Assim, esses solos apresentam-se, geralmente, não saturados e com elevado índice de vazios, o que implica em uma capacidade de suporte baixa (SOUSA PINTO, 2006). Assim, como o método trazido pela NF P 94-262/A1 foi desenvolvido para solos de clima temperado, os coeficientes que dependem do tipo de solo podem não ter retratado fielmente a realidade de campo.

Como a estaca F6 foi a que apresentou uma relação R_{calc}/R_{PCE} mais próxima de 100%, os cálculos de estimativa de recalque foram feitos para ela. Assim, a Figura 4.7 apresenta a Curva F-Z dessa estaca, obtida a partir da metodologia discorrida na seção 2.3, e a sua comparação com a curva *carga-recalque* obtida na PCE de Galvani Junior (2020).

Figura 4.7 – Curva F-Z vs PCE para a estaca F6



Fonte: Do autor

Observou-se que as estimativas de recalque obtidas pelo modelo Frank-Zhao não se aproximaram muito dos resultados obtidos na prova de carga e que a diferença cresceu conforme aumentou-se o carregamento. Acredita-se que o motivo para esse comportamento esteja ligado às diferenças estruturais entre o solo brasileiro e o francês, conforme foi discutido anteriormente.

Além disso, no modelo de Frank-Zhao, a carga de ruptura é maior do que a encontrada na prova de carga. Assim, percebeu-se no gráfico que, enquanto a curva da PCE já sinaliza ruptura do solo na carga 44,55 kN, a curva F-Z ainda está na metade do seu desenvolvimento nessa mesma carga.

4.3 ESTACA ESCAVADA DE CONCRETO

A Tabela 4.3 apresenta para a estaca de concreto a capacidade de carga total (R), suas parcelas lateral (R_s) e de ponta (R_b), calculadas pelos métodos do item 2.2, e a capacidade de carga (R_{PCE}) obtida a partir dos resultados da estação seca de Galvani Junior (2020). Também é apresentado o valor da carga última do solo obtida pelo método de Décourt-Quaresma (R_{DQ}), calculada seguindo as premissas estabelecidas no Capítulo 3 .

Tabela 4.3 – Capacidades de carga calculadas para as Estaca Escavada de Concreto

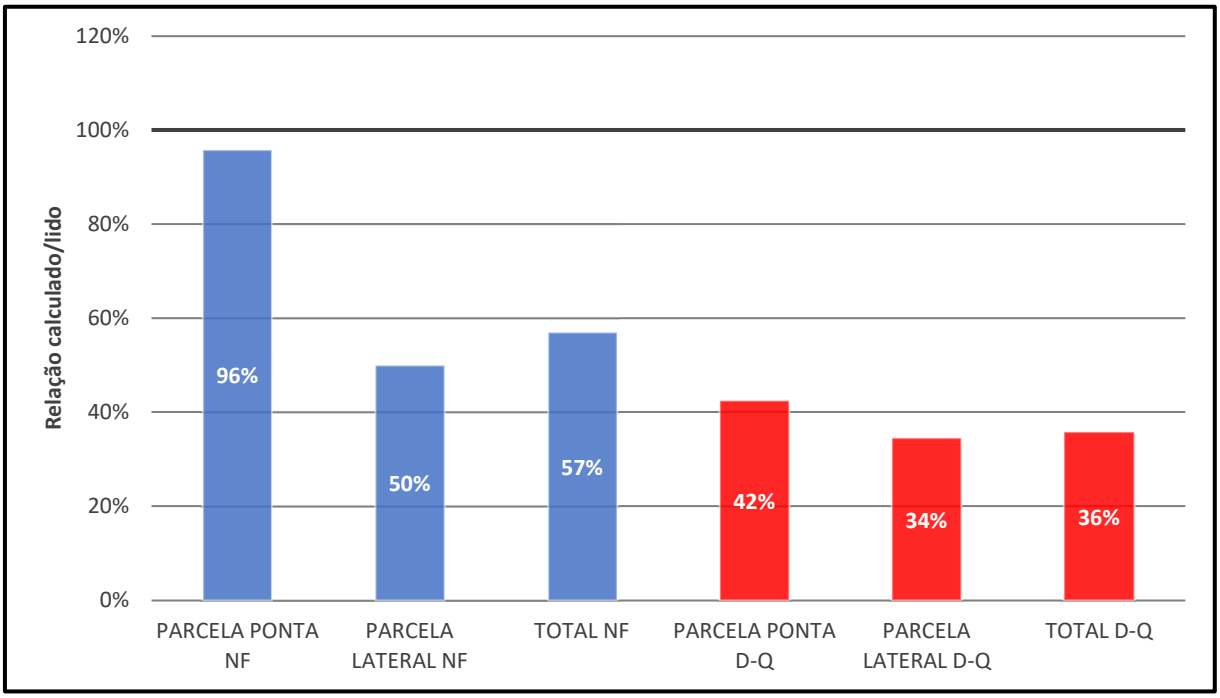
Estaca	Diâmetro (mm)	R_{calc} (kN)	R_{DQ} (kN)	R_{PCE} (kN)
E8	260,0	110,75	69,34	194,69

Fonte: Do autor

Percebe-se a partir desses resultados que a previsão obtida com o método da norma francesa foi mais assertiva que a de Décourt-Quaresma.

Além disso, vale notar que, assim como nas estacas metálicas de ponta fechada, a estaca escavada de concreto também foi instrumentada, tornando possível a análise da relação entre as parcelas de ponta (R_b) e lateral (R_s) na contribuição da capacidade total da estaca. Assim, a Figura 4.8 apresenta a relação entre os valores calculados e os obtidos na PCE instrumentada dessas parcelas e da carga última do solo, bem como essas relações calculada pelo método de Décourt-Quaresma.

Figura 4.8 – Relações calculadas/lidas para a estaca E8



Nota: NF – Norma Francesa; DQ – Décourt-Quaresma

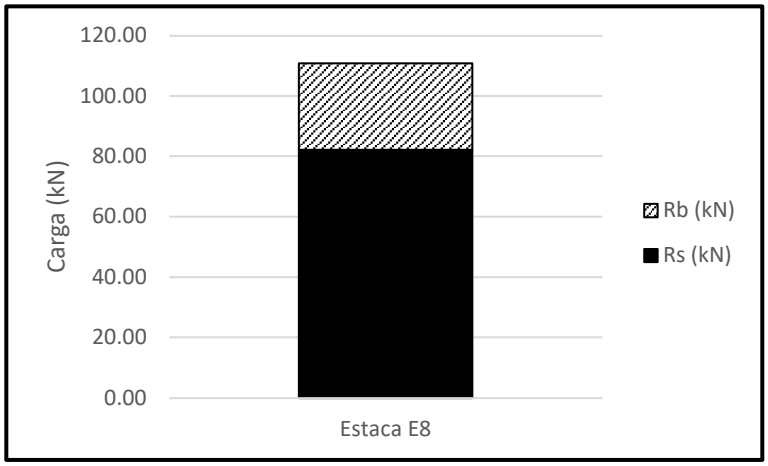
Fonte: Do autor

Observa-se a partir desses resultados que a parcela de ponta calculada se aproxima bastante da extraída da PCE instrumentada, ao passo que a capacidade de carga lateral foi subestimada. No

entanto, observa-se que para ambas as parcelas o método da norma francesa foi novamente mais preciso que o de Décourt-Quaresma.

A contribuição da parcela lateral é bem maior do que a de ponta na composição no cálculo da estimativa da carga última dessa estaca (ver Figura 4.9). Assim, pode-se dizer que o erro observado no cálculo da capacidade total da estaca adveio do erro no cálculo da parcela lateral, que foi de cerca de 50% em relação ao que foi lido na PCE.

Figura 4.9 – Comparação das parcelas de ponta e lateral (calculados) para a Estaca E8



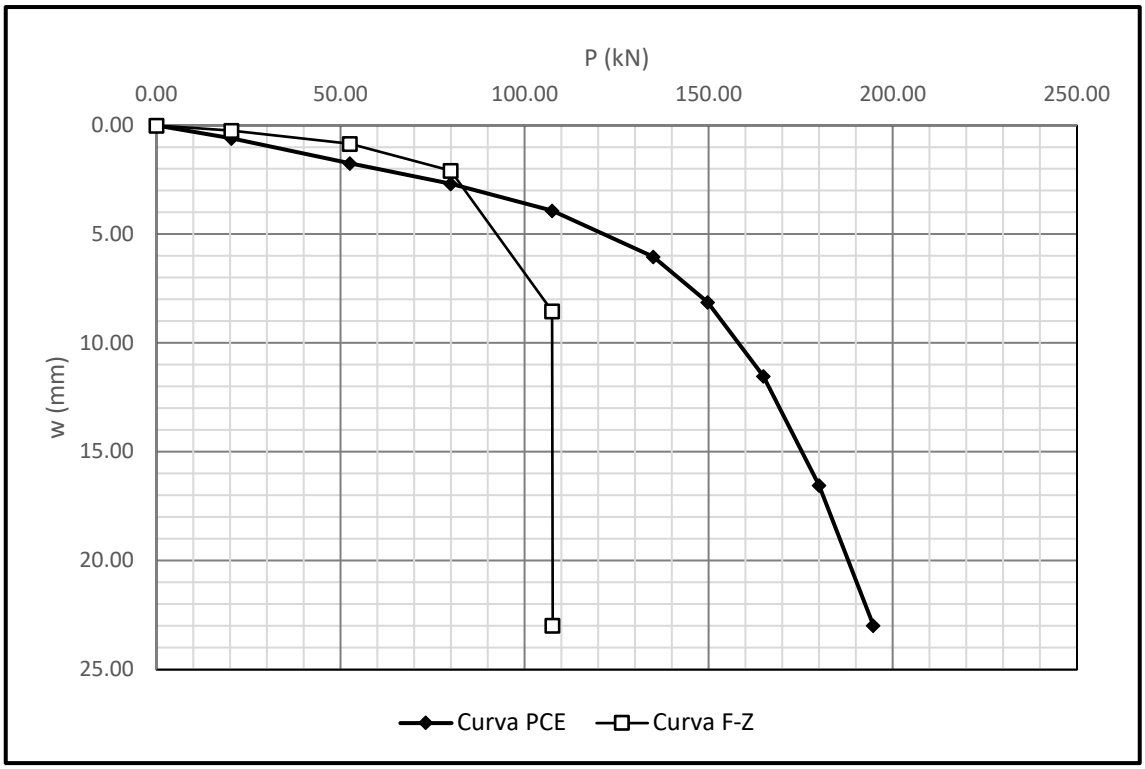
Fonte: Do autor

O principal motivo para a diferença observada entre a capacidade de carga lateral calculada e a lida é a diferença estrutural entre o solo tropical brasileiro e o solo de clima temperado da França. Assim, os fatores que dependem do tipo de solo podem não ter sido representativos do solo onde foram realizadas as PCEs.

Quando se pensa no ajuste dos métodos apresentados no capítulo 2.2 para o cálculo da capacidade de carga para estacas escavadas de concreto, espera-se que as correções sejam feitas sobre os coeficientes que dependem do tipo de solo, em especial os fatores k_p e $\alpha_{estaca\text{-}solo}$.

A Figura 4.10 apresenta a Curva F-Z da estaca E8 e a sua comparação com a curva *carga-recalque* obtida na PCE de Galvani Junior (2020).

Figura 4.10 – Curva F-Z vs PCE para estaca E8



Fonte: Do autor

Diferentemente do caso das estacas metálicas, percebe-se que na estaca escavada de concreto os resultados já são mais satisfatórios, demonstrando que o método executivo deve estar condizente com os tipos propostos pela norma francesa para se estabelecer uma adequada comparação. No trecho inicial, nota-se que os resultados se aproximam bastante dos obtidos a partir da PCE.

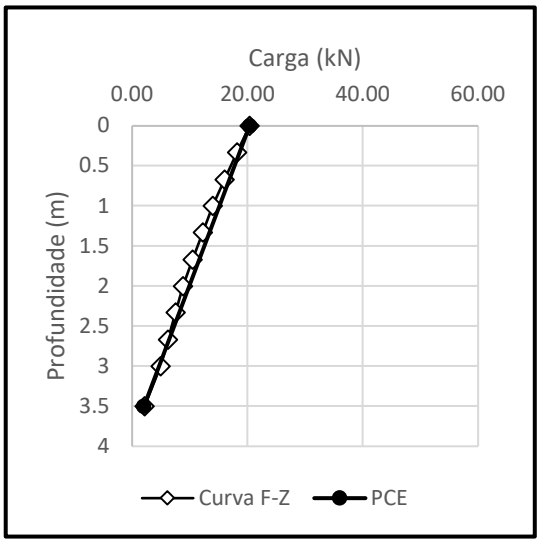
Segundo Frank (1999), o modelo Frank-Zhao apresenta bons resultados para cargas de até 70% da carga fluência, que por sua vez corresponde à aproximadamente 67% da carga de ruptura do solo. Assim, pode-se perceber que os resultados se aproximam dessa proposição, já que se nota bom nível de acerto dos recalques previstos para cargas de até 75% da carga de ruptura calculada (aproximadamente 80,0 kN).

Um outro resultado interessante fornecido pelo Método de Transferência de Carga é a distribuição de carga ao longo do comprimento. Como a curva *carga-recalque* do modelo F-Z se aproximou da curva da PCE nas cargas de serviço, é interessante a investigação dessa informação nessa região, bem como na iminência de ruptura.

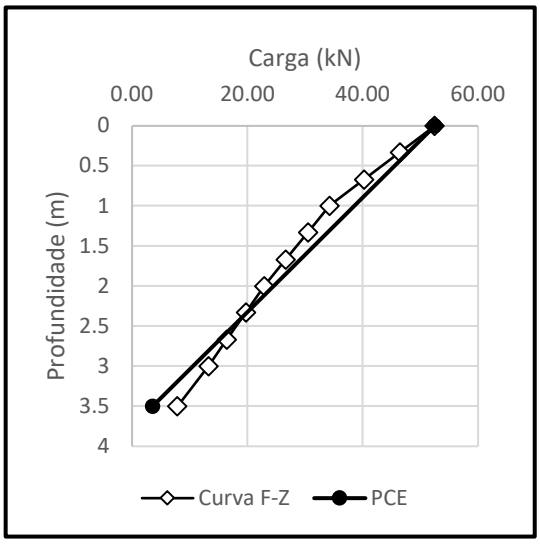
Assim, foi feita a comparação entre as curvas de distribuição de carga do modelo F-Z com as construídas a partir da PCE instrumentada. Uma vez que a estaca E8 foi instrumentada apenas na ponta (GALVANI JUNIOR, 2020), as suas curvas foram construídas apenas por dois pontos, sendo o primeiro o da carga na sua ponta e o segundo o da carga aplicada no topo.

Assim, a Figura 4.11 apresenta essa distribuição para os três pontos iniciais de carregamento e uma comparação entre a carga de ruptura calculada e a lida na PCE.

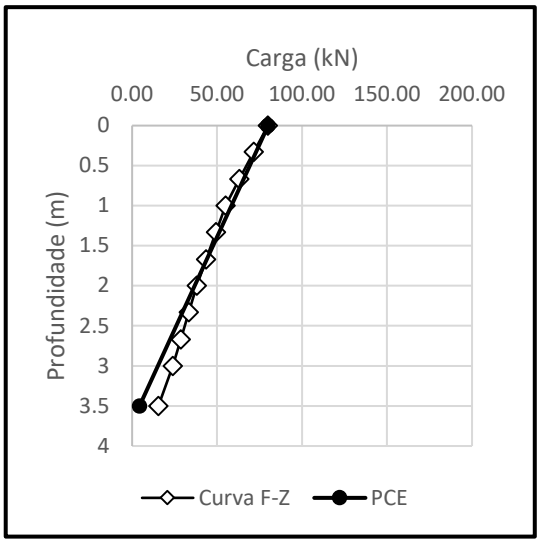
Figura 4.11 – Distribuição de carga ao longo do comprimento sendo a) carga no topo de 20,37 kN; b) carga no topo de 52,48 kN; c) carga no topo de 79,93 kN; d) carga de ruptura calculada x carga de ruptura PCE



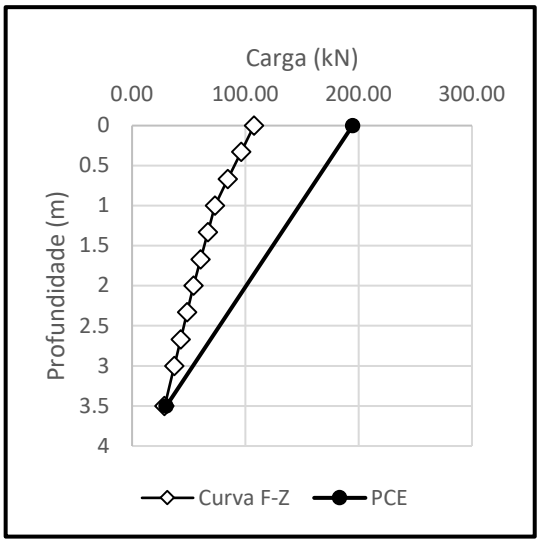
a) ≈ 10% da Carga Ruptura PCE



b) ≈ 25% da Carga Ruptura PCE



c) ≈ 40% da Carga Ruptura PCE



d) 100 % da Carga Ruptura PCE

Fonte: Do autor

Pode-se notar que a curva de distribuição de carga ao longo do comprimento obtida pelo Método de Transferência de carga da norma francesa caminhou muito próxima à construída com os resultados da PCE para carregamentos de até 40% da carga de ruptura da prova de carga. Na ruptura, no entanto, embora a carga da ponta tenha se mantido praticamente idêntica à da PCE, as curvas se distanciam conforme se aumenta a contribuição da parcela da carga lateral devida à mobilização do atrito com solo na zona de interface com a estaca.

Assim, quando se pensa no ajuste do modelo F-Z para aplicação em solos tropicais, tem-se que os fatores α e β das equações (2.17) e (2.18) merecem uma atenção especial, tendo em vista que estes dois fatores que refletem a influência do tipo de solo na aplicação do método. No entanto, também pode-se esperar ajustes no formato das curvas de mobilização em si, ajustando parâmetros como as equações que definem as inclinações das retas e os pontos de alteração de inclinação, os quais no modelo F-Z são os pontos de tensões $q_s/2$ e $q_b/2$.

5 CONCLUSÃO

A partir dos resultados obtidos, conclui-se que as previsões para a capacidade de carga da estaca escavada de concreto foram parcialmente satisfatórias. Apesar da parcela lateral divergir do que foi obtido na PCE, a previsão para a parcela de ponta foi bastante precisa, com um desvio de apenas 4% em relação ao que foi lido na prova de carga. Portanto, concluiu-se que as maiores divergências se encontram no cálculo da capacidade de carga lateral, que foi subestimada em cerca de 50% pelo método da norma francesa.

Quando se compara o método da norma francesa com o método de Décourt-Quaresma, já consolidado no Brasil, percebe-se que a previsão da norma foi melhor que a previsão feita a partir do método de Décourt-Quaresma. Enquanto a norma francesa obteve uma previsão cujo valor corresponde a 57% da capacidade de carga da PCE, o método de Décourt-Quaresma chegou a um valor que corresponde a 36%.

Além disso, pode-se afirmar que a previsão da curva *carga-recalque* da estaca de concreto também apresentou resultados satisfatórios. Para as cargas de até 75% da carga última calculada, as previsões de recalque feitas pelo modelo de Frank-Zhao foram bem próximas das lidas na PCE.

No caso das estacas metálicas de ponta aberta, pode-se dizer que os resultados não foram satisfatórios. Com exceção da estaca A4, cuja razão entre carga última calculada e lida foi de 107%, as outras estacas apresentaram estimativas de cargas de ruptura subestimadas, com erros que variaram de 40% a 50% em relação a carga última da PCE. Além disso, na estimativa da curva *carga-recalque*, percebeu-se que os valores calculados pelo modelo Frank-Zhao foram subestimados.

Já para as estacas metálicas de ponta fechada, as estimativas de cargas últimas foram superestimadas, com valores em torno de 200% a 450% dos valores extraído da PCE. Entretanto, notou-se que as previsões das parcelas de ponta foram assertivas para as estacas F6 (D=165,1mm) e F8 (D=219,1mm), cujas razões entre resistências de ponta calculadas e lidas foram de 87% e 98%, respectivamente. Já para a estaca F4 (D=114,3mm), essa previsão não foi tão boa, com valores na ordem de 160% da carga de ponta da PCE. Percebe-se, assim, que

as previsões da carga de ruptura da ponta melhoraram conforme se aumentou o diâmetro das estacas.

Em relação às estimativas das resistências laterais, vale a pena comentar alguns dos motivos que podem ter influenciado nas superestimações constatadas (suas relações com os valores da PCE variam de 870% a 1400%). Primeiramente, vale lembrar que as estacas metálicas prensadas foram calculadas como "estacas cravadas". Logo, os coeficientes que dependem do procedimento de execução não foram completamente fiéis à situação de campo.

Além disso, vale ressaltar que é necessário considerar as diferenças no comportamento do solo tropical em relação ao de países de clima temperado. Isso porque os coeficientes apresentados na norma francesa, que variam de acordo com o tipo de solo, não correspondem à realidade brasileira.

Conclui-se, então, que os resultados encontrados para as estacas metálicas de ponta fechada e para a estaca escavada de concreto foram animadores. Assim, tudo indica que vale a pena ampliar esse estudo para diâmetros e comprimentos maiores, bem como para outros processos executivos contemplados pela norma francesa que são utilizados com frequência no Brasil.

É importante se lembrar que o estudo em questão foi realizado em um período de estação seca. Contudo, seria interessante se avaliar resultados em outras estações. Assim sendo, vale ressaltar que o campo experimental da EECA/UFG tem farta quantidade de dados de investigação geotécnica e principalmente sondagens pressiométricas. Conta, ainda, com a realização de PCEs na estação chuvosa, tendo assim a possibilidade de avaliar a influência do clima na determinação da capacidade de carga e de outros estudos relacionados ao tema.

REFERÊNCIAS

ABCHIR, Z.; BURLON, S.; FRANK, R.; HABERT, J.; LEGRAND, S. **t–z curves for piles from pressuremeter test results**. Géotechnique 66, No. 2, 137–148. Institution of Civil Engineers. Publicação Online, 2016.

ANGELIM, R. R.; NASCIMENTO, B. B.; SALES, M. M. **Comparação de Provas de Carga Estáticas em Estacas Tubulares Metálicas de Ponta Aberta e Fechada Macaqueadas em um Solo Tropical de Goiânia-GO.** 9º Seminário de Engenharia de Fundações Especiais e Geotecnia. São Paulo, 2019.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 6122: Projeto e Execução de Fundações**. Rio de Janeiro: ABNT, 2019.

Association Française de Normalisation. **NF P 94-262 : Justification des ouvrages géotechniques - Normes d'application nationale de l'Eurocode 7 - Fondations profondes - Amendement 1**. La Plaine Saint-Denis, France : AFNOR, 2012.

_____. **NF P 94-110-1: Essai pressiométrique Ménard.** La Plaine Saint-Denis, France : AFNOR, 2000.

BRIAUD, J. L.; ANDERSON, J. The **Pressuremeter and the Design of Highway Related Foundations Research Study 2-5-83-340.** Texas Transportation Institute The Texas A&M University System College Station. Texas, 1983.

FRANK, R. **Calcul des fondations superficielles et profondes.** Techniques de l'Ingénieur: França, 1999.

GALVANI JUNIOR, L. C. **Ensaios em estacas metálicas tubulares de ponta aberta e fechada e em estacas prensadas e concretadas in situ**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Geotecnia, Estruturas e Construção Civil, Escola de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2020.

IMAMURA, F. B. T. **Utilização do pressiômetro de Ménard na avaliação da capacidade de carga de estacas em solo tropical.** Dissertação de mestrado. Universidade Estadual de Campinas. Campinas – SP, 2017.

MACHADO, R. R. **Ensaios pressiométricos para estimativa de parâmetros de resistência e deformabilidade do solo do campo experimental da EECA/UFG**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Geotecnia, Estruturas e Construção Civil, Escola de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2020.

MÉNARD, L. **Rules for the use of pressuremeter techniques and processing the results obtained for the calculation of foundations**. 1967. Centre d'etudes geotechniques Louis Menard, 1967.

NASCIMENTO, B. B. **Provas de carga estáticas em estacas metálicas tubulares de ponta aberta em um solo tropical**. 2019. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Geotecnia, Estruturas e Construção Civil, Escola de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2019.

PINTO, C. S. **Curso Básico de Mecânica dos Solos.** 3ª Edição. São Paulo – SP: Oficina de Textos, 2006.

VELLOSO, D. A; LOPES, F. R. **Fundações: Critérios de projeto, investigação do subsolo, fundações superficiais, fundações profundas.** Edição única. São Paulo – SP: Oficina de Textos, 2011.

ANEXO A – CÁLCULOS CAPACIDADE DE CARGA

Estaca A4: Metálica Ponta Aberta, diâmetro 114,3 mm

Dados de Entrada

Características do solo		
Peso específico:	γ_{nat}:	16,00 kN/m³
Tipo predominante de solo lateral:		Areias
Tipo de solo ponta:		Areias
Coeficiente de empuxo no repouso:	k_0:	0,50

Características da estaca		
Diâmetro da base da estaca:	D:	0,1143 m
Área da base:	A_b:	0,0103 m²
Área lateral:	A_l:	1,2568 m²
Comprimento total:	L:	3,50 m
Categoria: 13 - Tubo metálico de ponta aberta		
Tipo de estaca: Com deslocamento		
Classe:		5

Dados de Saída

Capacidade de carga de ponta		
Tensão de ruptura do solo na ponta:	q_b:	465,57 kPa
Carga de ruptura na base da estaca:	**R_b:**	**4,78 kN**

Capacidade de carga lateral		
Tensão média de ruptura no fuste:	q_s:	20,11 kPa
Carga de ruptura no fuste da estaca:	**R_s:**	**25,27 kN**

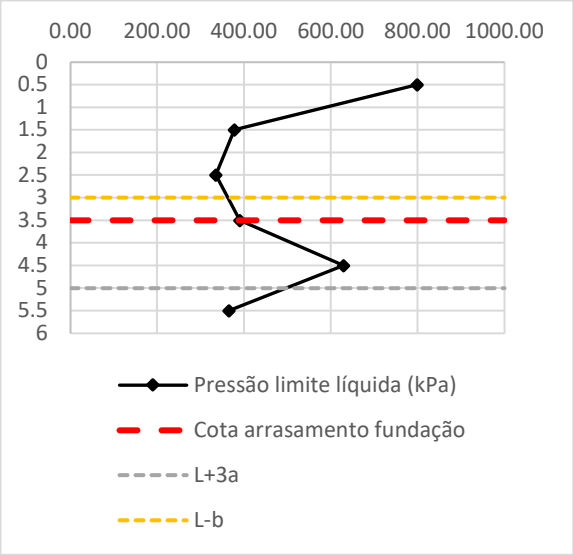
Capacidade de carga total	**R:**	**30,05 kN**

Capacidade de Carga PCE P:	27,99	kN
Carga última ponta Pb:	-	kN
Carga última fuste Ps:	-	kN
Relação lido/calculado	93%	
Carga de ponta:	-	
Carga lateral:	-	

Cálculo do q_s

z (m)	Pressão Limite (kPa)	Tensão Vertical (kPa)	Pressão limite líquida (kPa)	Pressão limite líquida (MPa)	Tipo de solo	$\alpha_{estaca-solo}$	Tipo de curva	f_{solo} (MPa)	f_{solo} (kPa)	qs,calc (kPa)	qs,máx (kPa)	qs (kPa)
0,50	803,33	8	799,33	0,80	Areias	0,70	Q2	0,04	41,94	29,36	50,00	**29,36**
1,50	390,27	24	378,27	0,38	Areias	0,70	Q2	0,02	23,27	16,29	50,00	**16,29**
2,50	355,03	40	335,03	0,34	Areias	0,70	Q2	0,02	20,97	14,68	50,00	**14,68**
3,50	418,63	56	390,63	0,39	Areias	0,70	Q2					

Cálculo do q_b



Parâmetros de entrada	
a	0,5 m
b	0,5 m
L+3a	5 m
L-b	3 m
L-10D	1,849 m
L	3,5 m
Δz	1 m

Saída		
Pressão líquida equivalente:	p^*_{le}:	490,08 kPa
Altura de engaste equivalente:	L_e:	1,20 m
Relação:	L_e/D:	7,29
Fator máximo de portância do solo na base:	$k_{p,máx}$:	1,90
Fator de portância do solo na base:	k_p:	1,90
Tensão de ruptura do solo na ponta:	q_b:	931,15 kPa

Estaca A6: Metálica Ponta Aberta, diâmetro 165,1 mm

Dados de Entrada

Características do solo		
Peso específico:	γ_{nat}:	16,00 kN/m³
Tipo predominante de solo lateral:		Areias
Tipo de solo ponta:		Areias
Coeficiente de empuxo no repouso:	k_0:	0,50

Características da estaca		
Diâmetro da base da estaca:	D:	0,1651 m
Área da base:	A_b:	0,0214 m²
Área lateral:	A_l:	1,8154 m²
Comprimento total:	L:	3,50 m
Categoria:		13 - Tubo metálico de ponta aberta
Tipo de estaca:		Com deslocamento
Classe:		5

Dados de Saída

Capacidade de carga de ponta		
Tensão de ruptura do solo na ponta:	q_b:	465,57 kPa
Carga de ruptura na base da estaca:	**R_b:**	**9,97 kN**

Capacidade de carga lateral		
Tensão média de ruptura no fuste:	q_s:	20,11 kPa
Carga de ruptura no fuste da estaca:	**R_s:**	**36,51 kN**

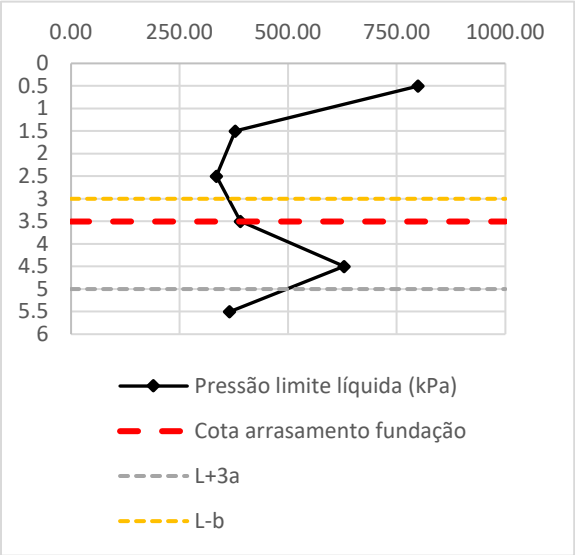
Capacidade de carga total	**R:**	**46,47 kN**

Capacidade de Carga PCE P:	78,9	kN
Carga última ponta Pb:	-	kN
Carga última fuste Ps:	-	kN
Relação lido/calculado	170%	
Carga de ponta:	-	
Carga lateral:	-	

Cálculo do q_s

z (m)	Pressão Limite (kPa)	Tensão Vertical (kPa)	Pressão limite liquida (kPa)	Pressão limite liquida (MPa)	Tipo de solo	$\alpha_{estaca-solo}$	Tipo de curva	f_{solo} (MPa)	f_{solo} (kPa)	qs,calc (kPa)	qs,máx (kPa)	qs (kPa)
0,50	803,33	8	799,33	0,80	Areias	0,70	Q2	0,04	41,94	29,36	50,00	**29,36**
1,50	390,27	24	378,27	0,38	Areias	0,70	Q2	0,02	23,27	16,29	50,00	**16,29**
2,50	355,03	40	335,03	0,34	Areias	0,70	Q2	0,02	20,97	14,68	50,00	**14,68**
3,50	418,63	56	390,63	0,39	Areias	0,70	Q2					

Cálculo do q_b



Parâmetros de entrada	
a	0,5 m
b	0,5 m
L+3a	5 m
L-b	3 m
L-10D	1,849 m
L	3,5 m
Δz	1 m

Saída		
Pressão liquida equivalente:	p^*_{le}:	490,08 kPa
Altura de engaste equivalente:	L_e:	1,20 m
Relação:	L_e/D:	7,29
Fator máximo de portância do solo na base:	$k_{p,máx}$:	1,90
Fator de portância do solo na base:	k_p:	1,90
Tensão de ruptura do solo na ponta:	q_b:	931,15 kPa

Estaca A8: Metálica Ponta Aberta, diâmetro 219,1 mm

Dados de Entrada

Características do solo		
Peso específico:	γ_{nat}:	16,00 kN/m³
Tipo predominante de solo lateral:		Areias
Tipo de solo ponta:		Areias
Coeficiente de empuxo no repouso:	k_0:	0,50

Características da estaca		
Diâmetro da base da estaca:	D:	0,2191 m
Área da base:	A_b:	0,0377 m²
Área lateral:	A_l:	2,4091 m²
Comprimento total:	L:	3,50 m
Categoria:		13 - Tubo metálico de ponta aberta
Tipo de estaca:		Com deslocamento
Classe:		5

Dados de Saída

Capacidade de carga de ponta		
Tensão de ruptura do solo na ponta:	q_b:	465,57 kPa
Carga de ruptura na base da estaca:	**R_b:**	**17,55 kN**

Capacidade de carga lateral		
Tensão média de ruptura no fuste:	q_s:	20,11 kPa
Carga de ruptura no fuste da estaca:	**R_s:**	**48,45 kN**

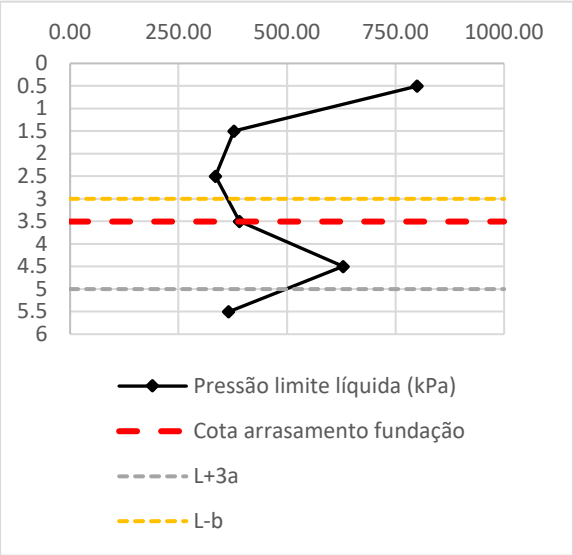
Capacidade de carga total	**R:**	**66,00 kN**

Capacidade de Carga PCE P:	124,54	kN
Carga última ponta Pb:	-	kN
Carga última fuste Ps:	-	kN
Relação lido/calculado	189%	
Carga de ponta:	-	
Carga lateral:	-	

Cálculo do q_s

z (m)	Pressão Limite (kPa)	Tensão Vertical (kPa)	Pressão limite liquida (kPa)	Pressão limite liquida (MPa)	Tipo de solo	$\alpha_{estaca-solo}$	Tipo de curva	f_{solo} (MPa)	f_{solo} (kPa)	qs,calc (kPa)	qs,máx (kPa)	**qs (kPa)**
0,50	803,33	8	799,33	0,80	Areias	0,70	Q2	0,04	41,94	29,36	50,00	**29,36**
1,50	390,27	24	378,27	0,38	Areias	0,70	Q2	0,02	23,27	16,29	50,00	**16,29**
2,50	355,03	40	335,03	0,34	Areias	0,70	Q2	0,02	20,97	14,68	50,00	**14,68**
3,50	418,63	56	390,63	0,39	Areias	0,70	Q2					

Cálculo do q_b



Parâmetros de entrada	
a	0,5 m
b	0,5 m
L+3a	5 m
L-b	3 m
L-10D	1,309 m
L	3,5 m
Δz	1 m

Saída		
Pressão liquida equivalente:	p^*_{le}:	490,08 kPa
Altura de engaste equivalente:	L_e:	1,63 m
Relação:	L_e/D:	7,44
Fator máximo de portância do solo na base:	$k_{p,máx}$:	1,90
Fator de portância do solo na base:	k_p:	1,90
Tensão de ruptura do solo na ponta:	q_b:	931,15 kPa

Estaca F4: Metálica Ponta Fechada, diâmetro 114,3 mm

Dados de Entrada

Características do solo		
Peso específico:	γ_{nat}:	16,00 kN/m³
Tipo predominante de solo lateral:		Areias
Tipo de solo ponta:		Areias
Coeficiente de empuxo no repouso:	k_0:	0,50

Características da estaca		
Diâmetro da base da estaca:	D:	0,1143 m
Área da base:	A_b:	0,0103 m²
Área lateral:	A_l:	1,2568 m²
Comprimento total:	L:	3,50 m
Categoria:	12 - Estaca metálica de ponta fecha	
Tipo de estaca:	Com deslocamento	
Classe:		4

Dados de Saída

Capacidade de carga de ponta		
Tensão de ruptura do solo na ponta:	q_b:	1519,24 kPa
Carga de ruptura na base da estaca:	**R_b:**	**15,59 kN**

Capacidade de carga lateral		
Tensão média de ruptura no fuste:	q_s:	34,47 kPa
Carga de ruptura no fuste da estaca:	**R_s:**	**43,33 kN**

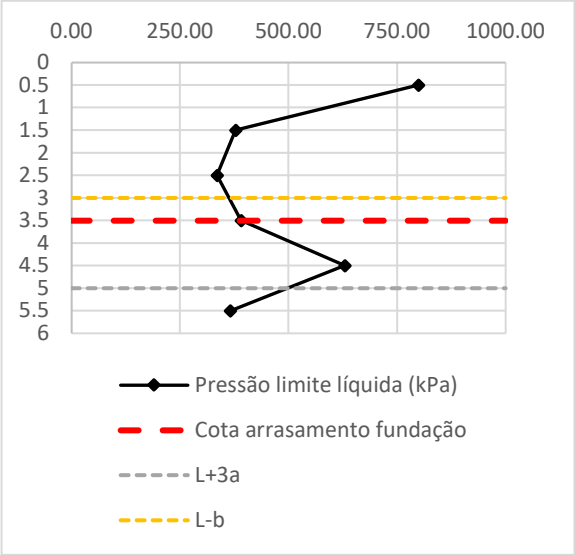
Capacidade de carga total	R:	58,91 kN

Capacidade de Carga PCE P:	12,97	kN
Carga última ponta Pb:	9,74	kN
Carga última fuste Ps:	3,23	kN
Relação calculado/lido	454%	
Carga de ponta:	160%	
Carga lateral:	1341%	

Cálculo do q_s

z (m)	Pressão Limite (kPa)	Tensão Vertical (kPa)	Pressão limite líquida (kPa)	Pressão limite líquida (MPa)	Tipo de solo	$\alpha_{estaca-solo}$	Tipo de curva	f_{solo} (MPa)	f_{solo} (kPa)	qs,calc (kPa)	qs,máx (kPa)	qs (kPa)
0,50	803,33	8	799,33	0,80	Areias	1,20	Q2	0,04	41,94	50,33	90,00	50,33
1,50	390,27	24	378,27	0,38	Areias	1,20	Q2	0,02	23,27	27,93	90,00	27,93
2,50	355,03	40	335,03	0,34	Areias	1,20	Q2	0,02	20,97	25,17	90,00	25,17
3,50	418,63	56	390,63	0,39	Areias	1,20	Q2					

Cálculo do q_b



Parâmetros de entrada	
a	0,5 m
b	0,5 m
L+3a	5 m
L-b	3 m
L-10D	2,357 m
L	3,5 m
Δz	1 m

Saída		
Pressão líquida equivalente:	p^*_{le}:	490,08 kPa
Altura de engaste equivalente:	L_e:	0,84 m
Relação:	L_e/D:	7,34
Fator máximo de portância do solo na base:	$k_{p,máx}$:	3,10
Fator de portância do solo na base:	k_p:	3,10
Tensão de ruptura do solo na ponta:	q_b:	1519,24 kPa

Estaca F6: Metálica Ponta Fechada, diâmetro 165,1 mm

Dados de Entrada

Características do solo		
Peso específico:	γ_{nat}:	16,00 kN/m³
Tipo predominante de solo lateral:		Areias
Tipo de solo ponta:		Areias
Coeficiente de empuxo no repouso:	k_0:	0,50

Características da estaca		
Diâmetro da base da estaca:	D:	0,1651 m
Área da base:	A_b:	0,0214 m²
Área lateral:	A_l:	1,8154 m²
Comprimento total:	L:	3,50 m
Categoria:		12 - Estaca metálica de ponta fecha
Tipo de estaca:		Com deslocamento
Classe:		4

Dados de Saída

Capacidade de carga de ponta		
Tensão de ruptura do solo na ponta:	q_b:	1519,24 kPa
Carga de ruptura na base da estaca:	**R_b:**	**32,52 kN**

Capacidade de carga lateral		
Tensão média de ruptura no fuste:	q_s:	34,47 kPa
Carga de ruptura no fuste da estaca:	**R_s:**	**62,58 kN**

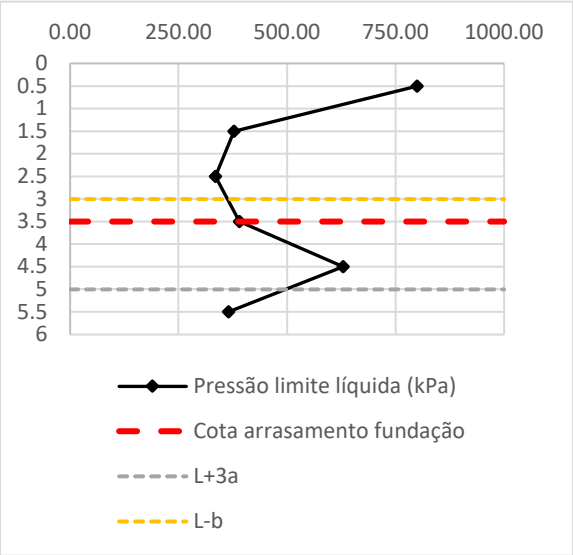
Capacidade de carga total	R:	95,11 kN

Capacidade de Carga PCE P:	44,55	kN
Carga última ponta Pb:	37,37	kN
Carga última fuste Ps:	7,18	kN
Relação lido/calculado	213%	
Carga de ponta:	87%	
Carga lateral:	872%	

Cálculo do q_s

z (m)	Pressão Limite (kPa)	Tensão Vertical (kPa)	Pressão limite líquida (kPa)	Pressão limite líquida (MPa)	Tipo de solo	$\alpha_{estaca-solo}$	Tipo de curva	f_{solo} (MPa)	f_{solo} (kPa)	qs,calc (kPa)	qs,máx (kPa)	qs (kPa)
0,50	803,33	8	799,33	0,80	Areias	1,20	Q2	0,04	41,94	50,33	90,00	**50,33**
1,50	390,27	24	378,27	0,38	Areias	1,20	Q2	0,02	23,27	27,93	90,00	**27,93**
2,50	355,03	40	335,03	0,34	Areias	1,20	Q2	0,02	20,97	25,17	90,00	**25,17**
3,50	418,63	56	390,63	0,39	Areias	1,20	Q2					

Cálculo do q_b



Parâmetros de entrada	
a	0,5 m
b	0,5 m
L+3a	5 m
L-b	3 m
L-10D	1,849 m
L	3,5 m
Δz	1 m

Saída		
Pressão liquida equivalente:	p^*_{le}:	490,08 kPa
Altura de engaste equivalente:	L_e:	1,20 m
Relação:	L_e/D:	7,29
Fator máximo de portância do solo na base:	$k_{p,máx}$:	3,10
Fator de portância do solo na base:	k_p:	3,10
Tensão de ruptura do solo na ponta:	q_b:	1519,24 kPa

Estaca F8: Metálica Ponta Fechada, diâmetro 219,1 mm

Dados de Entrada

Características do solo		
Peso específico:	γ_{nat}:	16,00 kN/m³
Tipo predominante de solo lateral:		Areias
Tipo de solo ponta:		Areias
Coeficiente de empuxo no repouso:	k_0:	0,50

Características da estaca		
Diâmetro da base da estaca:	D:	0,2191 m
Área da base:	A_b:	0,0377 m²
Área lateral:	A_l:	2,4091 m²
Comprimento total:	L:	3,50 m
Categoria:	12 - Estaca metálica de ponta fecha	
Tipo de estaca:	Com deslocamento	
Classe:		4

Dados de Saída

Capacidade de carga de ponta		
Tensão de ruptura do solo na ponta:	q_b:	1519,24 kPa
Carga de ruptura na base da estaca:	**R_b:**	**57,28 kN**

Capacidade de carga lateral		
Tensão média de ruptura no fuste:	q_s:	34,47 kPa
Carga de ruptura no fuste da estaca:	**R_s:**	**83,05 kN**

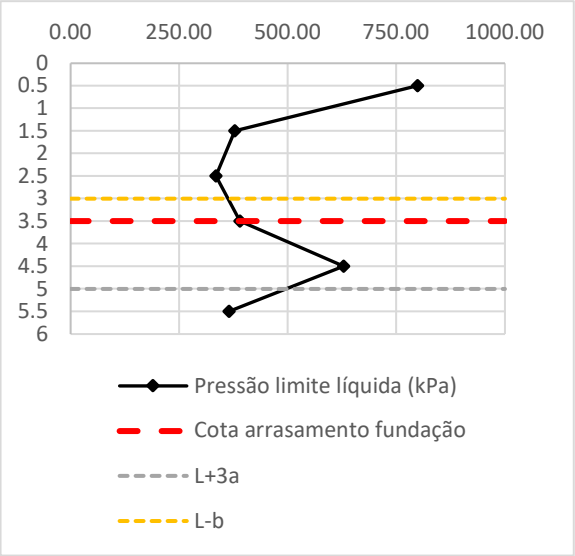
Capacidade de carga total	R:	140,33 kN

Capacidade de Carga PCE P:	64,13	kN
Carga última ponta Pb:	58,31	kN
Carga última fuste Ps:	5,82	kN
Relação lido/calculado	219%	
Carga de ponta:	98%	
Carga lateral:	1427%	

Cálculo do q_s

z (m)	Pressão Limite (kPa)	Tensão Vertical (kPa)	Pressão limite líquida (kPa)	Pressão limite líquida (MPa)	Tipo de solo	$\alpha_{estaca-solo}$	Tipo de curva	f_{solo} (MPa)	f_{solo} (kPa)	qs,calc (kPa)	qs,máx (kPa)	qs (kPa)
0,50	803,33	8	799,33	0,80	Areias	1,20	Q2	0,04	41,94	50,33	90,00	50,33
1,50	390,27	24	378,27	0,38	Areias	1,20	Q2	0,02	23,27	27,93	90,00	27,93
2,50	355,03	40	335,03	0,34	Areias	1,20	Q2	0,02	20,97	25,17	90,00	25,17
3,50	418,63	56	390,63	0,39	Areias	1,20	Q2					

Cálculo do q_b



Parâmetros de entrada	
a	0,5 m
b	0,5 m
L+3a	5 m
L-b	3 m
L-10D	1,309 m
L	3,5 m
Δz	1 m

Saída		
Pressão liquida equivalente:	p^*_{1e}:	490,08 kPa
Altura de engaste equivalente:	L_e:	1,63 m
Relação:	L_e/D:	7,44
Fator máximo de portância do solo na base:	$k_{p,máx}$:	3,10
Fator de portância do solo na base:	k_p:	3,10
Tensão de ruptura do solo na ponta:	q_b:	1519,24 kPa

Estaca E8: Escavada de concreto, diâmetro 260,0 mm

Dados de Entrada

Características do solo		
Peso especifico:	γ_{nat}:	16,00 kN/m³
Tipo predominante de solo lateral:		Areias
Tipo de solo ponta:		Areias
Coeficiente de empuxo no repouso:	k_0:	0,50

Características da estaca		
Diâmetro da base da estaca:	D:	0,2600 m
Área da base:	A_b:	0,0531 m²
Área lateral:	A_l:	2,8588 m²
Comprimento total:	L:	3,50 m
Categoria:		1 - Escavada simples (es
Tipo de estaca:		Sem deslocamento
Classe:		1

Dados de Saída

Capacidade de carga de ponta		
Tensão de ruptura do solo na ponta:	q_b:	539,09 kPa
Carga de ruptura na base da estaca:	**R_b:**	**28,62 kN**

Capacidade de carga lateral		
Tensão média de ruptura no fuste:	q_s:	28,73 kPa
Carga de ruptura no fuste da estaca:	**R_s:**	**82,13 kN**

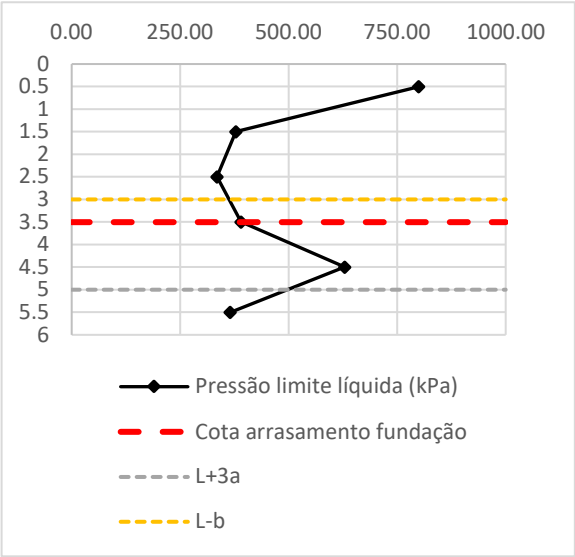
Capacidade de carga total	R:	110,75 kN

Capacidade de Carga PCE P:	194,69	kN
Carga última ponta Pb:	29,99	kN
Carga última fuste Ps:	164,70	kN
Relação lido/calculado	176%	
Carga de ponta:	105%	
Carga lateral:	201%	

Cálculo do q_s

z (m)	Pressão Limite (kPa)	Tensão Vertical (kPa)	Pressão limite líquida (kPa)	Pressão limite líquida (MPa)	Tipo de solo	$\alpha_{estaca-solo}$	Tipo de curva	f_{solo} (MPa)	f_{solo} (kPa)	qs,calc (kPa)	qs,máx (kPa)	qs (kPa)
0,50	803,33	8	799,33	0,80	Areias	1,00	Q2	0,04	41,94	41,94	90,00	**41,94**
1,50	390,27	24	378,27	0,38	Areias	1,00	Q2	0,02	23,27	23,27	90,00	**23,27**
2,50	355,03	40	335,03	0,34	Areias	1,00	Q2	0,02	20,97	20,97	90,00	**20,97**
3,50	418,63	56	390,63	0,39	Areias	1,00	Q2					

Cálculo do q_b

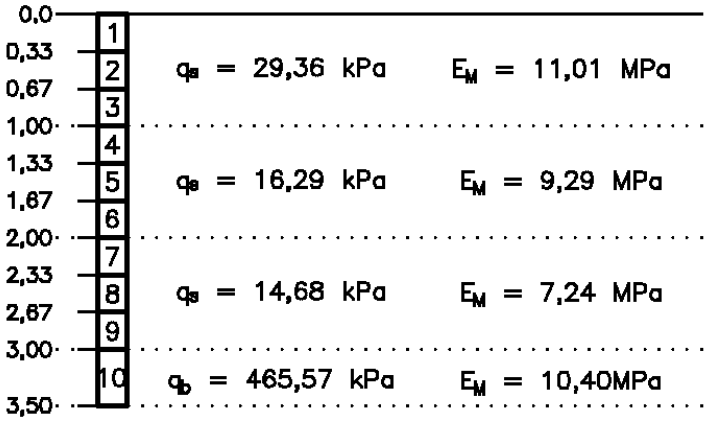


Parâmetros de entrada	
a	0,5 m
b	0,5 m
L+3a	5 m
L-b	3 m
L-10D	0,9 m
L	3,5 m
Δz	1 m

Saída		
Pressão líquida equivalente:	p^*_{le}:	490,08 kPa
Altura de engaste equivalente:	L_e:	2,09 m
Relação:	L_e/D:	8,02
Fator máximo de portância do solo na base:	$k_{p,máx}$:	1,10
Fator de portância do solo na base:	k_p:	1,10
Tensão de ruptura do solo na ponta:	q_b:	539,09 kPa

ANEXO B – ESTIMATIVA DE RECALQUE

Estaca A4: Metálica Ponta Aberta, diâmetro 114,3 mm



Segmento	z_i (m)	z_f (m)	L (m)	E_M (MPa)	Tipo de solo	q_s (kPa)	q_p (kPa)	α_s:	α_p:	Kt (kPa/m)	Kp (kPa/m)
1	0,00	0,33	0,33	11,01	Solo granular	29,36		0,8		77060,37	
2	0,33	0,67	0,34	11,01	Solo granular	29,36		0,8		77060,37	
3	0,67	1,00	0,33	11,01	Solo granular	29,36		0,8		77060,37	
4	1,00	1,33	0,33	9,29	Solo granular	16,29		0,8		65021,87	
5	1,33	1,67	0,34	9,29	Solo granular	16,29		0,8		65021,87	
6	1,67	2,00	0,33	9,29	Solo granular	16,29		0,8		65021,87	
7	2,00	2,33	0,33	7,24	Solo granular	14,68		0,8		50673,67	
8	2,33	2,67	0,34	7,24	Solo granular	14,68		0,8		50673,67	
9	2,67	3,00	0,33	7,24	Solo granular	14,68		0,8		50673,67	
10	3,00	3,50	0,5	10,4	Solo granular	14,68	465,57	0,8	4,8	72790,90	436745,41

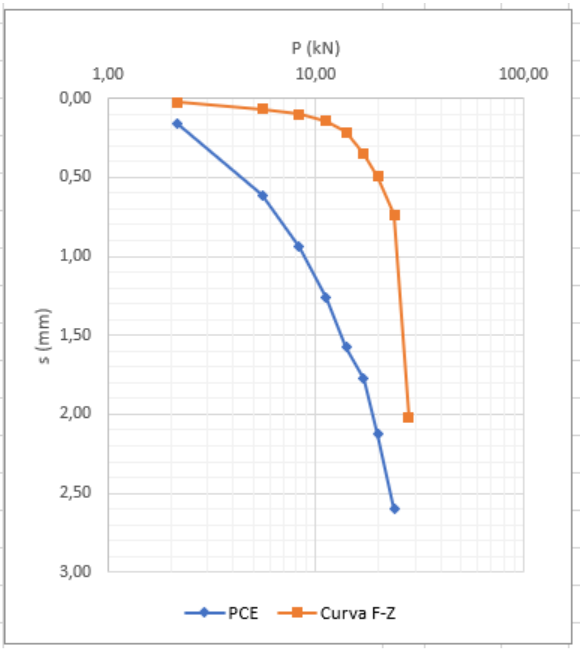


Tabela Comparativa				
i	Dados extraídos da PCE		Previsão curva F-Z	
	P (kN)	w (mm)	P (kN)	s (mm)
1	2,15	0,16	2,15	0,03
2	5,51	0,61	5,51	0,07
3	8,31	0,94	8,31	0,10
4	11,21	1,27	11,21	0,14
5	14,02	1,58	14,02	0,21
6	16,91	1,78	16,91	0,35
7	19,84	2,13	19,84	0,50
8	23,86	2,60	23,86	0,74
9	27,99	15,38	27,99	2,02

w1 (m)	0,0000								
Segmento	L (m)	w_{base} (m)	σ_{base} (kPa)	P_{base} (kN)	τ (kPa)	Al (m)	w_{topo} (m)	P_{topo} (kN)	σ_{topo} (kPa)
1	0,33	0,0000	186,94	1,92	1,98	0,12	0,0000	2,15	209,86
2	0,34	0,0000	163,61	1,68	1,96	0,12	0,0000	1,92	186,94
3	0,33	0,0000	141,18	1,45	1,94	0,12	0,0000	1,68	163,61
4	0,33	0,0000	122,42	1,25	1,62	0,12	0,0000	1,45	141,18
5	0,34	0,0000	103,25	1,06	1,61	0,12	0,0000	1,25	122,42
6	0,33	0,0000	84,75	0,87	1,60	0,12	0,0000	1,06	103,25
7	0,33	0,0000	70,41	0,72	1,24	0,12	0,0000	0,87	84,75
8	0,34	0,0000	55,70	0,57	1,23	0,12	0,0000	0,72	70,41
9	0,33	0,0000	41,47	0,42	1,23	0,12	0,0000	0,57	55,70
10	0,5	0,0000	10,58	0,11	1,76	0,18	0,0000	0,42	41,47
P (kN)	**2,15**								
w (mm)	**0,03**								

w2 (m)	0,0001								
Segmento	L (m)	w_{base} (m)	σ_{base} (kPa)	P_{base} (kN)	τ (kPa)	Al (m)	w_{topo} (m)	P_{topo} (kN)	σ_{topo} (kPa)
1	0,33	0,0001	479,10	4,91	5,08	0,12	0,0001	5,51	537,83
2	0,34	0,0001	419,30	4,30	5,02	0,12	0,0001	4,91	479,10
3	0,33	0,0001	361,82	3,71	4,97	0,12	0,0001	4,30	419,30
4	0,33	0,0001	313,75	3,21	4,16	0,12	0,0001	3,71	361,82
5	0,34	0,0001	264,60	2,71	4,12	0,12	0,0001	3,21	313,75
6	0,33	0,0001	217,19	2,23	4,10	0,12	0,0001	2,71	264,60
7	0,33	0,0001	180,44	1,85	3,18	0,12	0,0001	2,23	217,19
8	0,34	0,0001	142,74	1,46	3,16	0,12	0,0001	1,85	180,44
9	0,33	0,0001	106,27	1,09	3,15	0,12	0,0001	1,46	142,74
10	0,5	0,0001	27,10	0,28	4,52	0,18	0,0001	1,09	106,27
P (kN)	**5,51**								
w (mm)	**0,07**								

w3 (m)	0,0001								
Segmento	L (m)	w_{base} (m)	σ_{base} (kPa)	P_{base} (kN)	τ (kPa)	Al (m)	w_{topo} (m)	P_{topo} (kN)	σ_{topo} (kPa)
1	0,33	0,0001	722,56	7,40	7,66	0,12	0,0001	8,31	811,13
2	0,34	0,0001	632,37	6,48	7,57	0,12	0,0001	7,40	722,56
3	0,33	0,0001	545,69	5,59	7,49	0,12	0,0001	6,48	632,37
4	0,33	0,0001	473,19	4,85	6,27	0,12	0,0001	5,59	545,69
5	0,34	0,0001	399,06	4,09	6,22	0,12	0,0001	4,85	473,19
6	0,33	0,0001	327,56	3,36	6,18	0,12	0,0001	4,09	399,06
7	0,33	0,0001	272,13	2,79	4,79	0,12	0,0001	3,36	327,56
8	0,34	0,0001	215,28	2,21	4,77	0,12	0,0001	2,79	272,13
9	0,33	0,0001	160,27	1,64	4,76	0,12	0,0001	2,21	215,28
10	0,5	0,0001	40,88	0,42	6,81	0,18	0,0001	1,64	160,27
P (kN)	**8,31**								
w (mm)	**0,10**								

w4 (m)	0,0001								
Segmento	L (m)	wbase (m)	σbase (kPa)	Pbase (kN)	τ (kPa)	Al (m)	wtopo (m)	Ptopo (kN)	σtopo (kPa)
1	0,33	0,0001	969,58	9,93	10,77	0,12	0,0001	11,21	1094,20
2	0,34	0,0001	842,59	8,63	10,66	0,12	0,0001	9,93	969,58
3	0,33	0,0001	720,49	7,38	10,56	0,12	0,0001	8,63	842,59
4	0,33	0,0001	624,69	6,40	8,28	0,12	0,0001	7,38	720,49
5	0,34	0,0001	526,13	5,39	8,27	0,12	0,0001	6,40	624,69
6	0,33	0,0001	430,59	4,41	8,26	0,12	0,0001	5,39	526,13
7	0,33	0,0001	352,36	3,61	6,76	0,12	0,0001	4,41	430,59
8	0,34	0,0001	272,09	2,79	6,74	0,12	0,0001	3,61	352,36
9	0,33	0,0001	194,40	1,99	6,72	0,12	0,0001	2,79	272,09
10	0,5	0,0001	57,75	0,59	7,80	0,18	0,0001	1,99	194,40
P (kN)	**11,21**								
w (mm)	**0,14**								

w5 (m)	0,0002								
Segmento	L (m)	w_{base} (m)	σ_{base} (kPa)	P_{base} (kN)	τ (kPa)	Al (m)	w_{topo} (m)	P_{topo} (kN)	σ_{topo} (kPa)
1	0,33	0,0002	1194,90	12,24	15,01	0,12	0,0002	14,02	1368,48
2	0,34	0,0002	1016,40	10,41	14,98	0,12	0,0002	12,24	1194,90
3	0,33	0,0002	843,43	8,64	14,95	0,12	0,0002	10,41	1016,40
4	0,33	0,0002	736,93	7,55	9,21	0,12	0,0002	8,64	843,43
5	0,34	0,0002	627,37	6,43	9,19	0,12	0,0002	7,55	736,93
6	0,33	0,0002	521,18	5,34	9,18	0,12	0,0002	6,43	627,37
7	0,33	0,0002	429,34	4,40	7,94	0,12	0,0002	5,34	521,18
8	0,34	0,0002	334,79	3,43	7,93	0,12	0,0002	4,40	429,34
9	0,33	0,0002	243,07	2,49	7,93	0,12	0,0002	3,43	334,79
10	0,5	0,0002	88,48	0,91	8,82	0,18	0,0002	2,49	243,07
P (kN)	**14,02**								
w (mm)	**0,21**								

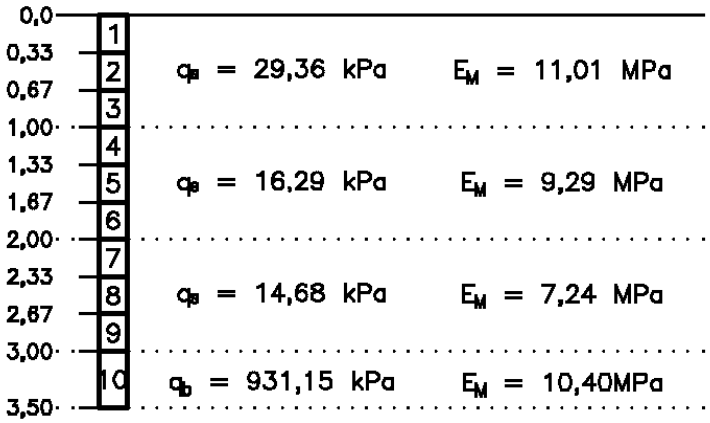
w6 (m)	0,0003								
Segmento	L (m)	w_{base} (m)	σ_{base} (kPa)	P_{base} (kN)	τ (kPa)	Al (m)	w_{topo} (m)	P_{topo} (kN)	σ_{topo} (kPa)
1	0,33	0,0004	1452,09	14,88	17,16	0,12	0,0004	16,91	1650,57
2	0,34	0,0003	1248,02	12,79	17,12	0,12	0,0004	14,88	1452,09
3	0,33	0,0003	1050,29	10,76	17,10	0,12	0,0003	12,79	1248,02
4	0,33	0,0003	922,94	9,46	11,01	0,12	0,0003	10,76	1050,29
5	0,34	0,0003	791,96	8,11	10,99	0,12	0,0003	9,46	922,94
6	0,33	0,0003	665,01	6,81	10,98	0,12	0,0003	8,11	791,96
7	0,33	0,0003	557,01	5,71	9,34	0,12	0,0003	6,81	665,01
8	0,34	0,0003	445,84	4,57	9,33	0,12	0,0003	5,71	557,01
9	0,33	0,0003	338,02	3,46	9,32	0,12	0,0003	4,57	445,84
10	0,5	0,0003	148,41	1,52	10,82	0,18	0,0003	3,46	338,02
P (kN)	**16,91**								
w (mm)	**0,35**								

w7 (m)	0,0005								
Segmento	L (m)	w_{base} (m)	σ_{base} (kPa)	P_{base} (kN)	τ (kPa)	Al (m)	w_{topo} (m)	P_{topo} (kN)	σ_{topo} (kPa)
1	0,33	0,0005	1712,85	17,55	19,34	0,12	0,0005	19,84	1936,57
2	0,34	0,0005	1482,84	15,19	19,30	0,12	0,0005	17,55	1712,85
3	0,33	0,0005	1260,01	12,91	19,27	0,12	0,0005	15,19	1482,84
4	0,33	0,0005	1111,53	11,39	12,84	0,12	0,0005	12,91	1260,01
5	0,34	0,0005	958,82	9,82	12,81	0,12	0,0005	11,39	1111,53
6	0,33	0,0005	810,82	8,31	12,80	0,12	0,0005	9,82	958,82
7	0,33	0,0005	686,45	7,03	10,75	0,12	0,0005	8,31	810,82
8	0,34	0,0005	558,43	5,72	10,74	0,12	0,0005	7,03	686,45
9	0,33	0,0005	434,27	4,45	10,73	0,12	0,0005	5,72	558,43
10	0,5	0,0005	209,18	2,14	12,84	0,18	0,0005	4,45	434,27
P (kN)	**19,84**								
w (mm)	**0,50**								

w8 (m)	0,0007								
Segmento	L (m)	w_{base} (m)	σ_{base} (kPa)	P_{base} (kN)	τ (kPa)	Al (m)	w_{topo} (m)	P_{topo} (kN)	σ_{topo} (kPa)
1	0,33	0,0007	2062,66	21,13	23,02	0,12	0,0007	23,86	2328,96
2	0,34	0,0007	1788,90	18,33	22,97	0,12	0,0007	21,13	2062,66
3	0,33	0,0007	1523,68	15,61	22,93	0,12	0,0007	18,33	1788,90
4	0,33	0,0007	1339,49	13,72	15,92	0,12	0,0007	15,61	1523,68
5	0,34	0,0007	1150,05	11,78	15,90	0,12	0,0007	13,72	1339,49
6	0,33	0,0007	966,44	9,90	15,87	0,12	0,0007	11,78	1150,05
7	0,33	0,0007	814,34	8,34	13,15	0,12	0,0007	9,90	966,44
8	0,34	0,0007	657,79	6,74	13,14	0,12	0,0007	8,34	814,34
9	0,33	0,0007	505,95	5,18	13,13	0,12	0,0007	6,74	657,79
10	0,5	0,0007	248,68	2,55	14,68	0,18	0,0007	5,18	505,95
P (kN)	**23,86**								
w (mm)	**0,74**								

w9 (m)	0,0020								
Segmento	L (m)	w_{base} (m)	σ_{base} (kPa)	P_{base} (kN)	τ (kPa)	Al (m)	w_{topo} (m)	P_{topo} (kN)	σ_{topo} (kPa)
1	0,33	0,0020	2392,49	24,51	29,36	0,12	0,0020	27,99	2732,09
2	0,34	0,0020	2042,61	20,93	29,36	0,12	0,0020	24,51	2392,49
3	0,33	0,0020	1703,02	17,45	29,36	0,12	0,0020	20,93	2042,61
4	0,33	0,0020	1514,60	15,52	16,29	0,12	0,0020	17,45	1703,02
5	0,34	0,0020	1320,47	13,53	16,29	0,12	0,0020	15,52	1514,60
6	0,33	0,0020	1132,05	11,60	16,29	0,12	0,0020	13,53	1320,47
7	0,33	0,0020	962,26	9,86	14,68	0,12	0,0020	11,60	1132,05
8	0,34	0,0020	787,32	8,07	14,68	0,12	0,0020	9,86	962,26
9	0,33	0,0020	617,52	6,33	14,68	0,12	0,0020	8,07	787,32
10	0,5	0,0020	360,25	3,69	14,68	0,18	0,0020	6,33	617,52
P (kN)	**27,99**								
w (mm)	**2,02**								

Estaca F6: Metálica Ponta Fechada, diâmetro 165,1 mm



Segmento	z_i (m)	z_f (m)	L (m)	E_M (MPa)	Tipo de solo	q_s (kPa)	q_p (kPa)	α_s:	α_p:	Kt (kPa/m)	Kp (kPa/m)
1	0,00	0,33	0,33	11,01	Solo granular	29,36		0,8		53349,49	
2	0,33	0,67	0,34	11,01	Solo granular	29,36		0,8		53349,49	
3	0,67	1,00	0,33	11,01	Solo granular	29,36		0,8		53349,49	
4	1,00	1,33	0,33	9,29	Solo granular	16,29		0,8		45015,14	
5	1,33	1,67	0,34	9,29	Solo granular	16,29		0,8		45015,14	
6	1,67	2,00	0,33	9,29	Solo granular	16,29		0,8		45015,14	
7	2,00	2,33	0,33	7,24	Solo granular	14,68		0,8		35081,77	
8	2,33	2,67	0,34	7,24	Solo granular	14,68		0,8		35081,77	
9	2,67	3,00	0,33	7,24	Solo granular	14,68		0,8		35081,77	
10	3,00	3,50	0,5	10,4	Solo granular	14,68	931,15	0,8	4,8	50393,70	302362,20

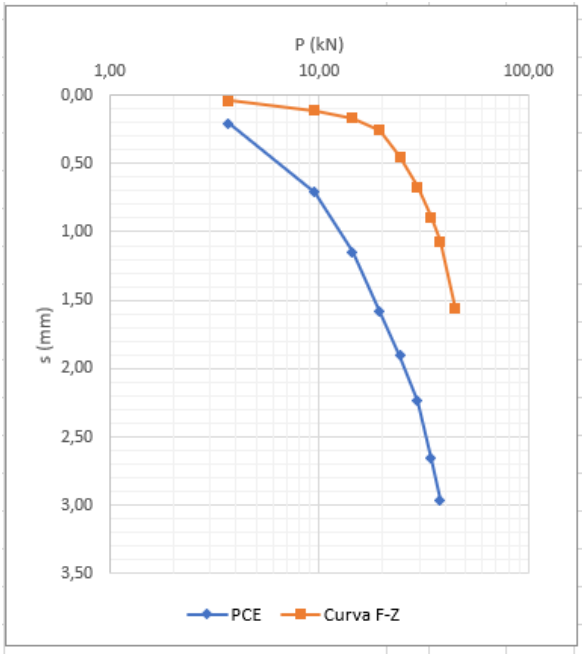


Tabela Comparativa				
i	Dados extraídos da PCE		Previsão curva F-Z	
	P (kN)	w (mm)	P (kN)	s (mm)
1	3,68	0,21	3,68	0,04
2	9,52	0,71	9,52	0,11
3	14,38	1,15	14,38	0,17
4	19,40	1,58	19,40	0,26
5	24,23	1,90	24,23	0,45
6	29,27	2,24	29,27	0,67
7	34,20	2,66	34,20	0,89
8	37,80	2,96	37,80	1,07
9	44,55	15,23	44,55	1,56

w1 (m)	0,0000								
Segmento	L (m)	w_{base} (m)	σ_{base} (kPa)	P_{base} (kN)	τ (kPa)	Al (m)	w_{topo} (m)	P_{topo} (kN)	σ_{topo} (kPa)
1	0,33	0,0000	154,01	3,29	2,25	0,17	0,0000	3,68	172,05
2	0,34	0,0000	135,54	2,90	2,24	0,18	0,0000	3,29	154,01
3	0,33	0,0000	117,69	2,52	2,23	0,17	0,0000	2,90	135,54
4	0,33	0,0000	102,70	2,20	1,87	0,17	0,0000	2,52	117,69
5	0,34	0,0000	87,31	1,87	1,87	0,18	0,0000	2,20	102,70
6	0,33	0,0000	72,43	1,55	1,86	0,17	0,0000	1,87	87,31
7	0,33	0,0000	60,86	1,30	1,45	0,17	0,0000	1,55	72,43
8	0,34	0,0000	48,96	1,05	1,44	0,18	0,0000	1,30	60,86
9	0,33	0,0000	37,44	0,80	1,44	0,17	0,0000	1,05	48,96
10	0,5	0,0000	12,39	0,27	2,07	0,26	0,0000	0,80	37,44
P (kN)	**3,68**								
w (mm)	**0,04**								

w2 (m)	0,0001								
Segmento	L (m)	w_{base} (m)	σ_{base} (kPa)	P_{base} (kN)	τ (kPa)	Al (m)	w_{topo} (m)	P_{topo} (kN)	σ_{topo} (kPa)
1	0,33	0,0001	398,43	8,52	5,83	0,17	0,0001	9,52	445,09
2	0,34	0,0001	350,62	7,50	5,80	0,18	0,0001	8,52	398,43
3	0,33	0,0001	304,46	6,51	5,77	0,17	0,0001	7,50	350,62
4	0,33	0,0001	265,68	5,68	4,85	0,17	0,0001	6,51	304,46
5	0,34	0,0001	225,87	4,83	4,83	0,18	0,0001	5,68	265,68
6	0,33	0,0001	187,36	4,01	4,81	0,17	0,0001	4,83	225,87
7	0,33	0,0001	157,43	3,37	3,74	0,17	0,0001	4,01	187,36
8	0,34	0,0001	126,66	2,71	3,73	0,18	0,0001	3,37	157,43
9	0,33	0,0001	96,85	2,07	3,73	0,17	0,0001	2,71	126,66
10	0,5	0,0001	32,06	0,69	5,34	0,26	0,0001	2,07	96,85
P (kN)	**9,52**								
w (mm)	**0,11**								

w3 (m)	0,0002								
Segmento	L (m)	w_{base} (m)	σ_{base} (kPa)	P_{base} (kN)	τ (kPa)	Al (m)	w_{topo} (m)	P_{topo} (kN)	σ_{topo} (kPa)
1	0,33	0,0002	601,01	12,85	8,91	0,17	0,0002	14,38	672,32
2	0,34	0,0002	527,96	11,29	8,86	0,18	0,0002	12,85	601,01
3	0,33	0,0002	457,41	9,78	8,82	0,17	0,0002	11,29	527,96
4	0,33	0,0002	398,13	8,52	7,41	0,17	0,0002	9,78	457,41
5	0,34	0,0002	337,29	7,21	7,38	0,18	0,0002	8,52	398,13
6	0,33	0,0002	278,42	5,96	7,36	0,17	0,0002	7,21	337,29
7	0,33	0,0002	232,66	4,98	5,72	0,17	0,0002	5,96	278,42
8	0,34	0,0002	185,62	3,97	5,71	0,18	0,0002	4,98	232,66
9	0,33	0,0002	140,03	3,00	5,70	0,17	0,0002	3,97	185,62
10	0,5	0,0002	49,02	1,05	7,51	0,26	0,0002	3,00	140,03
P (kN)	**14,38**								
w (mm)	**0,17**								

w4 (m)	0,0003								
Segmento	L (m)	w_{base} (m)	σ_{base} (kPa)	P_{base} (kN)	τ (kPa)	Al (m)	w_{topo} (m)	P_{topo} (kN)	σ_{topo} (kPa)
1	0,33	0,0003	797,30	17,05	13,71	0,17	0,0003	19,40	907,02
2	0,34	0,0003	684,80	14,65	13,64	0,18	0,0003	17,05	797,30
3	0,33	0,0003	576,06	12,32	13,59	0,17	0,0003	14,65	684,80
4	0,33	0,0003	505,63	10,81	8,80	0,17	0,0003	12,32	576,06
5	0,34	0,0003	433,13	9,26	8,79	0,18	0,0003	10,81	505,63
6	0,33	0,0003	362,80	7,76	8,79	0,17	0,0003	9,26	433,13
7	0,33	0,0003	301,67	6,45	7,64	0,17	0,0003	7,76	362,80
8	0,34	0,0003	238,72	5,11	7,64	0,18	0,0003	6,45	301,67
9	0,33	0,0003	177,63	3,80	7,63	0,17	0,0003	5,11	238,72
10	0,5	0,0003	75,80	1,62	8,40	0,26	0,0003	3,80	177,63
P (kN)	**19,40**								
w (mm)	**0,26**								

w5 (m)	0,0004								
Segmento	L (m)	w_{base} (m)	σ_{base} (kPa)	P_{base} (kN)	τ (kPa)	Al (m)	w_{topo} (m)	P_{topo} (kN)	σ_{topo} (kPa)
1	0,33	0,0005	1000,41	21,40	16,55	0,17	0,0005	24,23	1132,84
2	0,34	0,0004	864,10	18,48	16,53	0,18	0,0005	21,40	1000,41
3	0,33	0,0004	731,91	15,65	16,52	0,17	0,0004	18,48	864,10
4	0,33	0,0004	647,62	13,85	10,53	0,17	0,0004	15,65	731,91
5	0,34	0,0004	560,84	12,00	10,52	0,18	0,0004	13,85	647,62
6	0,33	0,0004	476,68	10,20	10,52	0,17	0,0004	12,00	560,84
7	0,33	0,0004	404,77	8,66	8,99	0,17	0,0004	10,20	476,68
8	0,34	0,0004	330,73	7,07	8,98	0,18	0,0004	8,66	404,77
9	0,33	0,0004	258,89	5,54	8,98	0,17	0,0004	7,07	330,73
10	0,5	0,0004	133,67	2,86	10,33	0,26	0,0004	5,54	258,89
P (kN)	**24,23**								
w (mm)	**0,45**								

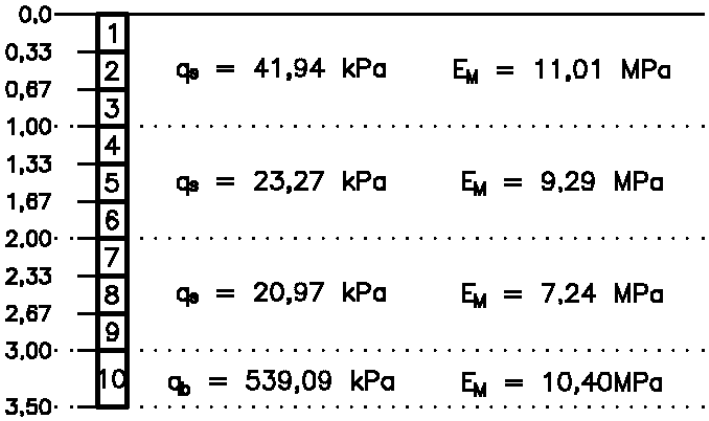
w6 (m)	0,0007								
Segmento	L (m)	w_{base} (m)	σ_{base} (kPa)	P_{base} (kN)	τ (kPa)	Al (m)	w_{topo} (m)	P_{topo} (kN)	σ_{topo} (kPa)
1	0,33	0,0007	1217,14	26,03	18,91	0,17	0,0007	29,27	1368,48
2	0,34	0,0007	1061,40	22,70	18,89	0,18	0,0007	26,03	1217,14
3	0,33	0,0007	910,37	19,47	18,87	0,17	0,0007	22,70	1061,40
4	0,33	0,0007	810,19	17,33	12,52	0,17	0,0007	19,47	910,37
5	0,34	0,0007	707,08	15,12	12,51	0,18	0,0007	17,33	810,19
6	0,33	0,0007	607,07	12,98	12,50	0,17	0,0007	15,12	707,08
7	0,33	0,0007	522,83	11,18	10,53	0,17	0,0007	12,98	607,07
8	0,34	0,0007	436,09	9,33	10,52	0,18	0,0007	11,18	522,83
9	0,33	0,0007	351,93	7,53	10,52	0,17	0,0007	9,33	436,09
10	0,5	0,0007	199,93	4,28	12,54	0,26	0,0007	7,53	351,93
P (kN)	**29,27**								
w (mm)	**0,67**								

w7 (m)	0,0009								
Segmento	L (m)	w_{base} (m)	σ_{base} (kPa)	P_{base} (kN)	τ (kPa)	Al (m)	w_{topo} (m)	P_{topo} (kN)	σ_{topo} (kPa)
1	0,33	0,0009	1429,11	30,57	21,22	0,17	0,0009	34,20	1598,95
2	0,34	0,0009	1254,33	26,83	21,20	0,18	0,0009	30,57	1429,11
3	0,33	0,0009	1084,86	23,20	21,18	0,17	0,0009	26,83	1254,33
4	0,33	0,0009	969,13	20,73	14,46	0,17	0,0009	23,20	1084,86
5	0,34	0,0009	850,02	18,18	14,45	0,18	0,0009	20,73	969,13
6	0,33	0,0009	734,50	15,71	14,44	0,17	0,0009	18,18	850,02
7	0,33	0,0009	638,19	13,65	12,04	0,17	0,0009	15,71	734,50
8	0,34	0,0009	539,01	11,53	12,03	0,18	0,0009	13,65	638,19
9	0,33	0,0009	442,80	9,47	12,02	0,17	0,0009	11,53	539,01
10	0,5	0,0009	264,80	5,66	14,68	0,26	0,0009	9,47	442,80
P (kN)	**34,20**								
w (mm)	**0,89**								

w8 (m)	0,0011								
Segmento	L (m)	w_{base} (m)	σ_{base} (kPa)	P_{base} (kN)	τ (kPa)	Al (m)	w_{topo} (m)	P_{topo} (kN)	σ_{topo} (kPa)
1	0,33	0,0011	1582,23	33,84	23,12	0,17	0,0011	37,80	1767,28
2	0,34	0,0011	1391,80	29,77	23,10	0,18	0,0011	33,84	1582,23
3	0,33	0,0011	1207,14	25,82	23,07	0,17	0,0011	29,77	1391,80
4	0,33	0,0011	1078,63	23,07	16,06	0,17	0,0011	25,82	1207,14
5	0,34	0,0011	946,35	20,24	16,04	0,18	0,0011	23,07	1078,63
6	0,33	0,0011	818,06	17,50	16,03	0,17	0,0011	20,24	946,35
7	0,33	0,0011	711,80	15,22	13,28	0,17	0,0011	17,50	818,06
8	0,34	0,0011	602,39	12,88	13,27	0,18	0,0011	15,22	711,80
9	0,33	0,0011	496,24	10,61	13,26	0,17	0,0011	12,88	602,39
10	0,5	0,0011	318,25	6,81	14,68	0,26	0,0011	10,61	496,24
P (kN)	**37,80**								
w (mm)	**1,07**								

w9 (m)	0,0015								
Segmento	L (m)	w_{base} (m)	σ_{base} (kPa)	P_{base} (kN)	τ (kPa)	Al (m)	w_{topo} (m)	P_{topo} (kN)	σ_{topo} (kPa)
1	0,33	0,0016	1855,59	39,69	28,40	0,17	0,0016	44,55	2082,87
2	0,34	0,0016	1621,68	34,69	28,37	0,18	0,0016	39,69	1855,59
3	0,33	0,0016	1394,86	29,83	28,34	0,17	0,0016	34,69	1621,68
4	0,33	0,0016	1264,50	27,05	16,29	0,17	0,0016	29,83	1394,86
5	0,34	0,0016	1130,19	24,17	16,29	0,18	0,0016	27,05	1264,50
6	0,33	0,0015	999,83	21,39	16,29	0,17	0,0016	24,17	1130,19
7	0,33	0,0015	882,35	18,87	14,68	0,17	0,0015	21,39	999,83
8	0,34	0,0015	761,32	16,28	14,68	0,18	0,0015	18,87	882,35
9	0,33	0,0015	643,84	13,77	14,68	0,17	0,0015	16,28	761,32
10	0,5	0,0015	465,84	9,96	14,68	0,26	0,0015	13,77	643,84
P (kN)	**44,55**								
w (mm)	**1,56**								

Estaca E8: Escavada de concreto, diâmetro 260,0 mm



Segmento	z_i (m)	z_f (m)	L (m)	E_M (MPa)	Tipo de solo	q_s (kPa)	q_p (kPa)	α_s:	α_p:	Kt (kPa/m)	Kp (kPa/m)
1	0,00	0,33	0,33	11,01	Solo granular	41,94		0,8		33876,92	
2	0,33	0,67	0,34	11,01	Solo granular	41,94		0,8		33876,92	
3	0,67	1,00	0,33	11,01	Solo granular	41,94		0,8		33876,92	
4	1,00	1,33	0,33	9,29	Solo granular	23,27		0,8		28584,62	
5	1,33	1,67	0,34	9,29	Solo granular	23,27		0,8		28584,62	
6	1,67	2,00	0,33	9,29	Solo granular	23,27		0,8		28584,62	
7	2,00	2,33	0,33	7,24	Solo granular	20,97		0,8		22276,92	
8	2,33	2,67	0,34	7,24	Solo granular	20,97		0,8		22276,92	
9	2,67	3,00	0,33	7,24	Solo granular	20,97		0,8		22276,92	
10	3,00	3,50	0,5	10,4	Solo granular	20,97	539,09	0,8	4,8	32000,00	192000,00

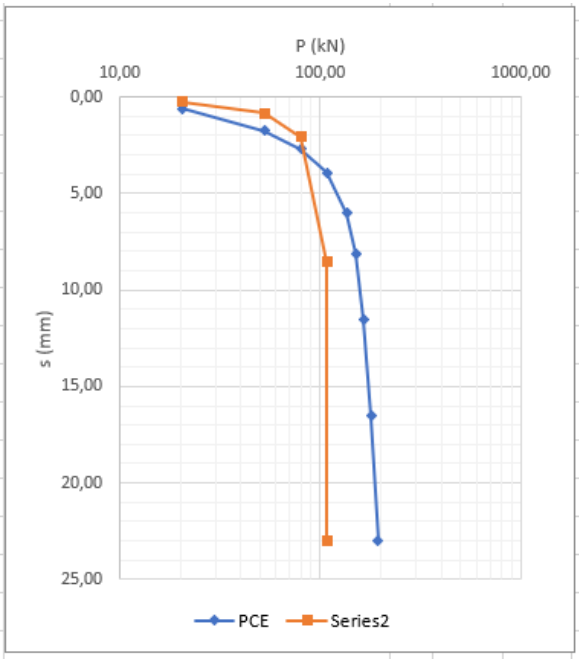


Tabela Comparativa				
i	Dados extraídos da PCE		Previsão curva F-Z	
	P (kN)	w (mm)	P (kN)	s (mm)
0	0,00	0,00	0,00	0,00
1	20,37	0,60	20,37	0,24
2	52,48	1,74	52,48	0,84
3	79,93	2,68	79,93	2,07
4	107,48	3,92	107,48	8,54
5	134,93	6,04	107,58	22,98
6	149,76	8,12		
7	164,88	11,52		
8	179,96	16,54		
9	194,69	22,98		

w1 (m)	0,0002								
Segmento	L (m)	w_{base} (m)	σ_{base} (kPa)	P_{base} (kN)	τ (kPa)	Al (m)	w_{topo} (m)	P_{topo} (kN)	σ_{topo} (kPa)
1	0,33	0,0002	343,26	18,22	7,96	0,27	0,0002	20,37	383,67
2	0,34	0,0002	302,41	16,06	7,81	0,28	0,0002	18,22	343,26
3	0,33	0,0002	263,40	13,98	7,68	0,27	0,0002	16,06	302,41
4	0,33	0,0002	230,96	12,26	6,39	0,27	0,0002	13,98	263,40
5	0,34	0,0002	197,97	10,51	6,31	0,28	0,0002	12,26	230,96
6	0,33	0,0002	166,30	8,83	6,24	0,27	0,0002	10,51	197,97
7	0,33	0,0002	141,85	7,53	4,82	0,27	0,0002	8,83	166,30
8	0,34	0,0002	116,86	6,20	4,78	0,28	0,0002	7,53	141,85
9	0,33	0,0002	92,76	4,93	4,75	0,27	0,0002	6,20	116,86
10	0,5	0,0002	40,65	2,16	6,77	0,41	0,0002	4,93	92,76
P (kN)	**20,37**								
w (mm)	**0,24**								

w2 (m)	0,0008								
Segmento	L (m)	w_{base} (m)	σ_{base} (kPa)	P_{base} (kN)	τ (kPa)	Al (m)	w_{topo} (m)	P_{topo} (kN)	σ_{topo} (kPa)
1	0,33	0,0008	874,80	46,45	22,39	0,27	0,0008	52,48	988,46
2	0,34	0,0008	758,09	40,25	22,31	0,28	0,0008	46,45	874,80
3	0,33	0,0008	645,14	34,25	22,25	0,27	0,0008	40,25	758,09
4	0,33	0,0008	574,67	30,51	13,88	0,27	0,0008	34,25	645,14
5	0,34	0,0008	502,29	26,67	13,84	0,28	0,0008	30,51	574,67
6	0,33	0,0008	432,21	22,95	13,80	0,27	0,0008	26,67	502,29
7	0,33	0,0008	371,96	19,75	11,87	0,27	0,0008	22,95	432,21
8	0,34	0,0008	309,99	16,46	11,85	0,28	0,0008	19,75	371,96
9	0,33	0,0008	249,93	13,27	11,83	0,27	0,0008	16,46	309,99
10	0,5	0,0008	147,57	7,84	13,31	0,41	0,0008	13,27	249,93
P (kN)	**52,48**								
w (mm)	**0,84**								

w3 (m)	0,0020								
Segmento	L (m)	w_{base} (m)	σ_{base} (kPa)	P_{base} (kN)	τ (kPa)	Al (m)	w_{topo} (m)	P_{topo} (kN)	σ_{topo} (kPa)
1	0,33	0,0021	1349,61	71,65	30,70	0,27	0,0021	79,93	1505,47
2	0,34	0,0020	1189,64	63,16	30,58	0,28	0,0021	71,65	1349,61
3	0,33	0,0020	1034,88	54,94	30,48	0,27	0,0020	63,16	1189,64
4	0,33	0,0020	929,28	49,34	20,80	0,27	0,0020	54,94	1034,88
5	0,34	0,0020	820,84	43,58	20,73	0,28	0,0020	49,34	929,28
6	0,33	0,0020	715,88	38,01	20,67	0,27	0,0020	43,58	820,84
7	0,33	0,0020	628,52	33,37	17,21	0,27	0,0020	38,01	715,88
8	0,34	0,0020	538,71	28,60	17,17	0,28	0,0020	33,37	628,52
9	0,33	0,0020	451,68	23,98	17,14	0,27	0,0020	28,60	538,71
10	0,5	0,0020	290,80	15,44	20,91	0,41	0,0020	23,98	451,68
P (kN)	**79,93**								
w (mm)	**2,07**								

w4 (m)	0,0084								
Segmento	L (m)	w_{base} (m)	σ_{base} (kPa)	P_{base} (kN)	τ (kPa)	Al (m)	w_{topo} (m)	P_{topo} (kN)	σ_{topo} (kPa)
1	0,33	0,0085	1811,45	96,18	41,94	0,27	0,0085	107,48	2024,38
2	0,34	0,0085	1592,07	84,53	41,94	0,28	0,0085	96,18	1811,45
3	0,33	0,0085	1379,14	73,22	41,94	0,27	0,0085	84,53	1592,07
4	0,33	0,0085	1261,00	66,95	23,27	0,27	0,0085	73,22	1379,14
5	0,34	0,0084	1139,28	60,49	23,27	0,28	0,0085	66,95	1261,00
6	0,33	0,0084	1021,14	54,22	23,27	0,27	0,0084	60,49	1139,28
7	0,33	0,0084	914,68	48,56	20,97	0,27	0,0084	54,22	1021,14
8	0,34	0,0084	804,99	42,74	20,97	0,28	0,0084	48,56	914,68
9	0,33	0,0084	698,53	37,09	20,97	0,27	0,0084	42,74	804,99
10	0,5	0,0084	537,22	28,52	20,97	0,41	0,0084	37,09	698,53
P (kN)	**107,48**								
w (mm)	**8,54**								

w5 (m)	0,0228								
Segmento	L (m)	w_{base} (m)	σ_{base} (kPa)	P_{base} (kN)	τ (kPa)	Al (m)	w_{topo} (m)	P_{topo} (kN)	σ_{topo} (kPa)
1	0,33	0,0230	1813,32	96,27	41,94	0,27	0,0230	107,58	2026,24
2	0,34	0,0229	1593,94	84,63	41,94	0,28	0,0230	96,27	1813,32
3	0,33	0,0229	1381,01	73,32	41,94	0,27	0,0229	84,63	1593,94
4	0,33	0,0229	1262,87	67,05	23,27	0,27	0,0229	73,32	1381,01
5	0,34	0,0229	1141,15	60,59	23,27	0,28	0,0229	67,05	1262,87
6	0,33	0,0229	1023,01	54,31	23,27	0,27	0,0229	60,59	1141,15
7	0,33	0,0229	916,55	48,66	20,97	0,27	0,0229	54,31	1023,01
8	0,34	0,0228	806,86	42,84	20,97	0,28	0,0229	48,66	916,55
9	0,33	0,0228	700,40	37,19	20,97	0,27	0,0228	42,84	806,86
10	0,5	0,0228	539,09	28,62	20,97	0,41	0,0228	37,19	700,40
P (kN)	**107,58**								
w (mm)	**22,98**								