



UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PARAÍBA – UEPB

CAMPUS VIII (ARARUNA)

CENTRO DE CIÊNCIAS, TECNOLOGIA E SAÚDE – CCTS

COORDENAÇÃO DE ENGENHARIA CIVIL

CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

WILTON SEVERIANO DOS SANTOS

**DETERMINAÇÃO DA CAPACIDADE DE CARGA PARA DIFERENTES TIPOS DE
ESTACAS EM IMPLANTAÇÃO DE FUNDAÇÕES DE TORRES EÓLICAS**

ARARUNA/PB

2022

WILTON SEVERIANO DOS SANTOS

**DETERMINAÇÃO DA CAPACIDADE DE CARGA PARA DIFERENTES TIPOS DE
ESTACAS EM IMPLANTAÇÃO DE FUNDAÇÕES DE TORRES EÓLICAS**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Curso de Engenharia Civil da Universidade Estadual da Paraíba (UEPB), como requisito parcial à obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Civil.

Área de concentração: Fundação

Orientadora: Prof.^a Me. Lays Rianne Azevedo da Costa

ARARUNA/PB

2022

É expressamente proibido a comercialização deste documento, tanto na forma impressa como eletrônica. Sua reprodução total ou parcial é permitida exclusivamente para fins acadêmicos e científicos, desde que na reprodução figure a identificação do autor, título, instituição e ano do trabalho.

S238d Santos, Wilton Severiano dos.

Determinação da capacidade de carga para diferentes tipos de estacas em implantação de fundações de torres eólicas [manuscrito] / Wilton Severiano dos Santos. - 2022.
55 p.

Digitado.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Estadual da Paraíba, Centro de Ciências, Tecnologia e Saúde , 2022.

"Orientação : Profa. Dra. Lays Raianne Azevedo da Costa ,
Coordenação do Curso de Engenharia Civil - CCTS."

1. Fundação. 2. Energia. 3. Eólica. I. Título

21. ed. CDD 624.15

WILTON SEVERIANO DOS SANTOS

DETERMINAÇÃO DA CAPACIDADE DE CARGA PARA DIFERENTES TIPOS DE
ESTACAS EM IMPLANTAÇÃO DE FUNDAÇÕES DE TORRES EÓLICAS

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao
Curso de Engenharia Civil da Universidade
Estadual da Paraíba (UEPB), como requisito
parcial à obtenção do Título de Bacharel em
Engenharia Civil.

Área de concentração: Fundação

Aprovado em: 01 / 12 / 2022.

BANCA EXAMINADORA:



Prof.^a Me. Lays Raianne Azevedo da Costa (Orientadora)

Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)



Prof.^o Dr. Leonardo Medeiros da Costa (Interno)

Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)



Prof. Esp. Phillipy Johny Lindolfo da Silva (Interno)

Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, a Deus, que fez com que meus objetivos fossem alcançados, durante todos os meus anos de estudos e por ter permitido que eu tivesse saúde e determinação para não desanimar em nenhum momento.

Ao meu pai Francisco dos Santos e minha mãe Ivone Maria. Esta monografia é a prova de que todo seu investimento e dedicação valeram a pena.

Ao meu irmão Rogério Severiano e a minha cunhada Paloma Pinheiro que serviram de inspiração durante minha trajetória acadêmica.

Ao meu amigo/irmão Joel Victor que foi uma fonte inesgotável de apoio durante todo o processo. Obrigado por tudo.

Ao Prefeito Marcelo Filho e Secretário de Transporte Horison José por sempre terem me apoiado durante esses 5 anos.

Agradeço a minha Orientadora: Prof.^a Me. Lays Raianne Azevedo da Costa por ter aceitado acompanhar-me neste projeto. O seu empenho foi essencial para a minha motivação à medida que as dificuldades iam surgindo ao longo do percurso.

A todos os meus amigos de curso, grandes companheiros de jornada Alexandre Pimenta, Carlos Picolo, Pedro Targino, Willian Carlos, João Victor, Arthur Costa, Eryclapton e Maria Ana pelo excepcional apoio e incentivo que me deram durante esses 5 anos.

Obrigado a todos!

RESUMO

No domínio da Engenharia Civil, as fundações das torres eólicas configuram elementos essenciais na construção dos parques eólicos, uma vez que é através destas que os esforços, em grande escala induzidos pelo vento, são transmitidos ao solo. Nessa perspectiva, apresenta-se um estudo sobre os métodos de execuções e dimensionamentos de três tipos de estacas para a implantação de um aerogerador do tipo XRGs-01 em três diferentes tipos de solos localizados no estado da Paraíba nos municípios de Cabedelo, João Pessoa e Alhandra, com a finalidade de determinar suas respectivas capacidades de cargas. As vantagens e desvantagens de cada tipo de estacas, sendo elas: estaca pré-fabricadas em concreto protendido, estaca em perfil metálico e estaca raiz, visando o desempenho para a construção de uma torre eólica *onshore*. Para que se tenha um conhecimento mais aprofundado das condições do terreno foram coletados boletins de sondagem do tipo SPT do local. Para efeito de determinação da capacidade de carga das estacas, foram utilizados os métodos semi-empíricos mais empregados no dimensionamento de estacas cravadas no Brasil, propostos por Aoki e Velloso e Decourt e Quaresma no qual foram elaboradas rotinas de cálculos de acordo com as investigações geotécnicas obtidas e escolheu-se os dados do método que apresenta a maior capacidade de carga quando comparado com a capacidade estrutural de cada estaca, por fim, identificou-se o tipo de estaca a ser utilizada na fundação de um aerogerador XRGs-01, analisando de forma separada a capacidades de cargas suporte dos dois métodos estudados. Logo, diante de toda a análise e resultados obtidos, a estaca raiz torna-se a solução mais vantajosa para executar os três projetos, devido se comportar melhor a respeito da capacidade estrutural, possuindo uma elevada capacidade de carga tanto na compressão quanto tração atingindo grandes profundidades.

Palavras-chave: Eólica. Energia. Fundação

ABSTRACT

In the field of Civil Engineering, the foundations of wind towers are essential elements in the construction of wind farms, since it is through them that the large-scale efforts induced by the wind are transmitted to the ground. In this perspective, a study is presented on the methods of execution and dimensioning of three types of piles for the implantation of an XRGS-01 wind turbine in three different types of soil located in the state of Paraíba in the municipalities of Cabedelo, João Pessoa and Alhandra, in order to determine their respective load capacities. The advantages and disadvantages of each type of piles, namely: prefabricated prestressed concrete pile, metallic profile pile and root pile, aiming at performance for the construction of an onshore wind tower. In order to have a more in-depth knowledge of the terrain conditions, SPT-type drilling bulletins were collected from the site. For the purpose of determining the load capacity of the piles, the semi-empirical methods most used in the dimensioning of piles driven in Brazil were used, proposed by Aoki and Velloso and Decourt and Quaresma in which calculation routines were elaborated according to the geotechnical investigations obtained and the data of the method that presents the highest load capacity when compared to the structural capacity of each pile were chosen, finally, the type of pile to be used in the foundation of an XRGS-01 wind turbine was identified, analyzing separate from the support load capabilities of the two methods studied. Therefore, in view of all the analysis and results obtained, the root pile becomes the most advantageous solution to execute the three projects, due to its better behavior in terms of structural capacity, having a high load capacity in both compression and traction, reaching large depths.

Keywords: Wind turbine. Wind. Energy. Foundation

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Esquema genérico de uma sondagem do tipo SPT.....	16
Figura 2 - Sapata circular de uma torre eólica.....	18
Figura 3 - Fundação de uma torre eólica constituída por estacas.....	19
Figura 4 - Emenda soldada.	20
Figura 5 - Emenda por luva de encaixe.	21
Figura 6 - Fases do Método executivo.....	25
Figura 7 - Aerogerador do tipo XRGS-01	33
Figura 8 Distribuição com 30 estacas inclinadas	35

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Fatores de segurança globais mínimos.....	28
Tabela 2 - Fatores de correção F1 e F2	29
Tabela 3 - Coeficiente K e razão de atrito α	29
Tabela 4 - Coeficiente característico do solo.....	32

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	10
2 OBJETIVOS	12
2.1 Objetivos gerais	12
2.2 Objetivos específicos.....	12
3 REFERENCIAL TEÓRICO	13
3.1 Investigações geotécnicas	13
3.1.1 Sondagem à percussão – SPT	14
3.2 Fundações de torres eólicas	16
3.2.1 Fundações superficiais.....	16
3.2.2 Fundações profundas	17
3.2.3 Características das estacas	18
3.2.3.1 Estaca Pré-fabricadas em Concreto Protendido	18
3.2.3.2 Estacas em perfil metálico.....	21
3.2.3.3 Estacas raiz	23
3.3 Capacidade de carga das estacas.....	26
3.3.1 Método Aoki-Velloso	27
3.3.2 Método Décourt-Quaresma.....	29
3.4 Aerogerador xrgs-01.....	31
4 METODOLOGIA.....	33
5 RESULTADOS E DISCURSSÕES.....	35
5.1 Estaca em perfil metálico	35
5.2 Estaca pré-fabricada em concreto protendido.....	36
5.3 Estaca raiz	37
5.4 Estudo comparativo.....	38
6 CONCLUSÃO.....	40

REFERÊNCIAS	41
APÊNDICE A - CAPACIDADE DE CARGAS DAS ESTACAS METÁLICAS -AOKI-VELLOSO.....	43
APÊNDICE B - CAPACIDADE DE CARGAS DAS ESTACAS METÁLICAS - DÉCOURT-QUARESMA	44
APÊNDICE C - CAPACIDADE DE CARGAS DAS ESTACAS METÁLICAS -AOKI-VELLOSO.....	45
APÊNDICE D - CAPACIDADE DE CARGAS DAS ESTACAS METÁLICAS - DÉCOURT-QUARESMA	46
APÊNDICE E - CAPACIDADE DE CARGAS DAS ESTACAS METÁLICAS -AOKI-VELLOSO.....	47
APÊNDICE F - CAPACIDADE DE CARGAS DAS ESTACAS METÁLICAS - DÉCOURT-QUARESMA	48
ANEXO A – PERFIL DE SONDAGEM 01 DO SOLO 01.....	49
ANEXO B – PERFIL DE SONDAGEM 02 DO SOLO 01.....	50
ANEXO C – PERFIL DE SONDAGEM 01 DO SOLO 02.....	51
ANEXO E – PERFIL DE SONDAGEM 02 DO SOLO 02.....	52
ANEXO F – PERFIL DE SONDAGEM 01 DO SOLO 03	53
ANEXO G – PERFIL DE SONDAGEM 02 DO SOLO 03.....	54
ANEXO H – PERFIL DE SONDAGEM 02 DO SOLO 03.....	55

1 INTRODUÇÃO

As energias renováveis tornaram-se nos últimos anos a principal alternativa para produção de eletricidade, tendo em vista, que a queima de combustíveis fósseis (carvão, petróleo, gás natural) nas centrais termoelétricas gera impactos ambientais devido à emissão de CO₂ e de gases poluentes, contrariamente ao que se passa com as fontes renováveis (SILVA, 2019).

Uma das energias renováveis com maior aproveitamento é a energia eólica. Segundo dados da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) divulgados no primeiro semestre de 2020, a energia eólica já é a terceira maior fonte de energia do Brasil, sendo o Nordeste a região que concentra a maior produção.

No campo da Engenharia Civil, as fundações das torres eólicas constituem um elemento fundamental das estruturas que suportam, pois transmitem ao solo os esforços induzidos pela força do vento, por outras ações e pelo peso da estrutura e dos equipamentos (SILVA, 2014).

Nesse sentido, a determinação do tipo de fundação a ser utilizado depende de diversos fatores como por exemplo: tipo de solo, recalques, as cargas atuantes, condições econômicas e técnicas. Portanto, diante das características uniformes que os solos possuem, tanto em sua superfície como em profundidade, é necessário que antes da construção seja realizada uma investigação por meio de ensaio de sondagem a percussão (SPT) (PIUCCO, 2014).

Logo, a partir das informações resultantes do ensaio de sondagem a percussão (SPT) será possível observar a compacidade e a consistência das camadas constituintes do solo, permitindo identificar a capacidade de carga que o mesmo suporta, e assim, poder dimensionar a fundação que a torre em estudo deve possuir para que os requisitos estruturais e geotécnicos de segurança sejam devidamente cumpridos (SILVA, 2019).

As análises foram realizadas em três diferentes tipos de solos no estado Paraíba, já que, a depender da localização dos parques eólicos, os solos encontrados nos terrenos poderão não ter as mesmas características, e, por essa razão, as fundações poderão ser diferentes em cada caso.

O trabalho em questão aborda as torres dos aerogeradores que transformam a energia eólica em energia elétrica, mais particularmente as fundações que as suportam, indicando dentre três tipos de fundações profundas, qual a mais vantajosa levando em consideração o custo do material utilizado, as práticas de execução e suas dificuldades de implantação no solo. Com

isto, visando o desempenho para a construção de uma torre eólica *onshore*. Foram analisadas as estacas pré-fabricadas de concreto protendido, estacas em perfis metálicos e estacas raízes.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivos gerais

Análise da capacidade de carga estrutural de três tipos de fundações profundas, sendo estaca em perfil metálico, estaca pré-fabricada em concreto protendido e estaca raiz, de forma a estimar o comprimento mínimo das estacas e atender os critérios de projeto estabelecido pelo fabricante.

2.2 Objetivos específicos

- Analisar o perfil geológico dos três diferentes tipos de solos com uma sondagem do tipo SPT;
- Dimensionar em três tipos de fundações profundas;
- Analisar as vantagens e desvantagens dos tipos de estacas estudadas.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 Investigações geotécnicas

A fundação é o elemento estrutural que faz a ligação entre o conjunto da torre e o aerogerador, na qual são projetadas para suportar além das cargas verticais, as forças horizontais impostas pelo vento, que irão originar valores muito elevados de momentos fletores na base da torre e na fundação (NASCIMENTO, 2019).

Em projetos de parques eólicos, normalmente tem-se uma distribuição de torres ao longo de alinhamentos aproximadamente retos possuindo um afastamento relativamente grande umas das outras. Desta forma, fazem-se necessárias investigações geotécnicas para cada locação. Pois, mesmo analisando perfis geológicos com pontos de referências muito próximos um dos outros, consegue-se perceber a variabilidade do maciço de solo no que se diz respeito ao tipo de solo, consistência, características de resistência e deformabilidade (PIUCCO, 2014).

A prática mais comum considera a realização de sondagens do tipo SPT para cada uma das fundações no qual consistem na determinação do perfil do subsolo e na identificação das diferentes camadas a partir do material recolhido no amostrador padrão. O material coletado é classificado por meio da combinação da descrição do testemunho de sondagem com as medidas de resistência à penetração (SCHNAID, 2000).

Segundo Faria e Noronha (2013), os esquemas de distribuição mais utilizados para os pontos de sondagens são:

- 2 pontos de sondagem no perímetro externo da fundação, no diâmetro orientado segundo o alinhamento das torres;
- 3 pontos sondagem, sendo 2 no perímetro externo e uma no centro da fundação, orientados no alinhamento das torres;
- 3 pontos de sondagem uniformemente distribuídos ao longo do perímetro externo da fundação (em ângulos de 120°).
-

Dentre as três distribuições supracitadas, as duas primeiras são mais limitadas, pois fornecem uma estimativa do perfil geológico apenas em um plano, logo, a orientação das camadas de solo fora deste plano fica indeterminada, assim, a terceira alternativa destaca-se como sendo mais vantajosa, pois permite esboçar uma estimativa da orientação tridimensional

e da heterogeneidade das camadas que compõe o perfil geológico sob a fundação (FARIA; NORONHA, 2013).

As condições do solo no local de instalação das torres eólicas são determinantes para a escolha do tipo de fundação, que poderá ser rasa ou profunda. As fundações rasas somente são escolhidas quando o perfil do solo possuir alta capacidade de carga ou possuir rocha resistente a uma pequena profundidade. Do contrário, caso o perfil do solo apresente baixa capacidade ou for encontrado camadas de solo mole a profundidades dentro da zona de influência abaixo do elemento de fundação, deve-se adotar soluções com estacas profundas. (FARIA; NORONHA, 2013)

Desta forma, por meio da investigação geológica e da concepção de projeto já se sabe antes de começar a executar o projeto que tipo de fundação é mais adequada para solo analisado, proporcionando segurança no dimensionamento e prevendo os custos, pois, a não execução delas podem trazer prejuízos imensuráveis para as obras (SCHNAID, 2000).

Essas características e propriedades podem ser analisadas tanto em laboratório quanto em campo. No Brasil, o ensaio Sondagem à percussão – SPT descrito a seguir é um dos mais utilizados.

3.1.1 Sondagem à percussão – SPT

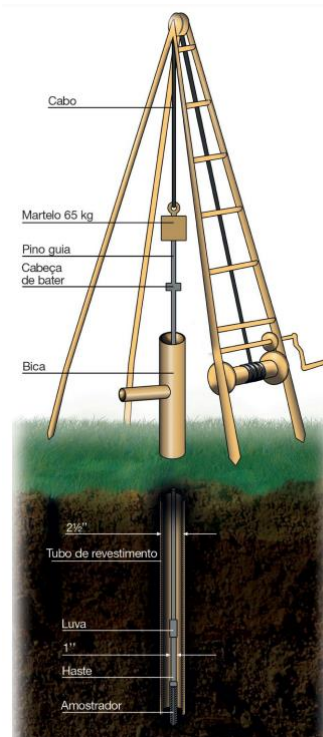
Segundo Schnaid (2000), a sondagem a percussão conhecida pela sigla inglesa SPT (*Standard Penetration Test*), consiste na determinação do perfil do subsolo e na pré-identificação tátil-visual das diferentes camadas a partir do material recolhido no amostrador padrão. O material coletado é classificado por meio da combinação da descrição do testemunho de sondagem com as medidas de resistência à penetração.

No que diz respeito à sondagem SPT, a ABNT NBR 6484/2020 descreve o procedimento de execução começando com a locação de cada furo de sondagem que deve ser indicado com a cravação de um piquete de material apropriado.

Hachich et al. (1998 apud Piucco, 2014), ressaltam que os pontos demarcados com o piquete, em casos específicos, devem ter uma distância entre eles de 15 a 30 metros. Já em áreas extensas e nas investigações iniciais, essa distância vem a ser de 50 a 100 metros. O autor ainda destaca que esses furos de sondagem nunca fiquem num alinhamento e que na sondagem não seja feita apenas um furo no terreno.

De acordo com ABNT NBR 6484/2020, para dar início à perfuração é instalado sobre cada furo o tripé. Perfura-se a camada superficial na profundidade de 1 m com o auxílio do trado-concha ou cavadeira manual. Dando continuidade a sondagem, numa extremidade da haste tem-se o amostrador padrão que será firmado no fundo do furo que foi aberto pelo trado e através dele que serão coletadas as amostras representativas do solo a cada metro. O martelo, um dos componentes da aparelhagem, deve cair em queda livre de uma altura de 75 cm acima do topo da haste, e com sua massa padronizada de 65 kg. Esse procedimento é repetido, e conta-se o número de golpes a cada 15 cm até que o amostrador padrão penetre 45 cm no solo. Amostras de solo são recolhidas e armazenadas para que mais tarde possam ser analisadas por um geólogo. A Figura 1 apresenta o esquema genérico de uma sondagem do tipo SPT.

Figura 1 - Esquema genérico de uma sondagem do tipo SPT.



Fonte: SCHNAID, 2012.

Tratando-se da soma do número de golpes necessários à penetração dos últimos 30cm do amostrador, a ABNT NBR 6484/2020 descreve o Índice de Resistência à Penetração do Solo - N_{SPT} como o valor no qual indica quando o solo é mais ou menos resistente, sendo um parâmetro de extrema importância para analisar a consistência do solo.

Para prosseguir a sondagem até o próximo metro, perfurando os próximos 55 centímetros, utiliza-se um trado helicoidal, desde que não atinja o nível de água. Caso atinja o

nível de água, a perfuração continua por um sistema de circuito fechado de circulação de água com o auxílio de uma motobomba, uma caixa d'água e um trépano (PIUCCO, 2014).

A ABNT NBR 6484/2020 diz que “A cravação do amostrador-padrão é interrompida antes dos 45 cm de penetração sempre que ocorrer uma das seguintes situações:”

- a) se em qualquer dos três segmentos de 15 cm, o número de golpes ultrapassar 40;
- b) se o amostrador-padrão não avançar durante a aplicação de cinco golpes sucessivos do martelo.

3.2 Fundações de torres eólicas

As fundações podem ser classificadas em superficiais ou profundas. As superficiais consistem em fundações que distribuem as cargas provenientes da edificação diretamente no solo. Isso se dá, exclusivamente, pela base da fundação. Já as profundas são aquelas que transmitem as cargas por meio do atrito lateral e de ponta, que é resultante do contato de seu comprimento com o solo (PINHEIRO, 2021).

3.2.1 Fundações superficiais

As fundações superficiais de torres eólicas são usadas em solos em que as características geotécnicas necessárias para suportar as cargas impostas pela torre se encontram a pouca profundidade da superfície do terreno. Estas fundações possuem secção circular com um diâmetro elevado para facilitar a capacidade suporte da torre em relação à turbina (SILVA, 2014). A Figura 2 apresenta este tipo de fundação.

Figura 2 - Sapata circular de uma torre eólica



Fonte: SILVA, 2014

3.2.2 Fundações profundas

As fundações profundas são usadas em solos em que as características geotécnicas necessárias para suportar as cargas impostas pela torre se encontram muito abaixo da superfície do terreno. Este tipo de fundação prevê ainda o uso de um maciço de fundação, executado a pouca profundidade em relação à superfície do terreno (SILVA, 2014).

Faria e Noronha (2013), destacam que as cargas que atuam no topo do bloco são devidas ao peso próprio da torre, ao momento fletor de engastamento e à força cortante causada pelo empuxo do vento na torre e no aerogerador. Além disto, deve-se considerar cargas de subpressão no bloco caso o mesmo situe-se abaixo do nível do lençol freático.

De acordo com a ABNT NBR 6118/2014, os blocos de coroamento, também chamados de blocos sobre estacas, são estruturas de volume usadas para transmitir as cargas das superestruturas aos tubulões ou estacas, podendo ainda serem rígidas ou flexíveis.

Milititsky (2014), salienta que principalmente em casos que o solo superficial não possuir a resistência necessária para resistir aos esforços provenientes da superestrutura em questão é necessário a utilização do bloco de coroamento com as estacas, esses blocos de coroamento geralmente podem ter de 16 a 24 metros de diâmetro suportadas por 16 a 48 unidades de estacas. A Figura 3 apresenta este tipo de fundação.

Figura 3 - Fundação de uma torre eólica constituída por estacas.



Fonte: NASCIMENTO, 2019

Na escolha da fundação profunda devem ser levados em consideração alguns parâmetros de desempenho e segurança, tais como a capacidade de carga da estaca, a permeabilidade, a erosão da água, resistência ao fogo, corrosão, ataque ambiental, esbeltez (PIUCCO, 2014)

Gusmão Filho (2006) explica que essa escolha está conectada aos riscos admitidos e que a escolha do material da estrutura junto com o seu dimensionamento deve suportar as ações solicitadas durante toda a sua vida útil de forma que a estrutura venha a desempenhar a função a qual foi concebida.

3.2.3 Características das estacas

3.2.3.1 Estaca Pré-fabricadas em Concreto Protendido

As estacas Pré-fabricadas em concreto protendido são as mais utilizadas em estruturas de fundações na construção civil. Sua crescente utilização deve-se à resistência a esforços de tração, à minimização de fissuras durante a implantação no solo e à redução das seções transversais, tornando-a favorável para critérios de segurança e economia (DESTERRO, 2019).

Ela é composta por concreto e fios de aço para protensão, que são confeccionadas em equipamentos de alta tecnologia em fábricas especializadas, garantindo as características previstas em projeto (DESTERRO, 2019).

As estacas pré-fabricadas em concreto protendido são encontradas no mercado com um comprimento variando entre 4m a 12m. Este elemento com mais de 12m não é muito viável pelo fato de dificultar o transporte onde será necessária uma licença especial para trafegar. Portanto, em casos que no projeto está definido comprimento de estacas com mais de 12m faz-se uma combinação de peças menores e emendando-as entre si gerando o comprimento desejado (HACHICH, et al.,1998 apud PIUCCO, 2014).

Têm-se dois tipos de emendas, as soldadas e as emendas por anel ou luva de encaixe. A ABNT NBR 6122/2022 instrui que apenas devem ser empregadas as emendas por anel ou luvas quando não houver esforço de tração na sua vida útil ou durante a sua cravação de forma que resistam as ações aplicadas. Isso se explica pelo fato de as emendas soldadas garantirem uma continuidade estrutural da estaca transmitindo os esforços entre as peças. Entretanto, nas emendas por anel ou luvas de encaixe cria-se um sistema de rótula no local da emenda e apenas os esforços de compressão são transferidos entre si.

Em casos em que as estacas necessitam de emendas, interrompe-se a cravação com a estaca a um metro acima do nível do terreno para que seja feito a emenda com maior facilidade.

Nas Figuras 4 e 5 tem-se imagens ilustrativas de uma emenda soldada e uma emenda por luva de encaixe.

Figura 4 - Emenda soldada.



Fonte: PIUCCO, 2014

Figura 5 - Emenda por luva de encaixe.



Fonte: PIUCCO, 2014

Piucco, (2014) destaca que no processo de cravação o elemento estrutural deve atingir a profundidade estabelecida em projeto de acordo com a sua capacidade de carga e sem danificar a mesma.

Lembrando que a cravação das estacas é feita pelo processo de percussão, conforme Nakamura (2014) a relação entre o peso do martelo e o peso da estaca deve ser a maior possível. Nesse contexto, o uso de martelos mais pesados com uma menor altura de queda é mais eficiente que martelos mais leves com uma maior altura de queda.

De acordo com Piucco (2014), as vantagens e desvantagens de uma estaca pré-fabricadas em concreto protendido são:

- A possibilidade de maior controle da qualidade final das peças;
- Um índice de produtividade considerado bom;
- Menor geração de resíduos nas obras em comparação as escavadas que geram a movimentação de solo. Apesar disso, geram muitas perdas significativas com as suas sobras e quebras;

- Não é recomendado quando irá ter solicitações de cargas horizontais ou trações elevadas;
- Irá emitir elevados índices de ruídos e vibrações, podendo prejudicar as construções vizinhas;
- A obra precisa ter condições de logísticas de acesso favoráveis, não limitando as movimentações das máquinas;
- Melhor desempenho na execução ao se atravessar camadas de solos moles;
- Dificuldades na cravação com solos de maiores granulometrias;
- Capacidade de executar estacas inclinadas, porém tomando cuidado com a possibilidade de tombamento dos equipamentos nessa execução.

3.2.3.2 *Estacas em perfil metálico*

Estacas metálicas ou de aço são estacas cravadas no solo por meio de um equipamento denominado bate-estaca através de um processo de percussão e segundo a ABNT NBR 6122/2022 elas são constituídas de elemento estrutural produzido industrialmente, podendo ser de perfis laminados ou soldados, simples ou múltiplos, tubos de chapa dobrada ou calandrada, tubos com ou sem costura e trilhos.

Geralmente encontra-se no mercado perfis de seções I, H, chapas de seção circular, quadrada e retangular. Dependendo da região, muitos trilhos são reutilizados como estacas em perfis metálicos após perderem a sua finalidade por desgaste. Além desses tipos de seções encontradas no mercado, os comprimentos das mesmas, em geral, são de 6m ou 12m (HACHICH, et al.,1998 apud, PIUCCO, 2014).

As emendas são feitas através de soldas no topo da estaca com a utilização de talas, que também são soldadas e tem por finalidade, além de unir as peças, garantem um desempenho mecânico da peça (HACHICH, et al.1998 apud, PIUCCO, 2014).

Apesar de ainda ser considerada uma estaca cara pelo fato do custo do material, essa estaca compete na sua economia no total da obra nos quesitos produtividade e na técnica com as demais fundações. De acordo com Hachich et al. (1998 apud Piucco, 2014), ela se torna economicamente viável por possibilitar uma fácil cravação e em consequência disso

aumentando a produtividade. Possui uma boa resistência à flexão, não apresentando problemas de quebras na hora do manuseio ou armazenamento da mesma, podendo ser empregadas em várias fases da construção.

Em estacas metálicas não há casos relatados na falha estrutural causada pela corrosão do aço, por mais que elas estejam empregadas em solos muito agressivos ou contaminados por produtos químicos, a porcentagem de oxigênio em solos naturais é tão insignificante que o aço não é corroído. A reação química até inicia, mas logo já cessa pela falta de oxigênio que é responsável pela corrosão. Para acontecer à reação química é fundamental que se tenha a água e oxigênio, a ausência de um dos dois, já não acontece o processo de corrosão (GERDAU, 2011).

Contudo, a ABNT NBR 6122/2022 requer que no cálculo das cargas máximas em estacas metálicas totalmente enterradas, seja desconta uma espessura de 1,5mm de toda a sua superfície em contato com o solo.

E por fim, Piucco, (2014) destaca as características vantajosas ou não de uma estaca em perfis metálicos:

- Permite uma fácil cravação em quase todos os tipos de solos sendo com uma baixa vibração;
- Elementos leves;
- Facilidade no transporte e manuseio;
- Podem ser cravadas em solos resistentes sem o levantamento de estacas vizinhas já cravadas;
- Resistência elevada a esforços de tração, compressão e flexão;
- Inexistência de quebras;
- Reaproveitamento das peças;
- A produtividade pode ser afetada quanto ao número de emendas, as várias seções diferentes que se faz necessário à troca dos capacetes das estacas,
- Na emenda, o tempo para a execução do corte e da solda pode vir a ser maior que o tempo de cravação da estaca.
- Alto custo quando comparada às estacas pré-fabricadas, Franki e Strauss.

3.2.3.3 Estacas raiz

A Estaca Raiz é uma estaca argamassada "*in loco*" e de elevada tensão de trabalho do fuste. Caracteriza-se principalmente por ser uma estaca executada com o emprego de revestimento, que permite atingir grandes comprimentos, em rocha ou em solo (GEOFIX, [s.d.]).

A estaca raiz é denominada de estaca escavada injetada. O que difere uma estaca escavada injetada dos outros tipos de estacas de acordo com Hachich et al. (1998 apud Piucco, 2014), é que as escavadas injetadas possuem uma taxa de armadura superior as demais, podem ser implantadas no terreno com inclinações entre 0° a 90° e a carga admissível considerada pode ser a mesma quando a estaca estiver sofrendo uma carga tanto de tração quanto de compressão desde, que o fuste esteja adequadamente armado.

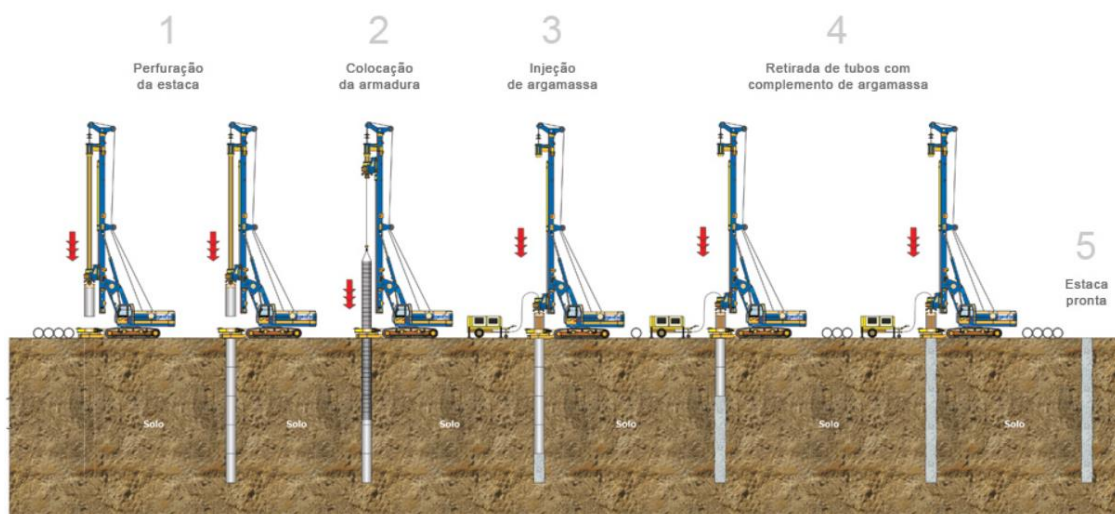
Indicada para qualquer tipo de terreno, a técnica de estaca raiz é especialmente empregada em solos rochosos e em canteiros que apresentam dificuldade de acesso a equipamentos de maior porte, como bate-estaca e perfuratrizes para hélice contínuas (GENESYS, [s.d.]).

Sua instalação é realizada em etapas que incluem a perfuração do solo com o auxílio de circulação de água, a instalação da armadura, o preenchimento desta com argamassa e a remoção de revestimento com a utilização de gás comprimido (ENGECON, [s.d]).

A estaca raiz é concretada "*in-loco*" com injeção de argamassa de cimento possuindo um pequeno diâmetro variando entre 100 mm e 500 mm, quanto maior a medida, maior a carga usual de trabalho à compressão que elas suportam. Na injeção dessa argamassa aplicam-se golpes de pressão para que a argamassa vaze para fora do furo revestindo todo o comprimento da estaca (HACHICH, et al.1998 apud, PIUCCO, 2014).

Devido ao seu processo executivo é uma estaca com elevada capacidade de carga em virtude da resistência do atrito lateral e do seu comprimento. Se no processo atingir a rocha, constata-se a presença de resistência de ponta, aumentando a capacidade de carga. Pode-se atingir grandes comprimentos e atravessar solos de alta resistência à penetração.

Segundo Hachich et al. (1998 apud Piucco, 2014) na execução de uma estaca raiz tem-se 4 etapas consecutivas que serão apresentadas a seguir e posteriormente, na Figura 6, serão demonstradas essas fases:

Figura 6 - Fases do Método executivo

Fonte: GEOFIX, [s.d.]

Na etapa de perfuração é realizada com ajuda da circulação de água que é injetada no interior dos tubos e retorna pela face externa. A perfuração do solo acontece por meio da rotação de tubos de revestimento. Em casos que necessite atravessar camadas mais resistentes utiliza-se um martelo por dentro do tubo de revestimento com um diâmetro inferior ao do tubo. O material de solo resultante da escavação é transportado até a superfície pela ação da água e à medida que a perfuração irá avançando os tubos serão emendados. (HACHICH, et al. 1998 apud PIUCCO, 2014).

Concluída a etapa de perfuração dá-se início a etapa de instalação da armadura descendo-a até a cota inferior da estaca tocando o fundo. Assim garante que terá o mesmo comprimento do fuste. Essa armadura é constituída por várias barras de aço com estribo helicoidal formando uma gaiola (HACHICH, et al. 1998 apud PIUCCO, 2014).

Para estacas que sofrerão apenas esforços de compressão, o transpasse nas emendas das barras é suficiente. Contudo, aquelas que forem aplicadas esforços de tração necessita-se que nas emendas sejam feitas por soldas, luvas rosqueadas ou prensadas (HACHICH, et al. 1998 apud PIUCCO, 2014).

Na etapa de preenchimento de argamassa, que muitos autores também denominam como concretagem, começa com o posicionamento do tubo de injeção até a cota final da perfuração. Esse tubo de injeção de PVC possui diâmetros de 1 ½” e 1 ¼”. Então, lança-se a argamassa de elevada resistência, que é composta por cimento e areia peneirada, por meio desse tubo de baixo

para cima até que a argamassa venha a extravasar de forma que substitua toda a água de circulação contida no tubo por argamassa (HACHICH, et al.,1998 apud PIUCCO, 2014).

Quando toda a perfuração for preenchida com argamassa, emprega-se um tampão metálico no topo do revestimento que fica conectado a um compressor. Posteriormente, irão ser aplicados golpes de ar comprimido no mesmo momento da extração do revestimento. Deve-se sempre adicionar argamassa para o completo preenchimento do tubo, de forma que o nível de argamassa esteja sempre acima da cota de perfuração, na medida em que os revestimentos são retirados. Pois, a argamassa irá baixando o seu nível caso não for acrescentada mais da mesma. Esse preenchimento precisa ser feito antes da aplicação de novos golpes de ar comprimido. Essas operações são repetidas diversas vezes até que sejam retirados todos os tubos de revestimento (HACHICH, et al.1998 apud PIUCCO, 2014).

Porém, segundo Piucco (2014), apesar de tanta eficiência dessa estaca, ela apresenta algumas desvantagens como:

- Elevado consumo de cimento;
- Alta taxa de armadura;
- Custo elevado;
- Disponibilidade de local para a instalação do reservatório de água;
- Local para descarte da água usada na injeção e material resultante da injeção;
- Desperdício de água.

E suas vantagens:

- Podem atingir grandes profundidades;
- Elevada capacidade de carga tanto na compressão quanto tração;
- Pode ser empregada tanto em solo quanto em rocha;
- Possibilidade de estacas com inclinações consideráveis (0° a 90°);
- Não provocam vibrações e nem ruídos;
- Reforço de fundações;
- Adaptam-se facilmente as exigências do local e conseguem trabalhar em lugares de difícil acesso;

3.3 Capacidade de carga das estacas

Para Cintra e Aoki (2010), a capacidade de carga de um elemento de fundação por estaca é a carga máxima necessária para que o conjunto resista ao ser aplicado uma força antes que seja provocada a ruptura do solo, conjunto esse definido como o elemento estrutural e geotécnico formando entre os dois uma interação solo e estrutura.

Se uma determinada carga for aplicada a esse elemento e essa carga for maior que a capacidade de carga do mesmo, esgotando a sua resistência tanto do atrito lateral quanto a de ponta, a estaca viria a se deslocar para baixo gerando recalque na estrutura (PIUCCO, 2014).

Segundo Faria e Noronha (2013) uma estaca submetida a um carregamento vertical irá resistir a essa solicitação tanto pela resistência ao cisalhamento gerada ao longo de seu fuste e quanto pelas tensões normais geradas na sua ponta. A carga última ou de ruptura do conjunto estaca-solo (R) é definida como a soma das cargas máximas que podem ser suportadas pelo atrito lateral (R_{atrito}) e pela ponta (R_{ponta}) (ver Equação 1), ou seja:

$$R = R_{\text{ponta}} + R_{\text{atrito}} \quad (1)$$

Designando-se por r_p e r_s as tensões limites de cisalhamento normal na ponta da estaca e ao longo do fuste, respectivamente, e A_p e A_L as áreas da seção transversal da estaca e a área lateral do fuste da estaca, respectivamente, tem-se, pela Equação 2:

$$R = R_{\text{ponta}} + R_{\text{atrito}} = r_p \cdot A_p + r_L \cdot A_L \quad (2)$$

Para determinação da carga admissível das estacas ou capacidade de suporte de trabalho (R_{adm}), aplica-se o fator de segurança global (Equação 3) recomendado pela ABNT NBR 6122:2022, isto é, $FS = 2,0$ para estacas profundas.

$$R_{\text{adm}} = \frac{R}{FS} \quad (3)$$

A respeito do valor do fator de segurança global a ser considerado, a ABNT NBR 6122/2010 afirma que deve ser analisado tanto o estado-limite último de ruptura quanto o estado-limite de utilização. E a redução do valor do fator em estacas profundas apenas se aplica para quando há um número adequado de provas de carga, como mostra na Tabela 1.

Tabela 1 - Fatores de segurança globais mínimos

Condições	Fator de Segurança
Capacidade de carga de fundações superficiais	3
Capacidade de carga de estacas ou tubulões sem prova de carga	2
Capacidade de carga de estacas ou tubulões com prova de carga	1,6

Fonte: Adaptado de NBR 6122, 2022.

Existem muitos métodos que podem ser utilizados para o cálculo da previsão de capacidade de carga. Porém, foram utilizadas as fórmulas semi-empíricas pelo fato de as teóricas não serem muito confiáveis nessa previsão de capacidade de carga, necessitando assim de muitas pesquisas. Conseqüentemente, serão abordados apenas dois métodos teóricos, o Método do Aoki-Velloso e Décourt-Quaresma que são os métodos brasileiros mais adotados nos projetos de fundações (CINTRA; AOKI, 2010).

3.3.1 Método Aoki-Velloso

Tanto a tensão-limite de ruptura de ponta (R_{ponta}) quanto à de atrito lateral (R_{atrito}) são avaliadas em função da tensão de ponta do ensaio de penetração do cone do CPT. No caso de sondagens com SPT, pode-se utilizar as seguintes correlações similares conforme as Equações 4 e 5 a seguir:

$$R_{ponta} = A_p \cdot \frac{K \cdot N_{SPT}^P}{F_1} \quad (4)$$

$$R_{atrito} = \sum A_L \cdot \frac{\alpha \cdot K \cdot N_{SPT}^L}{F_2} \quad (5)$$

Onde:

- A_p : Área da base da estaca;
- A_L : Área lateral ao longo de todo o comprimento da estaca;
- K e α : Valores tabelados que variam de acordo com a natureza do solo;
- F_1 e F_2 : Valores tabelados que variam de acordo com o tipo de estaca;

Os fatores F1 e F2 são valores de correção que levam em conta a diferença do comportamento da estaca e o cone modelo, a geometria e o tipo de estaca que será empregada. Já α corresponde a razão de atrito ($\alpha = \frac{f_s}{q_c}$) que é um fator que correlaciona o atrito lateral do cone com a resistência de ponta do mesmo, que esse valor é tabelado e será apresentado na Tabela 2.

Tabela 2 - Fatores de correção F1 e F2

Tipos de estaca:	F1	F2
Frank	2,5	2F1
Metálica	1,75	2F1
Pré-moldada	1+D/0,80	2F1
Escavada	3,0	2F1
Raiz, Hélice contínua e Ômega	2,0	2F1

Fonte: Adaptado de Aoki e Velloso (1975)

O parâmetro α e o fator K dependem do tipo de solo. Os autores sugerem os valores apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 - Coeficiente K e razão de atrito α *Continua*

Tipo de solo	K (kgf/cm²)	α (%)
Areia	10,00	1,40
Areia siltosa	8,00	2,00
Areia silto-argilosa	7,00	2,40
Areia argilosa	6,00	2,80
Areia argilo-siltosa	5,00	3,00
Silte	4,00	3,00
Silte arenoso	5,50	2,20
Silte areno-argiloso	4,50	2,80
Silte argiloso	2,30	3,40
Silte argilo-arenoso	2,50	3,00
Argila	2,00	6,00
Argila arenosa	3,50	2,40

		Continuação
Argila areno-siltosa	3,00	2,80
Argila siltosa	2,20	4,00
Argila silto-arenosa	3,30	3,00

Fonte: Adaptado de Aoki e Velloso (2010).

O N_{SPT} utilizado na resistência de ponta da estaca é diferente do qual é empregado na resistência lateral da estaca, o N_{SPT} da resistência lateral será a média dos SPT na espessura da sua camada de solo, sendo representada por N_{SPT}^L e o SPT utilizado na resistência de ponta é o SPT encontrado na cota da ponta, representado por N_{SPT}^P (CINTRA; AOKI, 2010).

3.3.2 Método Décourt-Quaresma

Segundo Piucco, (2014) o método do Décourt-Quaresma fundamenta-se nos valores de ensaios de sondagem à percussão (SPT) e considera dois parâmetros α e β que são de majoração ou de minoração no qual dependem do tipo de solo e do tipo de estaca. O fator α é empregado quando se calcula a resistência de ponta e β para a resistência lateral.

Esse método, originalmente previsto para estacas de deslocamento, foi objeto de algumas extensões, objetivando adequá-lo para outros tipos de estacas e mais recentemente também para adequá-lo ao novo ensaio SPT-T, através do conceito de N-equivalente (Neq).

Para efeito de determinação da capacidade de suporte das estacas, podem ser empregadas as Equações 6 e 7:

$$R_{ponta} = \alpha \cdot C \cdot N_{SPT}^P \cdot A_p \quad (6)$$

$$R_{atrito} = 10 \cdot \beta \cdot \left[\left(\frac{N_{SPT}^L}{3} + 1 \right) \cdot A_L \right] \quad (7)$$

Onde:

- α e β : Valores tabelados que variam com o tipo de solo e o tipo de estaca e minoram as resistências laterais e de ponta das mesmas;
- C: Valor tabelado de resistência do solo;

- N_{SPT}^P : Valor do N_{SPT} na ponta da estaca. Podendo ser considerada uma média entre o N_{SPT} da cota de assentamento e os N_{SPT} imediatamente superior e inferior;
- N_{SPT}^L : Valor médio do N_{SPT} ao longo do fuste, não considerando os valores de N_{SPT} utilizados para o cálculo da resistência de ponta. Para valores de N_{SPT} maiores que 50, deve ser considerado que $N_{SPT} = 50$;
- A_P : Área da base da estaca;
- A_L : Área lateral da estaca, expressa em m^2 ;

Os autores sugerem os valores de α e β em função do tipo de estaca e do tipo de solo., conforme os Quadros 1 e 2 apresentam a seguir.

Quadro 1 - Valores do fator α em função do tipo de estaca e do tipo de solo

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

*valores apenas orientativos diante do reduzido número de dados disponíveis

Fonte: Adaptado de CINTRA; AOKI. 2010.

Quadro 2 - Valores do fator β em função do tipo de estaca e do tipo de solo

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

*valores apenas orientativos diante do reduzido número de dados disponíveis

Fonte: Adaptado de CINTRA; AOKI. 2010.

Os valores do coeficiente característico do solo são sugeridos conforme a Tabela 4 apresenta a seguir.

Tabela 4 - Coeficiente característico do solo

Tipo de solo	C (kN/m²)
Areia	400
Silte arenoso	250
Silte argiloso	200
Argila	120

Fonte: Adaptado de CINTRA; AOKI. 2010.

Com base nessas fórmulas e coeficientes o método de Décourt-Quaresma tem duas formas de calcular a capacidade de carga admissível e deve-se adotar a menor entre essas duas maneiras, conforme apresentado nas Equações 8 e 9:

$$R_{adm} = \frac{R}{2} \quad (8)$$

e

$$R_{adm} = \frac{R_{(Ponta)}}{4} + \frac{R_{(atrito)}}{1,3} \quad (9)$$

3.4 Aerogerador xrgs-01

De acordo com os dados do fornecedor *Honda Energy*, cada aerogerador do tipo XRGs-01 gera uma capacidade de 3 Megawatts. Essa capacidade é capaz de gerar 10.500 Megawatts/ano, sendo capaz de suprir todo o consumo de energia elétrica de 3,8 mil habitantes, evitando emitir 240 quilos de CO² por ano ao meio ambiente. Cada torre possui 94 metros de altura, com pás de 55 metros e peso de 15 toneladas. A Figura 7 mostra um parque eólico com Aerogerador do tipo XRGs-01 (MODAL, 2020).

Figura 7 - Aerogerador do tipo XRGs-01



Fonte: MODAL,2020

4 METODOLOGIA

O presente estudo analisou o perfil geotécnico de três diferentes tipos de solos localizados no estado da Paraíba nos municípios de Cabedelo, João Pessoa e Alhandra, com a finalidade de dimensionar, para cada perfil de solo, três diferentes tipos de fundações profundas, determinando suas respectivas capacidades de cargas para a implantação de um aerogerador XRGs-01.

De acordo com a ABNT NBR 6122 (2022), os tipos de fundações profundas são as estacas e os tubulões, porém este trabalho teve a finalidade de avaliar apenas as estacas. Desta forma, foram escolhidas estacas que apresentam diferenças no seu modo de execução e no seu material. Neste trabalho foram consideradas as estacas pré-fabricadas em concreto protendido, estacas em perfis metálicos e estacas raiz.

Para a caracterização dos três perfis de solos foram consultados os resultados das investigações geotécnicas realizadas no local, e com base nos resultados das sondagens, fez-se a análise da capacidade de suporte da composição estaca-solo, de forma a estimar o comprimento mínimo das estacas de fundação e sua capacidade de suporte.

Conforme o Quadro 3, A fabricante dos aerogeradores apresentou critérios de projeto particulares para a determinação da capacidade de suporte da fundação em estacas.

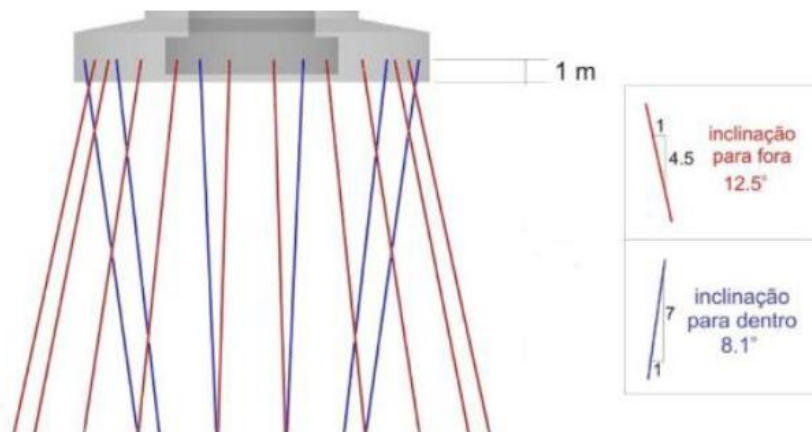
Quadro 3 - Dados do Projeto

Aerogerador	XRGs - 01	
Profundidade de Corte (m)	2,0	m
Fator de Segurança	2,0	NBR6122/2010
Carga Compressão	1725	kN
Carga Tração	420	kN

Fonte: PIUCCO, 2014

Quanto às estacas, foi considerada a distribuição circunferencial de 30 estacas, sendo 20 estacas com inclinação de 4.5:1 (para fora) e 10 estacas com inclinação 7:1 (para dentro), conforme as Figuras 2 e 3 ilustram. A conexão entre as estacas e a fundação foi considerada com o comprimento de superposição de 1 m conforme ilustrado na Figura 8..

Figura 8 - Distribuição com 30 estacas inclinadas



Fonte: FARIA; NORONHA, 2013

Para a determinação do comprimento da estaca será calculado a cada metro da camada de solo a sua capacidade e dando continuidade até que a sua capacidade atinja um valor maior do que a carga aplicada. Para o dimensionamento foi considerada apenas a capacidade de carga a compressão.

Como foi definido em projeto, a profundidade do corte será igual a 2m; foi desconsiderado o atrito lateral dos dois primeiros metros e foram consideradas as capacidades de carga conforme dados apresentados no Quadro 3.

Nos perfis dos solos em que irão ser implantados os aerogeradores analisados nesse trabalho, foram realizados o mínimo 2 furos de sondagem do tipo SPT, cujos resultados se encontram em Anexo A, Anexo B, Anexo C, Anexo D, Anexo E e Anexo F.

Conforme observado nos perfis de sondagem, viu-se que a resistência à penetração cresce com o avanço da profundidade, porém apresenta algumas quedas de resistência em algumas camadas mais profundas principalmente quando encontra a camada com o tipo de solo de argila orgânica.

Para efeito de determinação da capacidade de suporte das estacas cravadas, foram utilizados os métodos semi-empíricos mais empregados para o dimensionamento de estacas cravadas no Brasil, propostos por Aoki e Velloso e Decourt e Quaresma.

Para a determinação do comprimento da estaca, a capacidade de carga foi determinada a cada metro da camada de solo, até que a sua capacidade atingisse um valor maior do que a carga admissível do solo, que nesse caso é de 1725kN.

5 RESULTADOS E DISCURSÕES

5.1 Estaca em perfil metálico

Para o dimensionamento da fundação da torre XRGs-01 com estacas em perfis metálicos foi considerado o perfil HP 310mm x 125 kg/m H. Sua escolha foi devido ser um perfil com maior área de ponta e conseqüentemente maior área de atrito lateral para assim atingir a capacidade de carga admissível do projeto, suas dimensões estão apresentadas na Tabela de bitolas da Gerdau no Anexo 2.

Na Tabela 5 são apresentados, de forma compilada, os resultados dos cálculos de previsão da capacidade de suporte do conjunto estaca-solo para o aerogerador XRGs-01 utilizando estacas metálicas. Para cada estaca, em cada furo, é apresentado apenas o maior valor obtido entre os métodos de dimensionamento empregados.

Tabela 5 - Resultados das previsões de Capacidade de Carga – Estaca em Perfil Metálico

Fundação	Comprimento mínimo da estaca (m)	Carga de Ruptura (kN)	Carga Admissível (kN)	Método Adotado
Solo - 01	16,2	2344,40	1172,2	Décourt-Quaresma
Solo - 02	10	3301,14	1650,6	Aoki e Velloso
Solo - 03	12,45	4377,81	2188,9	Aoki e Velloso

Fonte: Autor

Analisando os resultados contidos nos Apêndices A e B pode-se observar que em ambos os métodos utilizados a capacidade de carga vertical no Solo - 01 não supera a carga de compressão da estaca em perfil metálico, sendo sua maior capacidade de carga vertical do solo apresentada no Método de Décourt-Quaresma de 1172,2 kN na profundidade de 16,2 metros.

Da mesma forma, ocorreu no Solo – 02 sendo sua maior capacidade apresentada no Método de Aoki e Velloso de 1650,6 kN na profundidade de 10 metros.

Porém, no Solo – 03 na profundidade de 12,45 metros, para essa estaca no Método de Aoki e Velloso, tem-se uma capacidade de carga vertical do solo maior que a carga de compressão, sendo essa capacidade de 2188,9kN,

Satisfeita a condição, tem-se uma estaca de perfil metálico HP 310mm x 125 kg/m H com comprimento de 12,45 metros, neste caso, será realizada uma combinação entre uma estaca de 12 metros e uma emenda de 45 centímetros. Serão consideradas emendas soldadas, pois como há esforços de tração não se indica emenda por luvas ou anéis. Sendo assim, garante-se uma continuidade estrutural da estaca e uma continuidade entre esforços das peças.

5.2 Estaca pré-fabricada em concreto protendido

Para os cálculos da capacidade de carga vertical da estaca em concreto protendido foi considerada a estaca com seção de 400x400mm. Esta seção foi escolhida devido possuir uma maior área de ponta, tendo em vista que o projeto requer que atinja uma alta capacidade de carga a compressão, assim, ao aumentar a área de ponta esta capacidade de carga será atingida em uma menor profundidades.

Para calcular a capacidade de carga desta estaca foram utilizados os mesmos métodos descritos para a estaca metálica. Na Tabela 6 são apresentados, de forma compilada, os resultados dos cálculos de previsão da capacidade de suporte do conjunto estaca-solo para o aerogerador XRGs-01 utilizando estaca pré-fabricada em concreto protendido. Para cada estaca, em cada furo, é apresentado apenas o maior valor obtido entre os métodos de dimensionamento empregados.

Tabela 6 - Resultados das previsões de Capacidade de Carga – Estaca pré-fabricada em concreto protendido

Fundação	Comprimento mínimo da estaca (m)	Carga de Ruptura (kN)	Carga Admissível (kN)	Método Adotado
Solo - 01	16,2	3070,17	1535,1	Aoki e Velloso
Solo - 02	9	3889,37	1944,7	Aoki e Velloso
Solo - 03	12,45	6216,20	3108,1	Aoki e Velloso

Fonte: Autor

Analisando os resultados contidos nos Apêndices C e D, onde são apresentados os cálculos para a estaca pré-fabricada em concreto protendido, observa-se que em ambos os métodos a capacidade de carga vertical no Solo - 01 não supera a carga de compressão da estaca,

sendo sua maior capacidade de carga vertical do solo apresentada no Método de Aoki e Velloso de 1535,1 kN na profundidade de 16,2 metros.

Porém, no Solo – 02 na profundidade de 9 metros, através do Método de Aoki e Velloso, tem-se uma capacidade de carga vertical do solo maior que a carga de compressão, sendo essa capacidade de 1944,7 kN.

Da mesma forma, ocorreu no Solo – 03 que no Método de Aoki e Velloso, tem-se uma capacidade de carga vertical do solo maior que a carga de compressão, sendo essa capacidade de 3108,1 kN atingida aos 12,45 metros de profundidade.

No mercado se encontram estacas com um comprimento variando de 4m a 12m. Assim será realizada uma combinação de peças menores. Neste caso, satisfeito a condição, para o Solo – 02 tem-se uma única de tamanho de 9 metros com seção de 400x400 milímetros, E para o Solo - 03 será feita uma combinação com um estacas de 12 metros com uma emenda de 45 centímetros e com seção de 400x400 milímetros.

As emendas também serão soldadas pelos mesmos motivos descritos para a estaca anterior, ou seja, esforços de tração.

5.3 Estaca raiz

Para os cálculos da capacidade de carga vertical na estaca raiz utilizou-se uma estaca de diâmetro nominal de 500 milímetros. Este diâmetro foi escolhido, pois possui uma maior área de ponta, tendo em vista que o projeto requer que atinja uma alta capacidade de carga a compressão, assim, ao aumentar a área de ponta esta capacidade de carga será atingida em uma menor profundidades.

Na Tabela 7 são apresentados, de forma compilada, os resultados dos cálculos de previsão da capacidade de suporte do conjunto estaca-solo para o aerogerador XRGs-01 utilizando estaca raiz.

Tabela 7 - Resultados das previsões de Capacidade de Carga – Estaca Raiz

Fundação	Comprimento mínimo da estaca (m)	Carga de Ruptura (kN)	Carga Admissível (kN)	Método Adotado
Solo - 01	16,2	3653,48	1826,7	Décourt-Quaresma
Solo - 02	7	5796,80	2898,4	Aoki e Velloso
Solo - 03	12,45	6406,60	3203,3	Aoki e Velloso

Fonte: Autor

Analisando os resultados contidos nos Apêndices E e F, observa-se que utilizando estacas raízes a capacidade de carga vertical no Solo - 01 supera a carga de compressão da estaca, sendo sua maior capacidade de carga vertical do solo apresentada no Método de Décourt-Quaresma de 1826,7 kN na profundidade de 16,2 metros.

No Solo – 02 na profundidade de 7 metros, através do Método de Aoki e Velloso, tem-se uma capacidade de carga vertical do solo maior que a carga de compressão, sendo essa capacidade de 2898,4 kN.

Da mesma forma, ocorreu no Solo – 03 que no Método de Aoki e Velloso, tem-se uma capacidade de carga vertical do solo maior que a carga de compressão, sendo essa capacidade de 3272,6 kN atingida aos 12,45 metros de profundidade.

Neste caso, satisfeito a condição, para o Solo – 01 tem-se uma estaca raiz com 16,2 metros que não irá atingir a capacidade de carga estrutural de projeto e para o Solo – 02 uma com 7 metros e para o Solo – 03 uma com 12,45 metros de comprimento, todas possuindo 500 milímetros de diâmetro.

5.4 Estudo comparativo

Ao comparar todos os resultados obtidos nos três solos diferentes, pode-se observar que no solo - 01 apenas a estaca raiz por meio do método de Décourt-Quaresma superou a capacidade de carga a compressão que o projeto requer. O motivo é pelo fato da sua área de ponta ser maior que as outras duas analisadas, e mesmo que sua área lateral seja menor, não é tão significativa a diferença, logo, ao aplicar o método a capacidade de carga para uma estaca pré-fabricada em concreto protendido será maior.

No cálculo de dimensionamento da capacidade de carga, as estacas pré-fabricadas em concreto protendido possuem uma ótima capacidade de carga do solo, no entanto as estacas raízes foram dimensionadas com um grande diâmetro de 500 milímetros para suportar a capacidade de carga. No mesmo contexto, a estaca em perfil metálico mesmo na escolha de seções maiores, apresentou-se extremamente insuscetível para superar a capacidade de carga a compressão estabelecida em projeto.

Entretanto, como a estaca raiz possui um custo elevado, apenas emprega-se a execução desta quando se tem rocha ou a necessidade de estacas inclinadas ou reforços de estruturas ou quando há limitações do terreno ou da vizinhança tais como ausência de ruído e vibrações, e locais de difícil acesso.

6 CONCLUSÃO

Na Engenharia das Fundações, quando se recebe uma proposta para analisar que tipo de fundação que será empregada no local, primeiro se analisa o solo, estudam-se quais estacas são possíveis para o tipo de solo e depois se procura a solução mais barata, porém, em projetos de parques eólicos o objetivo principal é a produção de energia através dos ventos, logo, independente da locação da turbina eólica, pouco importa as dificuldades que irão surgir para implanta-la, tendo em vista que o retorno financeiro através da produção de energia é bem mais significativo do que os custos do dimensionamento.

Desta forma, o presente estudo identificou o tipo de estaca a ser utilizada na fundação de um aerogerador XRGS-01 em três diferentes tipos de solos localizados no estado da Paraíba nos municípios de Cabedelo, João Pessoa e Alhandra, analisando de forma separada a capacidades de cargas suporte dos dois métodos estudados e escolheu-se aquele que apresentou a maior capacidade de carga.

A estaca pré-fabricada em concreto protendido possui um custo menor em comparação às outras. No entanto, elas apresentam dificuldades na cravação em camadas mais profundas com alta resistência à cravação, podendo vir a quebrar gerando perdas significativas com as suas sobras do material.

A estaca em perfil metálico torna-se impossibilitada de ser executada devido ao seu elevado custo, ele seria indicada se no perfil geológico houvesse um banco, uma camada mais resistente, que impedisse a cravação da pré-fabricada em concreto protendido, sendo que com a sua facilidade de corte atravessaria esse banco sem quebrar a estaca.

Logo, diante de toda a análise e resultados obtidos, mesmo possuindo um custo elevado, a estaca raiz com diâmetro nominal de 500 milímetros torna-se a solução mais vantajosa e viável para executar os três projetos, devido conseguir atingir grande profundidade e elevada capacidade de carga, superando a capacidade estrutural requerida pelo fabricante dos aerogeradores.

REFERÊNCIAS

- ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 6118: **Projeto de estruturas de concreto – Procedimento**. Rio de Janeiro, 2014.
- ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 6122: **Projeto e execução de fundações**. Rio de Janeiro, 2022.
- ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 6484: Solo – **Sondagens de simples reconhecimento com SPT – Método de ensaio**. Rio de Janeiro, 2020.
- CINTRA, J. C. A.; AOKI, Nelson. **Fundações por estacas: projeto geotécnico**. São Paulo: Oficina de Textos, 2010. Disponível em: <https://www.academia.edu/36917343/Funda%C3%A7%C3%B5es_por_Estacas_Projeto_Geot%C3%A9cnico_Jos%C3%A9_Carlos_A_Cintra_Nelson_Aoki>. Acesso em: 20 jul. 2022.
- ESTACAS protendidas: O que são e quais as suas vantagens. **Desterro Construções**, 27 de ago de 2019. Disponível em: <<https://www.desterroconstrucoes.com.br/blog/construcao/estacas-protendidas-o-que-sao-e-quais-as-suas-vantagens/>>. Acesso em: 20 jul. 2022.
- ESTACAS raiz. **Engecon Fundações**, [s.d.]. Disponível em: <<https://www.engeconfundacoes.com.br/estaca-raiz>>. Acesso em: 19 nov. 2022.
- ESTACAS raiz. **Genesys Fundações**, [s.d.]. Disponível em: <<https://genesysfundacoes.com.br/estacas-raiz/>>. Acesso em: 19 nov. 2022.
- ESTACAS raiz. **Geofix**, [s.d.]. Disponível em: <<http://www.geofix.com.br/servico-estaca-raiz.php>>. Acesso em: 19 nov. 2022.
- FARIA, P. O., NORONHA, M. **Fundações de Torres Eólicas – Estudo de Caso**. 2013. 12p. Rio Grande do Sul, 2013. Disponível em: <<https://www.researchgate.net/publication/307512613>>. Acesso em: 20 de julho de 2022.
- FILHO, J. G. **Desempenho de obras geotécnicas**. Recife: Ed. Universitária da UFPE, 2006. Disponível em: <<https://www.livrebooks.com.br/livros/desempenho-de-obras-geotecnicas-jaime-de-a-gusmao-filho-sojnxgiyl2ec/baixar-ebook>>. Acesso em: 10 nov. 2022.
- GERDAU. **Coletânea do Uso do Aço – Manual de Estacas Metálicas**. São Paulo: Equipe Técnica Gerdau, 2011. Disponível em: <<https://docplayer.com.br/10187371-Coletanea-do-uso-do-aco-estacas-metalicas-gerdau.html>>. Acesso em: 10 nov. 2022.
- HACHICH, W. *et al.* **Fundações: teoria e prática**. São Paulo: Pini, 1998.
- MILITITSKY, J. **Desafios na solução de fundações de aerogeradores**. IBRACON. **Concreto & Construções**, São Paulo, set. 2014. Disponível em: <http://ibracon.org.br/publicacoes/revistas_ibracon/rev_construcao/pdf/Revista_Concreto_75.pdf>. Acesso em: 10 de Nov de 2022.
- NAKAMURA, J. **Estacas Pré-fabricadas de Concreto. Infraestrutura urbana projetos, custos e construção**, São Paulo, ed. 38, maio. 2014. Disponível em: <<https://www.prefeitura.sp.gov.br/cidade/secretarias/upload/infraestrutura/Revista%20Infraestr>

utura%20Maio/revista_infraestrutura_urbana_estacas_pre_moldadas_de_concreto_2014_05.pdf>. Acesso em: 21 de Nov de 2022.

NASCIMENTO, Felipe. **Engenharia de Fundações de Aerogeradores de Grande Porte – Calter Engenharia**, 2019 Disponível em: <
[https://portaldenegocios.com/crea/sc/engenharia-de-fundacoes-de-aerogeradores-de-grande-
porte-calter-engenharia/](https://portaldenegocios.com/crea/sc/engenharia-de-fundacoes-de-aerogeradores-de-grande-porte-calter-engenharia/)> Acesso em: 8 nov. 2022.

PINHEIRO, Igor. **Fundações Rasas: Conheça Cada Tipo e Suas Características**. Inova civil, Fortaleza, 13 out 2021. Disponível em: <https://www.inovacivil.com.br/fundacoes-rasas/#:~:text=As%20funda%C3%A7%C3%B5es%20rasas%20consistem%20em,seu%20compimento%20com%20o%20solo>. Acesso em: 10 nov. 2022.

PIUCCO, L. T. **Estudos e Dimensionamento das Fundações de uma Torre Eólica**. 2014. Mestrado (Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, Florianópolis 2014. Disponível em:
<https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/127344>. Acesso em: 10 nov. 2022.

SCHNAID, F., ODEBRECHT. E. **Ensaaios de campo e suas aplicações à engenharia de fundações**. 2ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2012. Disponível em:
<https://www.academia.edu/39300681/Ensaaios_de_Campo_Schnaid>. Acesso em: 10 nov. 2022.

SILVA, M. D. **Tipificação de fundações de torres eólicas em parques industriais, para diversos tipos de solos**. 2014. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade da Madeira, 2014. Disponível em: <https://core.ac.uk/download/pdf/47133684.pdf> Acesso em: : 20 jul, 2022.

APÊNDICE A - CAPACIDADE DE CARGAS DAS ESTACAS METÁLICAS -AOKI-VELLOSO

CAPACIDADE DE CARGA - AOKI-VELLOSO - METÁLICA HP 310 X 125 H					
Furo:	SP03		Tw (m):	0,0174	
F1:	1,75	F2:	3,50	Bf (m):	0,312
Tipo de Estaca:	1	Área de ponta (cm²):	954,81	d (m):	0,312
FS:	2,0	Área Lateral (cm²):	16112		

Tipo de estaca	F1	F2
1 Metálica	1,75	2F1
2 Pré-moldada	1,75	2F1
3 Raiz	2	2F1

Prof. (m)	Nspt	K (KN/cm²)	α	RP (kN)	RL uni (kN)	RL acum	RADM (kN)
1,45	5	0,100	0,014	272,8	32,22	32,22	152,5
2,45	44	0,100	0,014	2400,7	283,57	315,80	1358,2
3,45	50	0,100	0,014	2728,0	322,24	638,04	1683,0
4,45	11	0,023	0,034	138,0	39,60	677,63	407,8
5,45	36	0,023	0,034	451,8	129,60	807,23	629,5
6,45	14	0,023	0,034	175,7	50,40	857,63	516,7
7,45	13	0,022	0,040	156,0	52,66	910,29	533,2
8,45	18	0,022	0,040	216,1	72,92	983,21	599,6
9,45	20	0,022	0,040	240,1	81,02	1064,23	652,1
10,45	24	0,022	0,040	288,1	97,22	1161,45	724,8
11,45	41	0,022	0,040	492,1	166,09	1327,55	909,8
12,45	50	0,100	0,014	2728,0	322,24	1649,79	2188,9
13,45	50	0,100	0,014	2728,0	322,24	1972,03	2350,0

CAPACIDADE DE CARGA - AOKI-VELLOSO - METÁLICA HP 310 X 125 H					
Furo:	SP02		Tw (m):	0,0174	
F1:	1,75	F2:	3,50	Bf (m):	0,312
Tipo de Estaca:	1	Área de ponta (cm²):	954,81	d (m):	0,312
FS:	2,0	Área Lateral (cm²):	16112		

Tipo de estaca	F1	F2
1 Metálica	1,75	2F1
2 Pré-moldada	1,75	2F1
3 Raiz	2	2F1

Prof. (m)	Nspt	K (KN/cm²)	α	RP (kN)	RL uni (kN)	RL acum	RADM (kN)
1	10	0,100	0,014	545,6	64,45	64,45	305,0
2	10	0,100	0,014	545,6	64,45	128,90	337,3
3	10	0,100	0,014	545,6	64,45	193,34	369,5
4	15	0,100	0,014	818,4	96,67	290,02	554,2
5	23	0,060	0,030	752,9	190,58	480,60	616,8
6	27	0,050	0,028	736,6	174,01	654,61	695,6
7	50	0,050	0,028	1364,0	322,24	976,85	1170,4
8	49	0,050	0,028	1336,7	315,80	1292,64	1314,7
9	50	0,050	0,028	1364,0	322,24	1614,88	1489,4
10	50	0,050	0,028	1364,0	322,24	1937,12	1650,6

CAPACIDADE DE CARGA - AOKI-VELLOSO - METÁLICA HP 310 X 125 H					
Furo:	SP01		Tw (m):	0,0174	
F1:	1,75	F2:	3,50	Bf (m):	0,312
Tipo de Estaca:	1	Área de ponta (cm²):	954,81	d (m):	0,312
FS:	2,0	Área Lateral (cm²):	16112		

Tipo de estaca	F1	F2
1 Metálica	1,75	2F1
2 Pré-moldada	1,75	2F1
3 Raiz	2	2F1

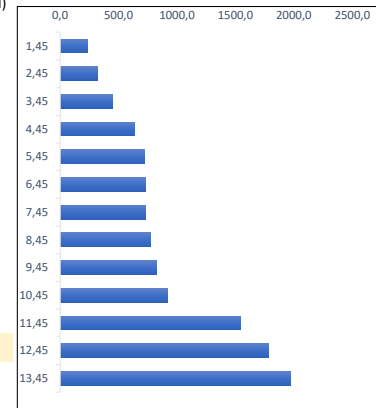
Prof. (m)	Nspt	K (KN/cm²)	α	RP (kN)	RL uni (kN)	RL acum	RADM (kN)
0,4	5	0,035	0,024	95,5	19,33	19,33	57,4
1,4	4	0,035	0,024	76,4	15,47	34,80	55,6
2,4	3	0,035	0,024	57,3	11,60	46,40	51,8
3,4	4	0,035	0,024	76,4	15,47	61,87	69,1
4,4	6	0,035	0,024	114,6	23,20	85,07	99,8
5,4	9	0,035	0,024	171,9	34,80	119,87	145,9
6,4	9	0,035	0,024	171,9	34,80	154,68	163,3
7,4	15	0,035	0,024	286,4	58,00	212,68	249,6
8,4	20	0,035	0,024	381,9	77,34	290,02	336,0
9,4	21	0,035	0,024	401,0	81,20	371,22	386,1
10,4	20	0,035	0,024	381,9	77,34	448,56	415,2
11,4	23	0,035	0,024	439,2	88,94	537,50	488,4
12,4	30	0,035	0,024	572,9	116,01	653,50	613,2
13,4	41	0,035	0,024	782,9	158,54	812,04	797,5
14,4	45	0,035	0,024	859,3	174,01	986,05	922,7
15,4	50	0,035	0,024	954,8	193,34	1179,40	1067,1
16,2	50	0,035	0,024	954,8	193,34	1372,74	1163,8

APÊNDICE B - CAPACIDADE DE CARGAS DAS ESTACAS METÁLICAS - DÉCOURT-QUARESMA

CAPACIDADE DE CARGA - DÉCOURT-QUARESMA - METÁLICA HP 310 X 125 H					
Furo:	SP03			Tw (m):	0,0174
				Bf (m):	0,312
Tipo de Estaca:	2	Área de ponta (cm²):	954,81	d (m):	0,312
FS:	2,0	Área Lateral (cm²):	16112		

Tipo de estaca	α	beta
1 Metálica	1	1
2 Pré-moldada	1	1
3 Raiz	1	1

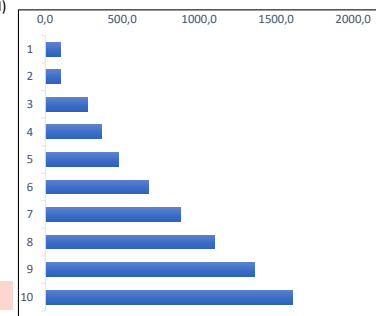
Prof. (m)	Nspt	C (KN/cm²)	RP (kN)	NLspt	RL (kN)	R (kN)	R/2 (kN)	Rp/4 + RL/1,3 (kN)	Radm (kN)
1,45	5	0,040	935,7	0,00	0,00	935,71	467,9	233,9	233,9
2,45	44	0,040	1260,3	0,00	0,00	1260,35	630,2	315,1	315,1
3,45	50	0,040	1336,7	5,00	148,23	1484,96	742,5	448,2	448,2
4,45	11	0,020	617,4	24,50	657,24	1274,68	637,3	659,9	637,3
5,45	36	0,020	388,3	33,00	1053,72	1442,01	721,0	907,6	721,0
6,45	14	0,020	401,0	27,50	1056,54	1457,56	728,8	913,0	728,8
7,45	13	0,012	171,9	29,20	1288,37	1460,24	730,1	1034,0	730,1
8,45	18	0,012	194,8	26,67	1346,34	1541,12	770,6	1084,3	770,6
9,45	20	0,012	236,8	24,71	1406,58	1643,37	821,7	1141,2	821,7
10,45	24	0,012	324,6	23,88	1508,32	1832,95	916,5	1241,4	916,5
11,45	41	0,040	1464,0	23,44	1626,18	3090,22	1545,1	1616,9	1545,1
12,45	50	0,040	1795,0	23,50	1771,92	3566,96	1783,5	1811,8	1783,5
13,45	50	0,040	1909,6	25,09	2029,16	3938,78	1969,4	2038,3	1969,4



CAPACIDADE DE CARGA - DÉCOURT-QUARESMA - METÁLICA HP 310 X 125 H					
Furo:	SP02			Tw (m):	0,0174
				Bf (m):	0,312
Tipo de Estaca:	2	Área de ponta (cm²):	954,81	d (m):	0,312
FS:	2,0	Área Lateral (cm²):	16112		

Tipo de estaca	α	beta
1 Metálica	1	1
2 Pré-moldada	1	1
3 Raiz	1	1

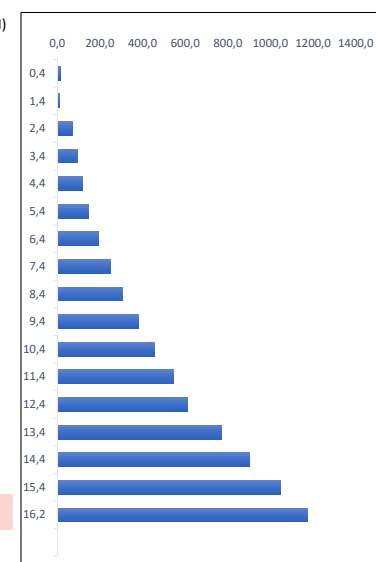
Prof. (m)	Nspt	C (KN/cm²)	RP (kN)	NLspt	RL (kN)	R (kN)	R/2 (kN)	Rp/4 + RL/1,3 (kN)	Radm (kN)
1	10	0,040	381,9	0,00	0,00	381,92	191,0	95,5	95,5
2	10	0,040	381,9	0,00	0,00	381,92	191,0	95,5	95,5
3	10	0,040	445,6	10,00	209,46	655,03	327,5	272,5	272,5
4	15	0,040	611,1	10,00	279,27	890,35	445,2	367,6	367,6
5	23	0,040	827,5	10,00	349,09	1176,60	588,3	475,4	475,4
6	27	0,040	1273,1	11,25	459,19	1732,27	866,1	671,5	671,5
7	50	0,040	1604,1	13,60	624,07	2228,15	1114,1	881,1	881,1
8	49	0,040	1896,9	15,83	809,18	2706,07	1353,0	1096,7	1096,7
9	50	0,040	1896,9	20,71	1146,25	3043,14	1521,6	1356,0	1356,0
10	50	0,040	1909,6	24,25	1463,51	3373,13	1686,6	1603,2	1603,2



CAPACIDADE DE CARGA - DÉCOURT-QUARESMA - METÁLICA HP 310 X 125 H					
Furo:	SP01			Tw (m):	0,0174
				Bf (m):	0,312
Tipo de Estaca:	2	Área de ponta (cm²):	954,81	d (m):	0,312
FS:	2,0	Área Lateral (cm²):	16112		

Tipo de estaca	α	beta
1 Metálica	1	1
2 Pré-moldada	1	1
3 Raiz	1	1

Prof. (m)	Nspt	C (KN/cm²)	RP (kN)	NLspt	RL (kN)	R (kN)	R/2 (kN)	Rp/4 + RL/1,3 (kN)	Radm (kN)
0,4	5	0,012	51,6	0,00	0,00	51,56	25,8	12,9	12,9
1,4	4	0,012	45,8	0,00	0,00	45,83	22,9	11,5	11,5
2,4	3	0,012	42,0	5,00	103,12	145,13	72,6	89,8	72,6
3,4	4	0,012	49,7	4,50	136,95	186,60	93,3	117,8	93,3
4,4	6	0,012	72,6	4,00	165,42	237,98	119,0	145,4	119,0
5,4	9	0,012	91,7	4,00	203,01	294,67	147,3	179,1	147,3
6,4	9	0,012	126,0	4,40	254,35	380,39	190,2	227,2	190,2
7,4	15	0,012	168,0	5,17	324,57	492,61	246,3	291,7	246,3
8,4	20	0,012	213,9	5,71	393,13	607,01	303,5	355,9	303,5
9,4	21	0,012	233,0	7,43	526,67	759,65	379,8	463,4	379,8
10,4	20	0,012	244,4	8,93	666,27	910,70	455,4	573,6	455,4
11,4	23	0,012	278,8	10,21	808,96	1087,76	543,9	692,0	543,9
12,4	30	0,012	359,0	10,00	865,75	1224,76	612,4	755,7	612,4
13,4	41	0,012	443,0	12,19	1093,39	1536,42	768,2	951,8	768,2
14,4	45	0,012	519,4	13,63	1286,05	1805,47	902,7	1119,1	902,7
15,4	50	0,012	553,8	15,67	1544,30	2098,09	1049,0	1326,4	1049,0
16,2	50	0,012	572,9	17,36	1771,51	2344,40	1172,2	1505,9	1172,2

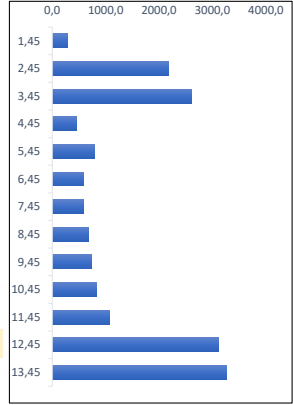


APÊNDICE C - CAPACIDADE DE CARGAS DAS ESTACAS METÁLICAS -AOKI-VELLOSO

CAPACIDADE DE CARGA - AOKI-VELLOSO - PRÉ-FABRICADA					
Furo:	SP03				
F1:	1,75	F2:	3,50		
Tipo de Estaca:	2	Área de ponta (cm ²):		1600	
FS:	2,0	Área Lateral (cm ²):		16000	

Tipo de estaca	F1	F2
1 Metálica	1,75	2F1
2 Pré-moldada	1,75	2F1
3 Raiz	2	2F1

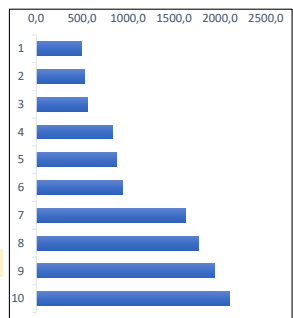
Prof. (m)	Nspt	K (KN/cm ²)	α	RP (kN)	RL uni (kN)	RL acum	RADM (kN)
1,45	6	0,100	0,014	548,6	38,40	38,40	293,5
2,45	44	0,100	0,014	4022,9	281,60	320,00	2171,4
3,45	50	0,100	0,014	4571,4	320,00	640,00	2605,7
4,45	11	0,023	0,034	231,3	39,32	679,32	455,3
5,45	36	0,023	0,034	757,0	128,69	808,02	782,5
6,45	14	0,023	0,034	294,4	50,05	858,07	576,2
7,45	13	0,022	0,040	261,5	52,30	910,36	585,9
8,45	18	0,022	0,040	362,1	72,41	982,77	672,4
9,45	20	0,022	0,040	402,3	80,46	1063,23	732,8
10,45	24	0,022	0,040	482,7	96,55	1159,78	821,3
11,45	41	0,022	0,040	824,7	164,94	1324,72	1074,7
12,45	50	0,100	0,014	4571,4	320,00	1644,72	3108,1
13,45	50	0,100	0,014	4571,4	320,00	1964,72	3268,1



CAPACIDADE DE CARGA - AOKI-VELLOSO - PRÉ-FABRICADA					
Furo:	SP02				
F1:	1,75	F2:	3,50		
Tipo de Estaca:	2	Área de ponta (cm ²):		1600	
FS:	2,0	Área Lateral (cm ²):		16000	

Tipo de estaca	F1	F2
1 Metálica	1,75	2F1
2 Pré-moldada	1,75	2F1
3 Raiz	2	2F1

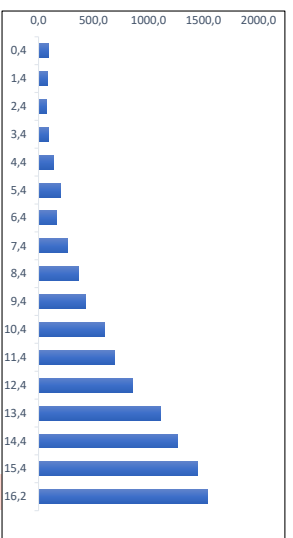
Prof. (m)	Nspt	K (KN/cm ²)	α	RP (kN)	RL uni (kN)	RL acum	RADM (kN)
1	10	0,100	0,014	914,3	64,00	64,00	489,1
2	10	0,100	0,014	914,3	64,00	128,00	521,1
3	10	0,100	0,014	914,3	64,00	192,00	553,1
4	15	0,100	0,014	1371,4	96,00	288,00	829,7
5	23	0,060	0,030	1261,7	189,26	477,26	869,5
6	27	0,050	0,028	1234,3	172,80	650,06	942,2
7	50	0,050	0,028	2285,7	320,00	970,06	1627,9
8	49	0,050	0,028	2240,0	313,60	1283,66	1761,8
9	50	0,050	0,028	2285,7	320,00	1603,66	1944,7
10	50	0,050	0,028	2285,7	320,00	1923,66	2104,7



CAPACIDADE DE CARGA - AOKI-VELLOSO - PRÉ-FABRICADA					
Furo:	SP01				
F1:	1,75	F2:	3,50		
Tipo de Estaca:	2	Área de ponta (cm ²):		1600	
FS:	2,0	Área Lateral (cm ²):		16000	

Tipo de estaca	F1	F2
1 Metálica	1,75	2F1
2 Pré-moldada	1,75	2F1
3 Raiz	2	2F1

Prof. (m)	Nspt	K (KN/cm ²)	α	RP (kN)	RL uni (kN)	RL acum	RADM (kN)
0,4	5	0,035	0,024	160,0	19,20	19,20	89,6
1,4	4	0,035	0,024	128,0	15,36	34,56	81,3
2,4	3	0,035	0,024	96,0	11,52	46,08	71,0
3,4	4	0,035	0,024	128,0	15,36	61,44	94,7
4,4	6	0,035	0,024	192,0	23,04	84,48	138,2
5,4	9	0,035	0,024	288,0	34,56	119,04	203,5
6,4	9	0,020	0,060	164,6	49,37	168,41	166,5
7,4	15	0,020	0,060	274,3	82,29	250,70	262,5
8,4	20	0,020	0,060	365,7	109,71	360,41	363,1
9,4	21	0,020	0,060	384,0	115,20	475,61	429,8
10,4	20	0,035	0,024	640,0	76,80	552,41	596,2
11,4	23	0,035	0,024	736,0	88,32	640,73	688,4
12,4	30	0,035	0,024	960,0	115,20	755,93	858,0
13,4	41	0,035	0,024	1312,0	157,44	913,37	1112,7
14,4	45	0,035	0,024	1440,0	172,80	1086,17	1263,1
15,4	50	0,035	0,024	1600,0	192,00	1278,17	1439,1
16,2	50	0,035	0,024	1600,0	192,00	1470,17	1535,1

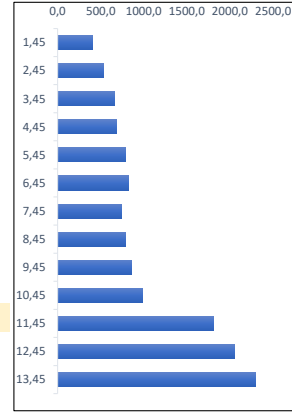


APÊNDICE D - CAPACIDADE DE CARGAS DAS ESTACAS METÁLICAS - DÉCOURT-QUARESMA

CAPACIDADE DE CARGA - DÉCOURT-QUARESMA - PRÉ-FABRICADA			
Furo:	SP03		
Tipo de Estaca:	2	Área de ponta (cm ²):	1600
FS:	2,0	Área Lateral (cm ²):	16000

Tipo de estaca	α	beta
1 Metálica	1	1
2 Pré-moldada	1	1
3 Raiz	1	1

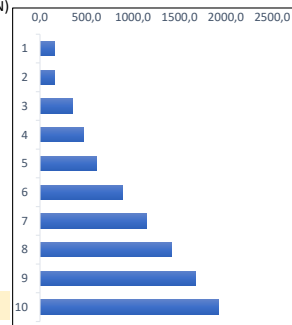
Prof. (m)	Nspt	C (KN/cm ²)	RP (kN)	NLspt	RL (kN)	R (kN)	R/2 (kN)	Rp/4 + RL/1,3 (kN)	Radm (kN)
1,45	6	0,040	1600,0	0,00	0,00	1600,00	800,0	400,0	400,0
2,45	44	0,040	2133,3	0,00	0,00	2133,33	1066,7	533,3	533,3
3,45	50	0,040	2240,0	4,14	131,34	2371,34	1185,7	661,0	661,0
4,45	11	0,020	1034,7	20,41	555,55	1590,22	795,1	686,0	686,0
5,45	36	0,020	650,7	28,99	929,71	1580,38	790,2	877,8	790,2
6,45	14	0,020	672,0	24,94	961,27	1633,27	816,6	907,4	816,6
7,45	13	0,012	288,0	26,97	1190,91	1478,91	739,5	988,1	739,5
8,45	18	0,012	326,4	24,96	1260,12	1586,52	793,3	1050,9	793,3
9,45	20	0,012	396,8	23,36	1328,33	1725,13	862,6	1121,0	862,6
10,45	24	0,012	544,0	22,72	1433,57	1977,57	988,8	1238,7	988,8
11,45	41	0,040	2453,3	22,43	1553,16	4006,49	2003,2	1808,1	1808,1
12,45	50	0,040	3008,0	22,58	1698,76	4706,76	2353,4	2058,7	2058,7
13,45	50	0,040	3200,0	24,19	1950,58	5150,58	2575,3	2300,4	2300,4



CAPACIDADE DE CARGA - DÉCOURT-QUARESMA - PRÉ-FABRICADA			
Furo:	SP02		
Tipo de Estaca:	2	Área de ponta (cm ²):	1600
FS:	2,0	Área Lateral (cm ²):	16000

Tipo de estaca	α	beta
1 Metálica	1	1
2 Pré-moldada	1	1
3 Raiz	1	1

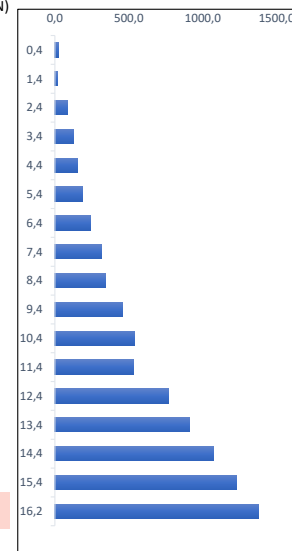
Prof. (m)	Nspt	C (KN/cm ²)	RP (kN)	NLspt	RL (kN)	R (kN)	R/2 (kN)	Rp/4 + RL/1,3 (kN)	Radm (kN)
1	10	0,040	640,0	0,00	0,00	640,00	320,0	160,0	160,0
2	10	0,040	640,0	0,00	0,00	640,00	320,0	160,0	160,0
3	10	0,040	746,7	10,00	208,00	954,67	477,3	346,7	346,7
4	15	0,040	1024,0	10,00	277,33	1301,33	650,7	469,3	469,3
5	23	0,040	1386,7	10,00	346,67	1733,33	866,7	613,3	613,3
6	27	0,040	2133,3	11,25	456,00	2589,33	1294,7	884,1	884,1
7	50	0,040	2688,0	13,60	619,73	3307,73	1653,9	1148,7	1148,7
8	49	0,040	3178,7	15,83	803,56	3982,22	1991,1	1412,8	1412,8
9	50	0,040	3178,7	20,71	1138,29	4316,95	2158,5	1670,3	1670,3
10	50	0,040	3200,0	24,25	1453,33	4653,33	2326,7	1917,9	1917,9



CAPACIDADE DE CARGA - DÉCOURT-QUARESMA - PRÉ-FABRICADA			
Furo:	SP01		
Tipo de Estaca:	2	Área de ponta (cm ²):	1600
FS:	2,0	Área Lateral (cm ²):	16000

Tipo de estaca	α	beta
1 Metálica	1	1
2 Pré-moldada	1	1
3 Raiz	1	1

Prof. (m)	Nspt	C (KN/cm ²)	RP (kN)	NLspt	RL (kN)	R (kN)	R/2 (kN)	Rp/4 + RL/1,3 (kN)	Radm (kN)
0,4	5	0,012	86,4	0,00	0,00	86,40	43,2	21,6	21,6
1,4	4	0,012	76,8	0,00	0,00	76,80	38,4	19,2	19,2
2,4	3	0,012	70,4	5,00	102,40	172,80	86,4	96,4	86,4
3,4	4	0,012	83,2	6,43	170,97	254,17	127,1	152,3	127,1
4,4	6	0,012	121,6	5,00	187,73	309,33	154,7	174,8	154,7
5,4	9	0,012	153,6	4,71	221,93	375,53	187,8	209,1	187,8
6,4	9	0,012	211,2	5,00	273,07	484,27	242,1	262,9	242,1
7,4	15	0,012	281,6	5,74	344,97	626,57	313,3	335,8	313,3
8,4	20	0,012	358,4	4,38	330,40	688,80	344,4	343,8	343,8
9,4	21	0,012	390,4	7,43	523,01	913,41	456,7	499,9	456,7
10,4	20	0,012	409,6	8,93	661,64	1071,24	535,6	611,4	535,6
11,4	23	0,012	467,2	6,91	602,83	1070,03	535,0	580,5	535,0
12,4	30	0,012	601,6	11,15	936,04	1537,64	768,8	870,4	768,8
13,4	41	0,012	742,4	12,19	1085,79	1828,19	914,1	1020,8	914,1
14,4	45	0,012	870,4	13,63	1277,11	2147,51	1073,8	1200,0	1073,8
15,4	50	0,012	928,0	15,67	1533,56	2461,56	1230,8	1411,7	1230,8
16,2	50	0,012	960,0	17,71	1789,20	2749,20	1374,6	1616,3	1374,6

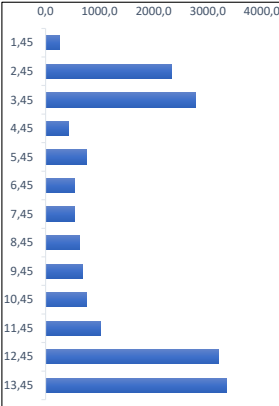


APÊNDICE E - CAPACIDADE DE CARGAS DAS ESTACAS METÁLICAS -AOKI-VELLOSO

CAPACIDADE DE CARGA - AOKI-VELLOSO - RAIZ			
Furo:	SP03		
F1:	2	F2:	4,00
Tipo de Estaca:	3	Área de ponta (cm²):	2000
FS:	2,0	Área Lateral (cm²):	15700

Tipo de estaca	F1	F2
1 Metálica	1,75	2F1
2 Pré-moldada	1,75	2F1
3 Raiz	2	2F1

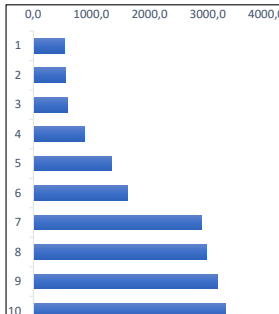
Prof. (m)	Nspt	K (KN/cm²)	α	RP (kN)	RL uni (kN)	RL acum	RADM (kN)
1,45	5	0,100	0,014	500,0	27,48	27,48	263,7
2,45	44	0,100	0,014	4400,0	241,78	269,26	2334,6
3,45	50	0,100	0,014	5000,0	274,75	544,01	2772,0
4,45	11	0,023	0,034	253,0	33,76	577,77	415,4
5,45	36	0,023	0,034	828,0	110,50	688,26	758,1
6,45	14	0,023	0,034	322,0	42,97	731,24	526,6
7,45	13	0,022	0,040	286,0	44,90	776,14	531,1
8,45	18	0,022	0,040	396,0	62,17	838,31	617,2
9,45	20	0,022	0,040	440,0	69,08	907,39	673,7
10,45	24	0,022	0,040	528,0	82,90	990,29	759,1
11,45	41	0,022	0,040	902,0	141,61	1131,90	1016,9
12,45	50	0,100	0,014	5000,0	274,75	1406,65	3203,3
13,45	50	0,100	0,014	5000,0	274,75	1681,40	3340,7



CAPACIDADE DE CARGA - AOKI-VELLOSO - RAIZ			
Furo:	SP02		
F1:	2	F2:	4,00
Tipo de Estaca:	3	Área de ponta (cm²):	2000
FS:	2,0	Área Lateral (cm²):	15700

Tipo de estaca	F1	F2
1 Metálica	1,75	2F1
2 Pré-moldada	1,75	2F1
3 Raiz	2	2F1

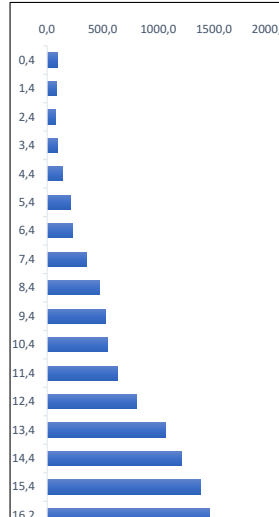
Prof. (m)	Nspt	K (KN/cm²)	α	RP (kN)	RL uni (kN)	RL acum	RADM (kN)
1	10	0,100	0,014	1000,0	54,95	54,95	527,5
2	10	0,100	0,014	1000,0	54,95	109,90	555,0
3	10	0,100	0,014	1000,0	54,95	164,85	582,4
4	15	0,100	0,014	1500,0	82,43	247,28	873,6
5	23	0,100	0,014	2300,0	126,39	373,66	1336,8
6	27	0,100	0,014	2700,0	148,37	522,03	1611,0
7	50	0,100	0,014	5000,0	274,75	796,78	2898,4
8	49	0,100	0,014	4900,0	269,26	1066,03	2983,0
9	50	0,100	0,014	5000,0	274,75	1340,78	3170,4
10	50	0,100	0,014	5000,0	274,75	1615,53	3307,8



CAPACIDADE DE CARGA - AOKI-VELLOSO - RAIZ			
Furo:	SP01		
F1:	2	F2:	4,00
Tipo de Estaca:	3	Área de ponta (cm²):	2000
FS:	2,0	Área Lateral (cm²):	15700

Tipo de estaca	F1	F2
1 Metálica	1,75	2F1
2 Pré-moldada	1,75	2F1
3 Raiz	2	2F1

Prof. (m)	Nspt	K (KN/cm²)	α	RP (kN)	RL uni (kN)	RL acum	RADM (kN)
0,4	5	0,035	0,024	175,0	16,49	16,49	95,7
1,4	4	0,035	0,024	140,0	13,19	29,67	84,8
2,4	3	0,035	0,024	105,0	9,89	39,56	72,3
3,4	4	0,035	0,024	140,0	13,19	52,75	96,4
4,4	6	0,035	0,024	210,0	19,78	72,53	141,3
5,4	9	0,035	0,024	315,0	29,67	102,21	208,6
6,4	9	0,035	0,024	315,0	29,67	131,88	223,4
7,4	15	0,035	0,024	525,0	49,46	181,34	353,2
8,4	20	0,035	0,024	700,0	65,94	247,28	473,6
9,4	21	0,035	0,024	735,0	69,24	316,51	525,8
10,4	20	0,035	0,024	700,0	65,94	382,45	541,2
11,4	23	0,035	0,024	805,0	75,83	458,28	631,6
12,4	30	0,035	0,024	1050,0	98,91	557,19	803,6
13,4	41	0,035	0,024	1435,0	135,18	692,37	1063,7
14,4	45	0,035	0,024	1575,0	148,37	840,74	1207,9
15,4	50	0,035	0,024	1750,0	164,85	1005,59	1377,8
16,2	50	0,035	0,024	1750,0	164,85	1170,44	1460,2

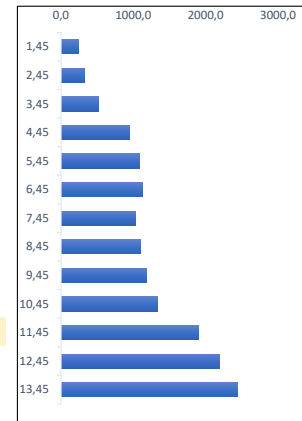


APÊNDICE F - CAPACIDADE DE CARGAS DAS ESTACAS METÁLICAS - DÉCOURT-QUARESMA

CAPACIDADE DE CARGA - DÉCOURT-QUARESMA - RAIZ			
Furo:	SP03		
Tipo de Estaca:	3	Área de ponta (cm ²):	2000
FS:	2,0	Área Lateral (cm ²):	15700

	Tipo de estaca	α	beta
1	Metálica	1	1
2	Pré-moldada	1	1
3	Raiz		1,5

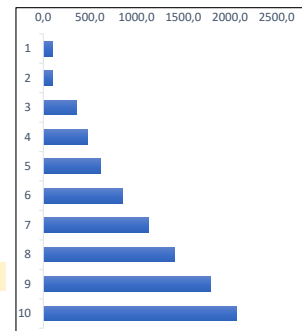
Prof. (m)	Nspt	α :	C (KN/cm ²)	RP (kN)	NLspt	RL (kN)	R (kN)	R/2 (KN)	Rp/4 + RL/1,3 (kN)	Radm (KN)
1,45	5	0,5	0,040	980,0	0,00	0,00	980,00	490,0	245,0	245,0
2,45	44	0,5	0,040	1320,0	0,00	0,00	1320,00	660,0	330,0	330,0
3,45	50	0,5	0,040	1400,0	5,00	216,66	1616,66	808,3	516,7	516,7
4,45	11	1	0,020	1293,3	20,00	803,45	2096,78	1048,4	941,4	941,4
5,45	36	1	0,020	813,3	28,70	1356,02	2169,35	1084,7	1246,4	1084,7
6,45	14	1	0,020	840,0	24,72	1403,49	2243,49	1121,7	1289,6	1121,7
7,45	13	0,85	0,012	306,0	26,79	1742,13	2048,13	1024,1	1416,6	1024,1
8,45	18	0,85	0,012	346,8	24,81	1844,45	2191,25	1095,6	1505,5	1095,6
9,45	20	0,85	0,012	421,6	23,22	1945,17	2366,77	1183,4	1601,7	1183,4
10,45	24	0,85	0,012	578,0	22,60	2100,32	2678,32	1339,2	1760,1	1339,2
11,45	41	0,5	0,040	1533,3	22,33	2276,55	3809,88	1904,9	2134,5	1904,9
12,45	50	0,5	0,040	1880,0	22,49	2491,01	4371,01	2185,5	2386,2	2185,5
13,45	50	0,5	0,040	2000,0	24,10	2861,79	4861,79	2430,9	2701,4	2430,9



CAPACIDADE DE CARGA - DÉCOURT-QUARESMA - RAIZ			
Furo:	SP02		
Tipo de Estaca:	3	Área de ponta (cm ²):	2000
FS:	2,0	Área Lateral (cm ²):	15700

	Tipo de estaca	α	beta
1	Metálica	1	1
2	Pré-moldada	1	1
3	Raiz	0,5	1,5

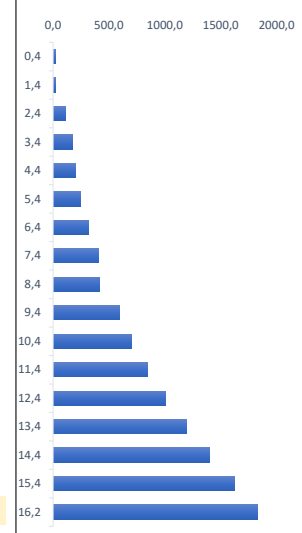
Prof. (m)	Nspt	α :	C (KN/cm ²)	RP (kN)	NLspt	RL (kN)	R (kN)	R/2 (KN)	Rp/4 + RL/1,3 (kN)	Radm (KN)
1	10	0,5	0,040	400,0	0,00	0,00	400,00	200,0	100,0	100,0
2	10	0,5	0,040	400,0	0,00	0,00	400,00	200,0	100,0	100,0
3	10	0,5	0,040	466,7	10,00	306,15	772,82	386,4	352,2	352,2
4	15	0,5	0,040	640,0	10,00	408,20	1048,20	524,1	474,0	474,0
5	23	0,5	0,040	866,7	10,00	510,25	1376,92	688,5	609,2	609,2
6	27	0,5	0,040	1333,3	11,25	671,18	2004,51	1002,3	849,6	849,6
7	50	0,5	0,040	1680,0	13,60	912,17	2592,17	1296,1	1121,7	1121,7
8	49	0,5	0,040	1986,7	15,83	1182,73	3169,40	1584,7	1406,5	1406,5
9	50	0,5	0,040	1986,7	20,71	1675,41	3662,08	1831,0	1785,4	1785,4
10	50	0,5	0,040	2000,0	24,25	2139,13	4139,13	2069,6	2145,5	2069,6



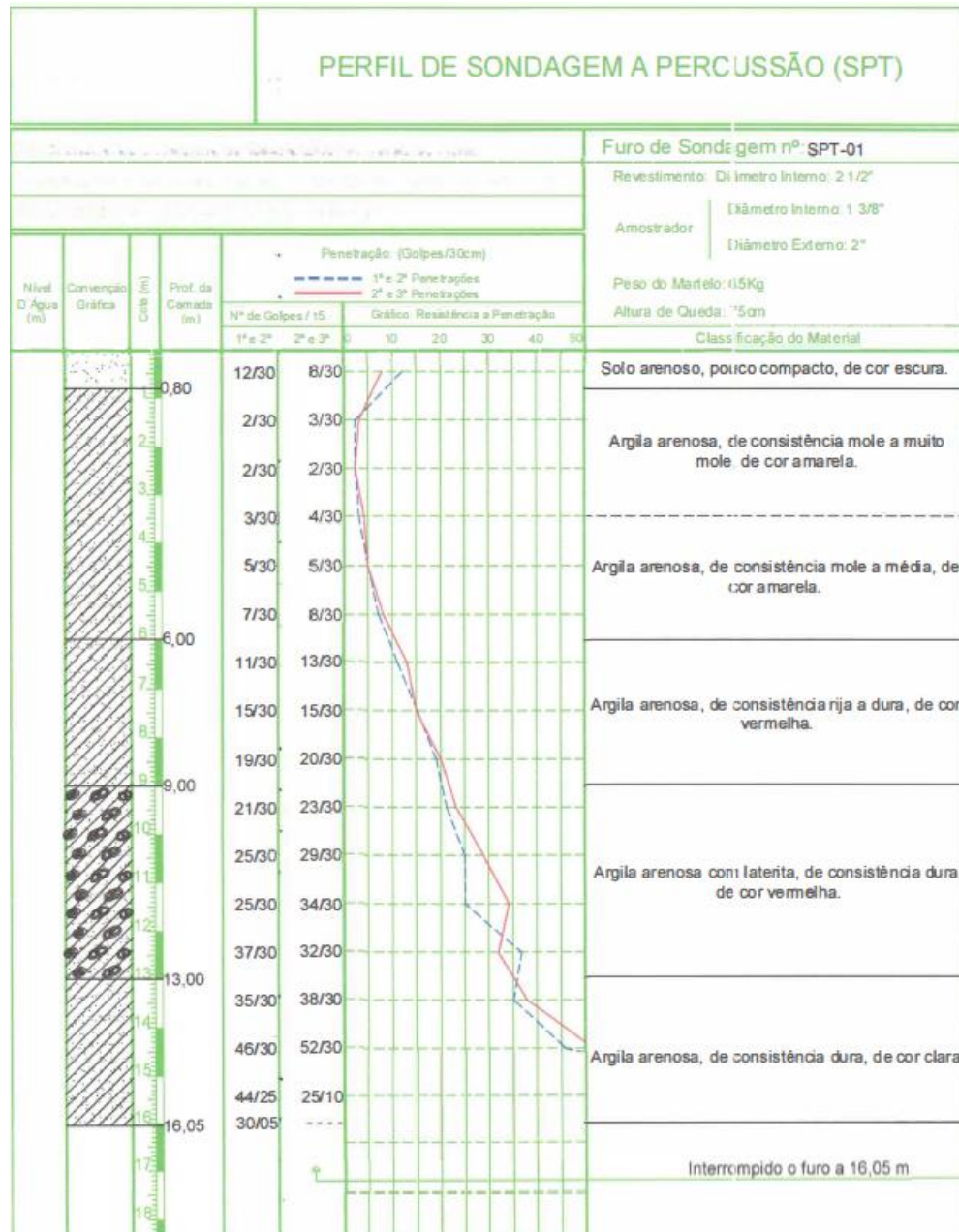
CAPACIDADE DE CARGA - DÉCOURT-QUARESMA - RAIZ			
Furo:	SP01		
Tipo de Estaca:	3	Área de ponta (cm ²):	2000
FS:	2,0	Área Lateral (cm ²):	15700

	Tipo de estaca	α	beta
1	Metálica	1	1
2	Pré-moldada	1	1
3	Raiz	0,85	1,5

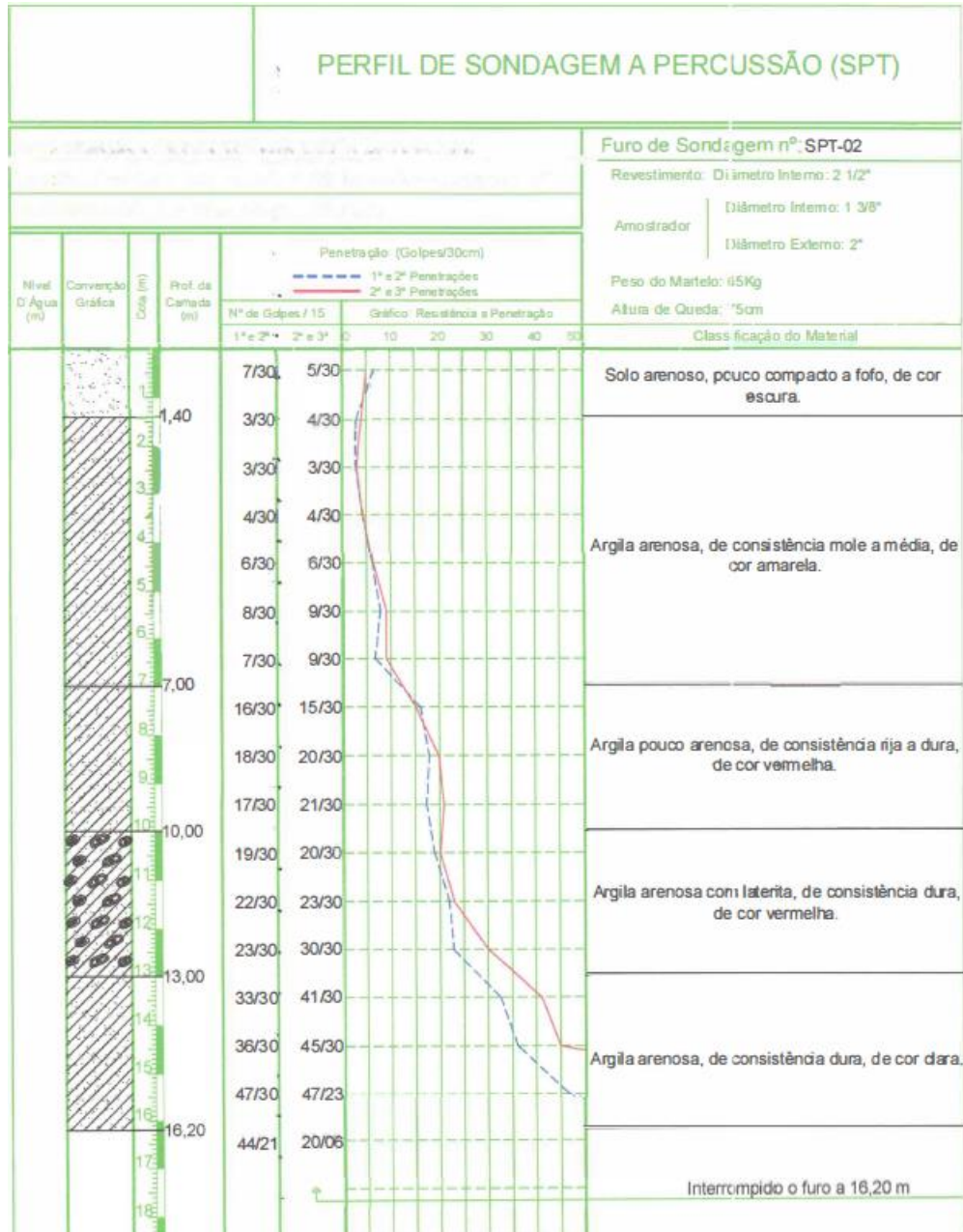
Prof. (m)	Nspt	α :	C (KN/cm ²)	RP (kN)	NLspt	RL (kN)	R (kN)	R/2 (KN)	Rp/4 + RL/1,3 (kN)	Radm (KN)
0,4	5	0,85	0,012	91,8	0,00	0,00	91,80	45,9	23,0	23,0
1,4	4	0,85	0,012	81,6	0,00	0,00	81,60	40,8	20,4	20,4
2,4	3	0,85	0,012	74,8	5,00	150,72	225,52	112,8	134,6	112,8
3,4	4	0,85	0,012	88,4	6,43	251,65	340,05	170,0	215,7	170,0
4,4	6	0,85	0,012	129,2	5,00	276,32	405,52	202,8	244,9	202,8
5,4	9	0,85	0,012	163,2	4,71	326,65	489,85	244,9	292,1	244,9
6,4	9	0,85	0,012	224,4	5,00	401,92	626,32	313,2	365,3	313,2
7,4	15	0,85	0,012	299,2	5,74	507,75	806,95	403,5	465,4	403,5
8,4	20	0,85	0,012	380,8	3,75	445,10	825,90	412,9	437,6	412,9
9,4	21	0,85	0,012	414,8	7,43	769,81	1184,61	592,3	695,9	592,3
10,4	20	0,85	0,012	435,2	8,93	973,85	1409,05	704,5	857,9	704,5
11,4	23	0,85	0,012	496,4	10,21	1182,41	1678,81	839,4	1033,6	839,4
12,4	30	0,85	0,012	639,2	11,15	1377,74	2016,94	1008,5	1219,6	1008,5
13,4	41	0,85	0,012	788,8	12,19	1598,15	2386,95	1193,5	1426,5	1193,5
14,4	45	0,85	0,012	924,8	13,63	1879,75	2804,55	1402,3	1677,2	1402,3
15,4	50	0,85	0,012	986,0	15,67	2257,21	3243,21	1621,6	1982,8	1621,6
16,2	50	0,85	0,012	1020,0	17,71	2633,48	3653,48	1826,7	2280,8	1826,7



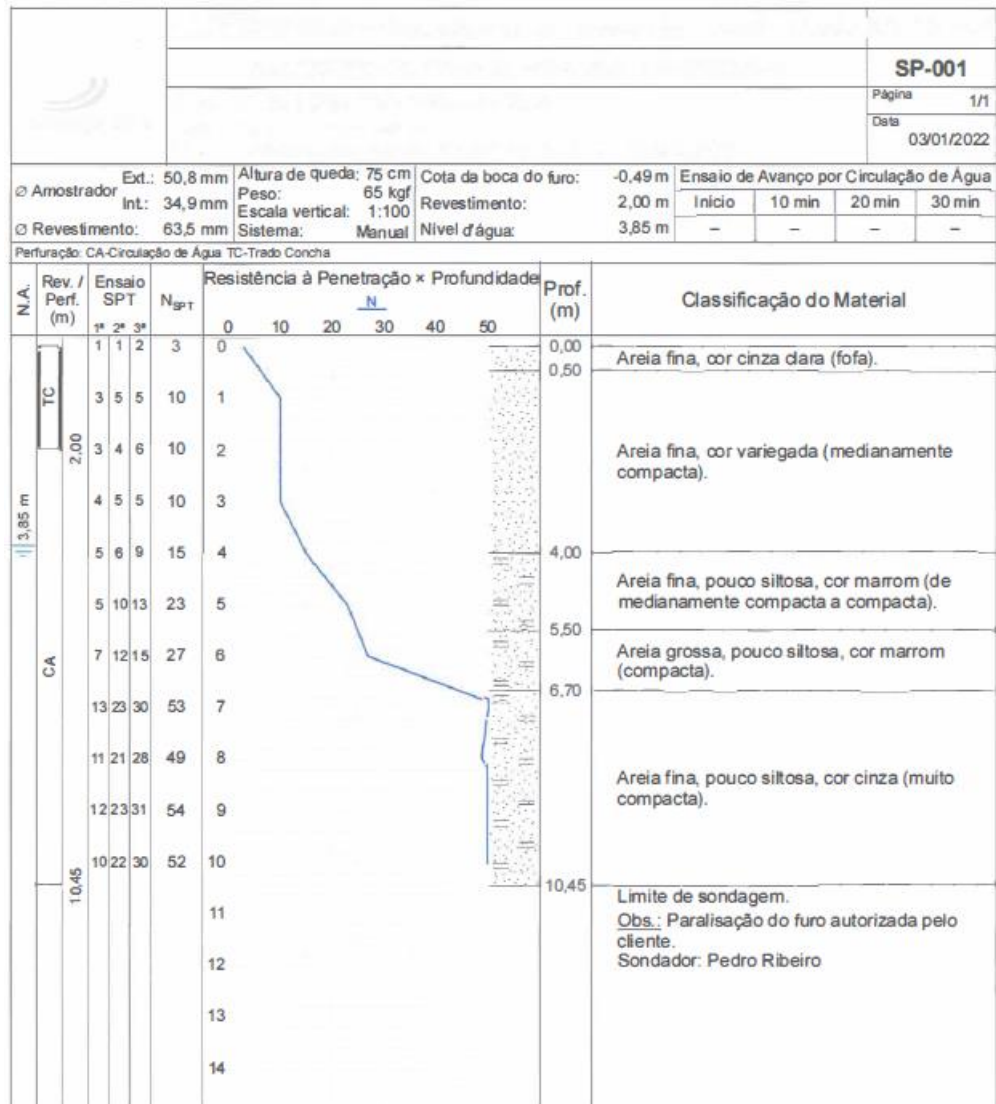
ANEXO A – PERFIL DE SONDAGEM 01 DO SOLO 01



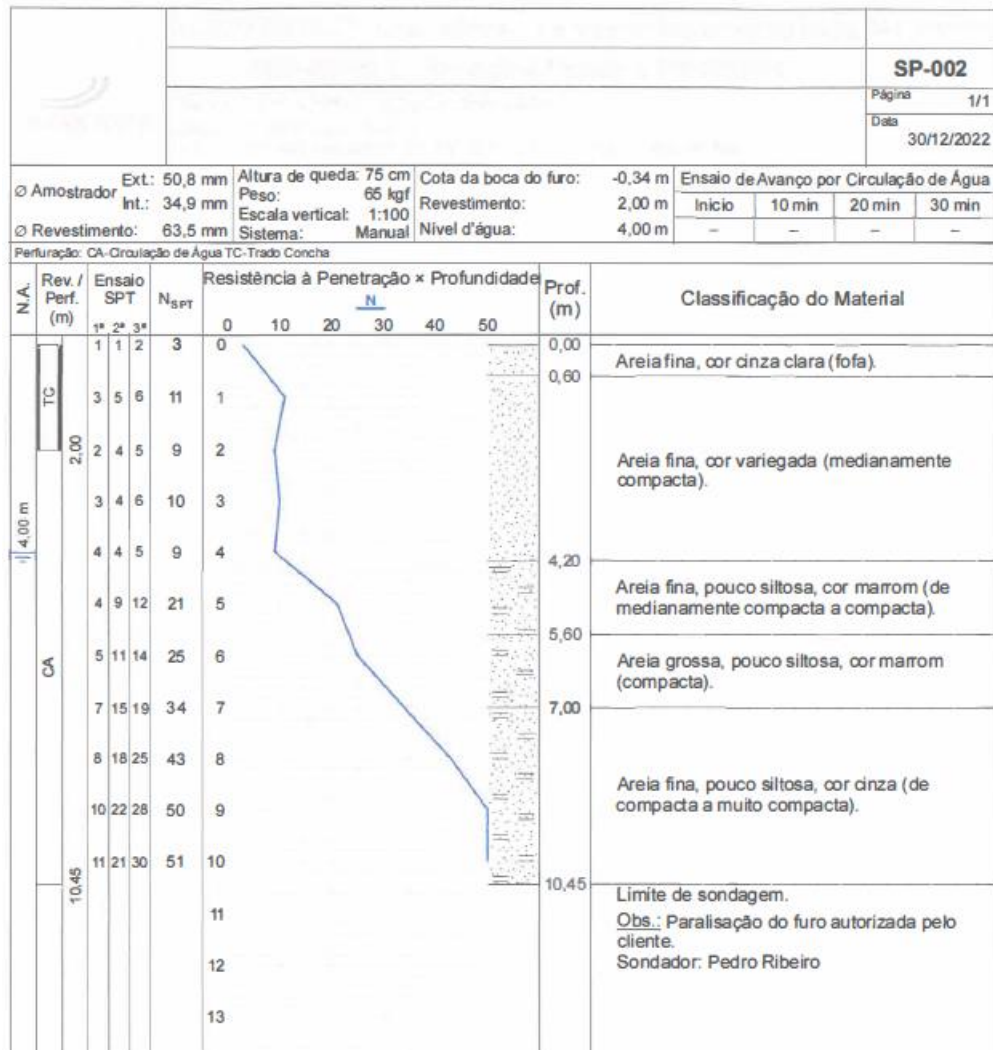
ANEXO B – PERFIL DE SONDAGEM 02 DO SOLO 01



ANEXO C – PERFIL DE SONDAGEM 01 DO SOLO 02



ANEXO E – PERFIL DE SONDAGEM 02 DO SOLO 02



ANEXO F – PERFIL DE SONDAAGEM 01 DO SOLO 03

BOLETIM INDIVIDUAL DE SONDAAGEM DE SIMPLES RECONHECIMENTO À PERCUSSÃO (S.P.T.)									
NBR - 6484/01									
							DATA INÍCIO: 28/09/2022 DATA FINAL: 28/09/2022 COTA: +0,10m		
SONDAAGEM Nº	AVANÇO	ÍNDICES DE PENETRAÇÃO	Nspt	N.A	Nº Golpes: Iniciais: 1.º + 2.º = Linha tracejada - vermelha Finais: 2.º + 3.º = Linha cheia azul	LITO E PROF. DAS CAMADAS AMOSTRA	CARACTERÍSTICAS DO EQUIPAMENTO		
							- AMOSTRADOR Ø INT. =	35 mm	
							- AMOSTRADOR Ø EXT. =	51 mm	
							- REVESTIMENTO Ø =	68 mm	
							- PESO =	65 kgf	
							- ALTURA DE QUEDA =	75cm	
GRÁFICO							CLASSIFICAÇÃO DO MATERIAL		
	TC	N.º de golpes		2.º + 3.º			Areia fina para siltoza cinza escuro, até 0,60m.		
0	P	1	/15	N.º de golpes			1		
	CA	2	/15	Inicial	3		Areia fina para siltoza cor marrom, até 1,40m.		
1		2	/15	Final	4		2		
	P	1	/15	Inicial	3		Arenito cor variada, até 3,70m.		
1	CA	2	/15	Inicial	3		3		
		3	/15	Final	6		4		
2	P	13	/15	Inicial	34		5		
	CA	21	/15	Inicial	44		5		
2		23	/15	Final	44		6		
	P	20	/15	Inicial	48		6		
3	CA	28	/15	Inicial	68		7		
		28	/15	Final	68		7		
4	P	4	/15	Inicial	9		8		
	CA	5	/15	Inicial	9		8		
4		5	/15	Final	11	9			
	P	11	/15	Inicial	27	9			
6	CA	16	/15	Inicial	38	9			
		20	/15	Final	38	10			
8	P	7	/15	Inicial	14	10			
	CA	7	/15	Inicial	14	10			
8		7	/15	Final	14	11			
	P	5	/15	Inicial	11	11			
7	CA	6	/15	Inicial	11	11			
		7	/15	Final	13	12			
8	P	6	/15	Inicial	14	12			
	CA	8	/15	Inicial	14	12			
8		10	/15	Final	18	13			
	P	8	/15	Inicial	17	13			
10	CA	9	/15	Inicial	20	13			
		11	/15	Final	20	14			
10	P	8	/15	Inicial	19	14			
	CA	11	/15	Inicial	19	14			
11		13	/15	Final	24	15			
	P	9	/15	Inicial	25	15			
11	CA	16	/15	Inicial	41	16			
		25	/15	Final	41	16			
12	P	15	/15	Inicial	37	17			
	CA	22	/15	Inicial	37	17			
12		29	/15	Final	61	18			
	P	25	/15	Inicial	55	18			
13	CA	30	/12	Inicial	55	19			
						19			

Não encontrado até a profundidade perfurada.

CLASSIFICAÇÃO DO MATERIAL

Areia fina para siltoza cinza escuro, até 0,60m.

Areia fina para siltoza cor marrom, até 1,40m.

Arenito cor variada, até 3,70m.

Silte argiloso para arenoso cinza claro, até 6,50m.

Argila siltoza para arenosa cinza claro, até 11,00m.

Areia grossa com pedregulho cor variada, até 13,27m.

Impenetrável (13,27m).

ANEXO G – PERFIL DE SONDAGEM 02 DO SOLO 03

BOLETIM INDIVIDUAL DE SONDAGEM DE SIMPLES RECONHECIMENTO À PERCUSSÃO (S.P.T.)										
NBR - 6484/01										
						DATA INÍCIO: 28/09/2022				
						DATA FINAL: 29/09/2022				
						COTA: - 0,12m				
SONDAGEM Nº	AVANÇO	ÍNDICES DE PENETRAÇÃO		NSPT	N.A	Nºº Golpes: Iniciais: 1. ^a + 2. ^a = Linha tracejada - vermelha Finais: 2. ^a + 3. ^a = Linha cheia azul	LITO. E PROF. DAS CAMADAS	AMOSTRA	CARACTERÍSTICAS DO EQUIPAMENTO	
									- AMOSTRADOR Ø INT. =	35 mm
CLASIFICACÃO DO MATERIAL										
Areia fina para siltoza cinza escuro, até 0,30m.										
1 Areia fina para siltoza cor marrom, até 1,30m.										
2 Arenito cor variada, até 3,80m.										
3										
4										
5 Silte argiloso para arenoso cinza claro, até 6,60m.										
6										
7										
8 Argila siltoza para arenosa cinza claro, até 12,60m.										
9										
10										
11 Areia grossa com pedregulho cor variada, até 12,60m.										
12										
13 Areia grossa com pedregulho cinza claro, até 15,25m.										
14										
15 Impenetrável (15,25m).										
16										

GRÁFICO		
0	10	20
30	40	
0,45		
1,45		
2,45		
3,45		
4,45		
5,45		
6,45		
7,45		
8,45		
9,45		
10,45		
11,45		
12,45		
13,45		
14,45		
15,45		
16,45		

Não encontrado até a profundidade perfurada.

ANEXO H – PERFIL DE SONDAGEM 02 DO SOLO 03

BITOLA mm x kg/m		Mossa Linear kg/m	d mm	b ₁ mm	ESPESSURA				h mm	d' mm	Área cm ²	EIXO X - X				EIXO Y - Y				r ₁ cm	l ₁ cm	ESBELTEZ		C _c cm ²	u m ² /m	BITOLA mm x kg/m
					t ₁ mm	t ₂ mm	t ₃ mm	t ₄ mm				I _x cm ⁴	W _x cm ³	r _x cm	Z _x cm	I _y cm ⁴	W _y cm ³	r _y cm	Z _y cm			ABA - λ ₁ b ₁ /2t ₁	ALMA - λ ₂ d'/L ₁			
W 150 x 13,0	13,0	148	100	4,3	4,9	138	118	16,6	635	85,8	6,18	96,4	82	16,4	2,22	25,5	2,60	1,72	10,20	27,49	4,181	0,67	W 150 x 13,0			
W 150 x 18,0	18,0	153	102	5,8	7,1	139	119	23,4	939	122,8	6,34	139,4	126	24,7	2,32	38,5	2,69	4,34	7,18	20,48	6,883	0,69	W 150 x 18,0			
W 150 x 22,5 (H)	22,5	152	152	5,8	6,6	139	119	29,0	1.229	161,7	6,51	179,6	387	50,9	3,65	77,9	4,10	4,75	11,52	20,48	20,417	0,88	W 150 x 22,5 (H)			
W 150 x 24,0	24,0	160	102	6,6	10,3	139	115	31,5	1.384	173,0	6,63	197,6	183	35,9	2,41	55,8	2,73	11,08	4,95	17,48	10,206	0,69	W 150 x 24,0			
W 150 x 29,8 (H)	29,8	157	153	6,6	9,3	138	118	38,5	1.739	221,5	6,72	247,5	556	72,6	3,80	110,8	4,18	10,95	8,23	17,94	30,277	0,90	W 150 x 29,8 (H)			
W 150 x 37,1 (H)	37,1	162	154	8,1	11,6	139	119	47,8	2.244	277,0	6,85	313,5	707	91,8	3,84	140,4	4,22	20,58	6,64	14,67	39,930	0,91	W 150 x 37,1 (H)			
W 200 x 15,0	15,0	200	100	4,3	5,2	190	170	19,4	1.305	130,5	8,20	147,9	87	17,4	2,12	27,3	2,55	2,05	9,62	39,44	8,222	0,77	W 200 x 15,0			
W 200 x 19,3	19,3	203	102	5,8	6,5	190	170	25,1	1.686	166,1	8,19	190,6	116	22,7	2,14	35,9	2,59	4,02	7,85	29,31	11,098	0,79	W 200 x 19,3			
W 200 x 22,5	22,5	206	102	6,2	8,0	190	170	29,0	2.029	197,0	8,37	225,5	142	27,9	2,22	43,9	2,63	6,18	6,38	27,42	13,868	0,79	W 200 x 22,5			
W 200 x 26,6	26,6	207	133	5,8	8,4	190	170	34,2	2.611	252,3	8,73	282,3	330	49,6	3,10	76,3	3,54	7,65	7,92	29,34	32,477	0,92	W 200 x 26,6			
W 200 x 31,3	31,3	210	134	6,4	10,2	190	170	40,3	3.168	301,7	8,86	338,6	410	61,2	3,19	94,0	3,60	12,59	6,57	26,50	40,822	0,93	W 200 x 31,3			
W 200 x 35,9 (H)	35,9	201	165	6,2	10,2	181	161	45,7	3.437	342,0	8,67	379,2	764	92,6	4,09	141,0	4,50	14,51	8,09	25,90	69,502	1,03	W 200 x 35,9 (H)			
W 200 x 41,7 (H)	41,7	205	166	7,2	11,8	181	157	53,5	4.114	401,4	8,77	448,6	901	108,5	4,10	165,7	4,53	23,19	7,03	21,86	83,948	1,04	W 200 x 41,7 (H)			
W 200 x 46,1 (H)	46,1	203	203	7,2	11,0	181	161	58,6	4.543	447,6	8,81	495,3	1.535	151,2	5,12	229,5	5,58	22,01	9,23	22,36	141,342	1,19	W 200 x 46,1 (H)			
W 200 x 52,0 (H)	52,0	206	204	7,9	12,6	181	157	66,9	5.298	514,4	8,90	572,5	1.784	174,9	5,16	265,8	5,61	33,34	8,10	19,85	166,710	1,19	W 200 x 52,0 (H)			
HP 200 x 53,0 (H)	53,0	204	207	11,3	11,3	181	161	68,1	4.977	488,0	8,55	551,3	1.673	161,7	4,96	248,6	5,57	31,93	9,16	14,28	155,075	1,20	HP 200 x 53,0 (H)			
W 200 x 59,0 (H)	59,0	210	205	9,1	14,2	182	158	76,0	6.140	584,8	8,99	655,9	2.041	199,1	5,18	303,0	5,64	47,69	7,22	17,32	195,418	1,20	W 200 x 59,0 (H)			
W 200 x 71,0 (H)	71,0	216	206	10,2	17,4	181	161	91,0	7.660	709,2	9,17	803,2	2.537	246,3	5,28	374,5	5,70	81,66	5,92	15,80	249,976	1,22	W 200 x 71,0 (H)			
W 200 x 86,0 (H)	86,0	222	209	13,0	20,6	181	157	110,9	9.498	855,7	9,26	984,2	3.139	300,4	5,32	458,7	5,77	142,19	5,07	12,06	317,844	1,23	W 200 x 86,0 (H)			
W 250 x 17,9	17,9	251	101	4,8	5,3	240	220	23,1	2.291	182,6	9,96	211,0	91	18,1	1,99	28,8	2,48	2,54	9,53	45,92	13,735	0,88	W 250 x 17,9			
W 250 x 22,3	22,3	254	102	5,8	6,9	240	220	28,9	2.939	231,4	10,09	267,7	123	24,1	2,06	38,4	2,54	4,77	7,39	37,97	18,629	0,89	W 250 x 22,3			
W 250 x 25,3	25,3	257	102	6,1	8,4	240	220	32,6	3.473	270,2	10,31	311,1	149	29,3	2,14	46,4	2,58	7,06	6,07	36,10	22,965	0,89	W 250 x 25,3			
W 250 x 28,4	28,4	260	102	6,4	10,0	240	220	36,6	4.046	311,2	10,51	357,3	178	34,8	2,20	54,9	2,62	10,34	5,10	34,38	27,636	0,90	W 250 x 28,4			
W 250 x 32,7	32,7	258	146	6,1	9,1	240	220	42,1	4.937	382,7	10,83	428,5	473	64,8	3,35	99,7	3,86	10,44	8,02	36,03	73,104	1,07	W 250 x 32,7			
W 250 x 38,5	38,5	262	147	6,6	11,2	240	220	49,6	6.057	462,4	11,05	517,8	594	80,8	3,46	124,1	3,93	17,63	6,56	33,27	93,242	1,08	W 250 x 38,5			
W 250 x 44,8	44,8	266	148	7,6	13,0	240	220	57,6	7.158	538,2	11,15	606,3	704	95,1	3,50	146,4	3,96	27,14	5,69	28,95	112,398	1,09	W 250 x 44,8			
HP 250 x 62,0 (H)	62,0	246	256	10,5	10,7	225	201	79,6	8.728	709,6	10,47	790,5	2.995	234,0	6,13	357,8	6,89	33,46	11,96	19,10	417,130	1,47	HP 250 x 62,0 (H)			
W 250 x 73,0 (H)	73,0	253	254	8,6	14,2	225	201	92,7	11.257	889,9	11,02	983,3	3.880	305,5	6,47	463,1	7,01	56,94	8,94	23,33	552,900	1,48	W 250 x 73,0 (H)			
W 250 x 80,0 (H)	80,0	256	255	9,4	15,6	225	201	101,9	12.550	980,5	11,10	1.088,7	4.313	338,3	6,51	513,1	7,04	75,02	8,17	21,36	622,878	1,49	W 250 x 80,0 (H)			
HP 250 x 85,0 (H)	85,0	254	260	14,4	14,4	225	201	108,5	12.280	966,9	10,64	1.093,2	4.225	325,0	6,24	499,6	7,00	82,07	9,03	13,97	605,403	1,50	HP 250 x 85,0 (H)			
W 250 x 89,0 (H)	89,0	260	256	10,7	17,3	225	201	113,9	14.237	1.095,1	11,18	1.224,4	4.841	378,2	6,52	574,3	7,06	102,81	7,40	18,82	712,351	1,50	W 250 x 89,0 (H)			
W 250 x 101,0 (H)	101,0	264	257	11,9	19,6	225	201	128,7	16.352	1.238,8	11,27	1.395,0	5.549	431,8	6,57	656,3	7,10	147,70	6,56	16,87	828,031	1,51	W 250 x 101,0 (H)			
W 250 x 115,0 (H)	115,0	269	259	13,5	22,1	225	201	146,1	18.920	1.406,7	11,38	1.597,4	6.405	494,6	6,62	752,7	7,16	212,00	5,86	14,87	975,265	1,53	W 250 x 115,0 (H)			
W 310 x 21,0	21,0	303	101	5,1	5,7	292	272	27,2	3.776	249,2	11,77	291,9	98	19,5	1,90	31,4	2,42	3,27	8,86	53,25	21,628	0,98	W 310 x 21,0			
W 310 x 23,8	23,8	305	101	5,6	6,7	292	272	30,7	4.346	285,0	11,89	333,2	116	22,9	1,94	36,9	2,45	4,65	7,54	48,50	25,594	0,99	W 310 x 23,8			
W 310 x 28,3	28,3	309	102	6,0	8,9	291	271	36,5	5.500	356,0	12,28	412,0	158	31,0	2,08	49,4	2,55	8,14	5,73	45,20	35,441	1,00	W 310 x 28,3			
W 310 x 32,7	32,7	313	102	6,6	10,8	291	271	42,1	6.570	419,8	12,49	485,3	192	37,6	2,13	59,8	2,58	12,91	4,72	41,12	43,612	1,00	W 310 x 32,7			
W 310 x 38,7	38,7	310	165	5,8	9,7	291	271	49,7	8.581	553,6	13,14	615,4	727	88,1	3,82	134,9	4,38	13,20	8,51	46,66	163,728	1,25	W 310 x 38,7			
W 310 x 44,5	44,5	313	167	6,6	11,2	291	271	57,2	9.997	638,8	13,22	712,8	855	103,0	3,87	158,0	4,41	19,90	7,41	41,00	194,433	1,26	W 310 x 44,5			
W 310 x 52,0	52,0	317	166	7,6	13,2	291	271	67,0	11.909	751,4	13,33	842,5	1.026	122,9	3,91	188,8	4,45	31,81	6,33	35,61	236,422	1,27	W 310 x 52,0			
HP 310 x 79,0 (H)	79,0	299	306	11,0	11,0	277	245	100,0	16.316	1.091,3	12,77	1.210,1	5.258	343,7	7,25	525,4	8,20	46,72	13,91	22,27	1.089,258	1,77	HP 310 x 79,0 (H)			
HP 310 x 93,0 (H)	93,0	303	308	13,1	13,1	277	245	119,2	19.682	1.299,1	12,85	1.450,3	6.387	414,7	7,32	635,5	8,26	77,33	11,76	18,69	1.340,320	1,78	HP 310 x 93,0 (H)			
W 310 x 97,0 (H)	97,0	308	305	9,9	15,4	277	245	123,6	22.284	1.447,0	13,43	1.594,2	7.286	477,8	7,68	725,0	8,38	92,12	9,90	24,77	1.558,682	1,79	W 310 x 97,0 (H)			
W 310 x 107,0 (H)	107,0	311	306	10,9	17,0	277	245	136,4	24.839	1.597,3	13,49	1.768,2	8.123	530,9	7,72	806,1	8,41	122,86	9,00	24,48	1.754,271	1,80	W 310 x 107,0 (H)			
HP 310 x 110,0 (H)	110,0	308	310	15,4	15,5	277	245	144,0	28.793	1.596,4	13,57	1.796,6	7.707	497,3	7,76	783,7	8,33	135,66	10,00	15,04	1.816,104	1,80	HP 310 x 110,0 (H)			