



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO
CAMPUS UFRJ-MACAÉ
Professor Aloísio Teixeira



REALIZAÇÃO DE SONDAGENS COM MEDIDAS DE N_{SPT} E TORQUE (SPT-T) EM
SOLO TROPICAL DA CIDADE DE MACAÉ/R.J.

PAULO ATAIDE ANDRADE MACHADO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio de Janeiro – Campus Macaé, como requisito parcial para aquisição do título de engenheira civil.

Orientador: Gustavo Vaz de Mello Guimarães

Co-orientador: Lucas Marques Pires da Silva

Macaé
Março de 2020

REALIZAÇÃO DE SONDAgens COM MEDIDAS DE N_{SPT} E TORQUE (SPT-T) EM
SOLO TROPICAL DA CIDADE DE MACAÉ/R.J.

PAULO ATAIDE ANDRADE MACHADO

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO APRESENTADO AO CURSO DE
ENGENHARIA CIVIL DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO – CAMPUS
MACAÉ, COMO REQUISITO PARCIAL PARA AQUISIÇÃO DO GRAU DE
ENGENHEIRA CIVIL

Examinado por:

Prof. Gustavo Vaz de Mello Guimarães
Universidade Federal do Rio de Janeiro

Eng. Lucas Marques Pires da Silva
Universidade Federal do Rio de Janeiro

Prof. João Alberto Machado Leite
Universidade Federal do Rio de Janeiro

Eng. Luis Felipe Campos Lobo
Solo Suporte Engenharia

MACAÉ, RJ - BRASIL

MARÇO DE 2020

Machado, Paulo Ataíde Andrade

Realização de Sondagens com Medidas de N_{spt} e Torque (SPT-T) em Solo Tropical da Cidade de Macaé/R.J.
- Macaé 2020.

IX, 103 p.: il.; 29,7 cm.

Orientador: Gustavo Vaz de Mello Guimarães

Projeto de Graduação – UFRJ/ Macaé/ Curso de Engenharia Civil, 2020.

Referências Bibliográficas: p. 65 - 67.

1. Análise Geotécnica, 2. Fundações em estacas, 3. UFRJ/Macaé.

I. Guimarães, Gustavo Vaz de Mello, II. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Campus Macaé, Curso de Engenharia Civil III. Ensaio de Sondagem com medidas de N_{SPT} no campus da UFRJ/Macaé.

AGRADECIMENTOS

Queria agradecer ao meu orientador Gustavo que me ajudou e esteve presente em todas as etapas desse trabalho, sempre com paciência comigo. Ao coorientador Lucas também por sempre tirar dúvidas e me aconselhar em momentos importantes(até antes desse trabalho, na iniciação científica). Agradecer também ao engenheiro mecânico Newton Amorim, que com sua habilidade na solda e no moto-esmeril possibilitou a adaptação da peça sem a qual o trabalho não seria possível.

Agradeço à meus pais, Rita e Silas, meu irmão Pedro e minha prima Leticia(também conhecida como terceira filha) por me apoiarem durante toda faculdade e por sempre me proporcionarem uma casa para voltar. Aos meus amigos César, Daniel, Vitor, João, Jéssica, Dinelli e Vieira por tornarem o meu tempo de faculdade o mais agradável possível, e a Daniel(Dambrake) por sempre ir pra academia ou jogar pingpong comigo nas férias.

Gostaria de agradecer também a Rosângela e todo o pessoal da biblioteca por sempre serem simpáticos e me receberem bem quando eu ia lá para ler algum livro.

Resumo do Projeto de Graduação apresentado à Universidade Federal do Rio de Janeiro/ Campus Macaé como parte dos requisitos necessários para obtenção do grau de Engenharia Civil.

REALIZAÇÃO DE SONDAGENS COM MEDIDAS DE N_{SPT} E TORQUE (SPT-T) EM SOLO TROPICAL DA CIDADE DE MACAÉ/R.J.

Paulo Ataíde Andrade Machado

Março/2020

Orientador: Gustavo Vaz de Mello Guimarães

Curso: Engenharia Civil

RESUMO: No dimensionamento de fundações profundas se faz necessária a análise do solo sobre o qual será construída a edificação. No caso de fundações profundas, se faz necessário a obtenção de alguns parâmetros do solo que geralmente desnecessários em fundações rasas. Um desses parâmetros é o atrito lateral, obtido através do torque. O ensaio de sondagem com medidas de N_{SPT} e torque é um dos ensaios que visa a obtenção desse parâmetro. Com o intuito de estudar este ensaio no solo de Macaé a pesquisa foi baseada em perfis de sondagens reais do terreno entre os blocos e os laboratórios da UFRJ, localizado na Cidade Universitária de Macaé – RJ. Os dados encontrados nos ensaios realizados foram comparados com as referências e entre si para observação de alguns comportamentos do solo. Os ensaios foram divididos entre os feitos com lavagem do solo e os sem lavagem do solo. Analisando e comparando os ensaios com e sem lavagem, pôde-se tirar algumas conclusões com relação à metodologia do ensaio, e em que isto afeta nas medições.

Palavras-chave: Estudos Geotécnicos. Ensaio de Sondagem com medidas de N_{SPT} e torque. Projeto de fundação.

Abstract of Undergraduate Project presented to the Federal University of Rio de Janeiro/ Macaé Campus as part of the requisites required to obtain the degree of Civil Engineer.

REALIZATION OF SOIL DRILLING WITH NSPT MEASURES AND TORQUE(SPT-T)
ON TROPICAL SOIL IN MACAÉ.

Paulo Ataíde Andrade Machado

March/2020

Advisor: Gustavo Vaz de Mello Guimarães

Course: Civil Engineering

ABSTRACT: When dimensioning deep foundations, it is necessary to analyze the soil on which the building will be built. In the case of deep foundations, it is necessary to obtain some parameters of the soil that are generally unnecessary in shallow foundations. One of these parameters is lateral friction, obtained through torque. The probing test with N_{SPT} and torque measurements is one of the tests that aims to obtain this parameter. In order to study this test on Macaé soil, the research was based on profiles of real surveys of the land between the blocks and the laboratories of UFRJ, located in the Cidade Universitária de Macaé - RJ. The data found in the tests carried out were compared with the references and with each other to observe some soil behaviors. The tests were divided between those with soil washing and those without soil washing. Analyzing and comparing the tests with and without washing, it was possible to draw some conclusions regarding the methodology of the test, and in what this affects in the measurements.

Key-Words: Geotechnical Studies. Sounding test with N_{SPT} and torque measurements. Foundation project.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
1.1 OBJETIVOS	1
1.2 METODOLOGIA.....	1
1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO	2
2. INVESTIGAÇÕES GEOTÉCNICAS	3
2.2 SONDAGEM COM MEDIDAS DE N_{SPT}.....	6
2.2.1 HISTÓRICO	6
2.2.2 EQUIPAMENTOS	7
2.2.3. PROCEDIMENTO.....	9
2.2.4. VANTAGENS E DESVANTAGENS.....	12
2.3. SONDAGEM COM MEDIDAS DE NSPT E TORQUE	13
2.3.3. HISTÓRICO	13
2.3.4. EQUIPAMENTOS	19
2.3.5. PROCEDIMENTO.....	20
2.3.6. VANTAGENS E DESVANTAGENS.....	21
2.3.7. CONCLUSÕES GERAIS	22
3. ESTUDO DE CASO	22
3.1. LOCALIZAÇÃO	22
3.2. EQUIPAMENTOS	24
3.2.1. TRIPÉ DE SONDAGEM.....	25
3.2.2. MARTELO E HASTE GUIA	25
3.2.3. SISTEMA DE PERFURAÇÃO, HASTES E REVESTIMENTO.....	27
3.2.4. CABEÇA DE BATER.....	29
3.2.5. AMOSTRADOR TIPO RAYMOND.....	31
3.2.6. TORQUÍMETROS.....	32
3.2.7. SOQUETE TORX ADAPTADO.....	33
3.3. PRIMEIRA VERTICAL (SPT-T 01)	35
3.3.1. EQUIPAMENTOS UTILIZADOS	35
3.3.2. PROCEDIMENTO	36
3.4. SEGUNDA, TERCEIRA, QUARTA E QUINTA VERTICAL (SPT-T 02, 03, 04 E	

3.4.1. EQUIPAMENTOS UTILIZADOS	39
3.4.2. PROCEDIMENTO	39
3.5. RESULTADOS DAS CINCO VERTICAIS.....	41
4. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS	47
4.1. GENERALIDADES	47
4.2. SPT-T-01.....	47
4.3. SPT-T-02.....	49
4.4. SPT-T-03.....	50
4.5. SPT-T-04.....	51
4.6. SPT-T 05.....	52
4.7. COMPARAÇÕES	53
4.7.1. TORQUE VS NSPT.....	54
4.7.2. TORQUE MÁXIMO VS TORQUE RESIDUAL.....	55
5. CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA FUTURAS PESQUISAS.....	56
5.1. CONCLUSÕES.....	56
5.2. SUGESTÕES PARA FUTURAS PESQUISAS	58
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	59

1. INTRODUÇÃO

As fundações são elementos estruturais cuja função é transmitir as cargas da estrutura para o terreno onde ela se apoia (Azeredo, 1988). Para o dimensionamento de fundações é necessário o conhecimento de alguns parâmetros do terreno. Com o intuito de desenvolver um método de obtenção do atrito lateral na utilização de estacas, Ranzini (1988) desenvolveu o ensaio que aproveitava os equipamentos e de sondagem com medidas de N_{SPT} e torque (SPT-T). Com os valores de torque e comprimento de amostra no amostrador é possível estimar o valor de atrito lateral usado no dimensionamento de estacas.

1.1 OBJETIVOS

Para que se constatasse a sua aplicabilidade e dificuldades reais, e por não haver uma grande variedade de dados para este ensaio no estado do Rio de Janeiro, foi realizado o ensaio de sondagem com medidas de N_{SPT} e torque em cinco furos no campus da UFRJ/Macaé. Destes cinco, três foram feitos sem lavagem e dois com lavagem, resultando em dez pares de dados (T;N) associados aos respectivos solos classificados através de sistema tátil-visual. Outro objetivo deste trabalho, além de obter dados deste ensaio para o estado do Rio de Janeiro, é a comparação dos resultados obtidos com a principal referência Peixoto (2001), uma vez que, a autora realizou uma grande quantidade de ensaios e comparou este ensaio com outros que obtém os mesmos parâmetros (ensaio de penetração do cone ou “CPT”), validando assim a aplicabilidade do ensaio.

1.2 METODOLOGIA

Para a realização destes ensaios foi usado um torquimetro elétrico para tomar a medição do torque de cada profundidade e furo. Foi também necessária a adaptação de uma peça para encaixe do torquimetro na haste sobre a qual seria aplicado o torque. Depois dos equipamentos prontos, calibrados e testados, foram realizados os ensaios de sondagem com medidas de N_{SPT} e torque (SPT-T) com o torque medido através do torquimetro digital.

Os ensaios foram realizados em três pontos diferentes no interior do campus da UFRJ/Macaé. Através dos resultados obtidos foram feitos os seguintes estudos:

- Análise de Torque máximo x N_{SPT}

- Análise de Torque residual x N_{SPT}
- Análise de Torque máximo x Torque residual

1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO

Os seguintes capítulos terão a seguinte disposição:

No capítulo 2 estão apresentados os estudos de vários pesquisadores brasileiros e estrangeiros, mostrando, logo de início, o potencial do ensaio de sondagem com medidas de N_{SPT} e torque.

No capítulo 3 é descrito como foi a realização dos ensaios, isto é, equipamentos utilizados, adaptações necessárias e procedimentos adotados com base nas referências encontradas e na aplicabilidade na execução.

No capítulo 4 é feita a análise e apresentação dos resultados, com as tabelas contendo os dados e os gráficos plotados para uma análise mais completa.

No capítulo 5 são feitas as conclusões sobre a aplicabilidade do ensaio e suas particularidades na execução no estado do Rio de Janeiro, bem como sugestões para futuras pesquisas acadêmicas na área.

2. INVESTIGAÇÕES GEOTÉCNICAS

2.1 GENERALIDADES

A NBR 6122/2019-“Projeto e execução de fundações” define muito bem os diferentes tipos de investigações geotécnicas que devem ser realizadas para um projeto de fundações. A norma NBR 6122/2019 diz que: “para qualquer edificação deve ser feita uma campanha de investigação geotécnica preliminar, constituída no mínimo por sondagens a percussão (com SPT), visando a determinação da estratigrafia e classificação dos solos, a posição do nível d’água e a medida do índice de resistência a penetração N_{SPT} , de acordo com a ABNT NBR 6484/2001-“Solo - Sondagens de simples reconhecimento com SPT - Método de ensaio”. Na classificação dos solos deve ser empregada a ABNT NBR 6502/1995-“Rochas e solos”.

Para a programação de sondagens de simples reconhecimento para fundações de edifícios deve ser empregada a ABNT NBR 8036/1983-“Programação de sondagens de simples reconhecimento do solos para fundações de edifícios – Procedimento.”

Assim, a norma generaliza que para qualquer edificação deve ser feita uma investigação geotécnica preliminar com a execução de sondagens com medida do índice de resistência a penetração do amostrador – N_{SPT} .

Eventualmente, é importante lembrar que, em alguns tipos de pequenas edificações, uma campanha de investigação geotécnica, por mais simples que seja – de acordo com as normas, pode ser inviável economicamente.

Nesse sentido, cabe lembrar, caso a situação geotécnica do local seja favorável, que simples aberturas de trincheiras ou poços, assim como as sondagens a trado podem ser opções atraentes.

Os procedimentos são muito bem difundidos na prática da construção civil, geotecnia, geologia, agricultura, entre outras disciplinas.

A título de curiosidade, desde o século 15 até por volta de 1700 os trados começaram a ser desenvolvidos. Menciona-se a participação de Leonardo da Vinci, em engenharia de solos, com a utilização de um desses trados.

A abertura de poços e trincheiras, inclusive possui normatização - NBR 9604/2016 – “Abertura de poço e trincheira de inspeção em solo, com retirada de amostras deformadas e indeformadas — Procedimento”.

A figura 2.1 apresenta exemplos de trincheiras de observação do perfil do subsolo e sondagens a trado (tipos helicoidal e concha).

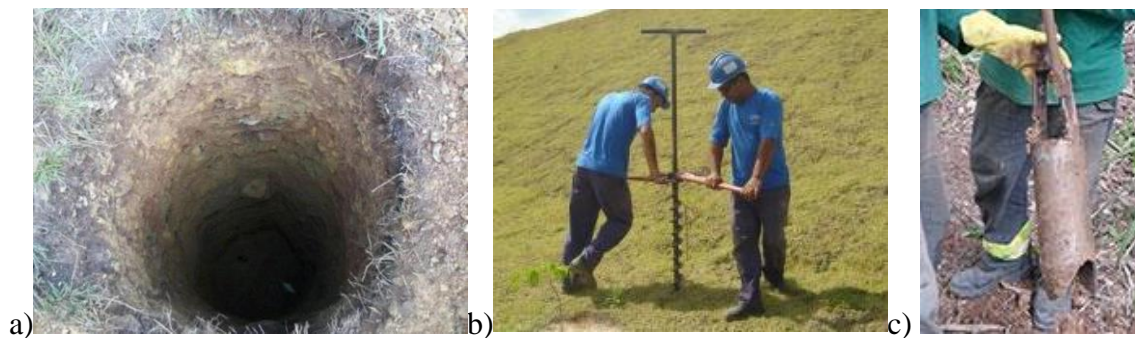


Figura 2.1 – a) Figura de uma trincheira de observação do perfil do subsolo, b) Figura do Trado helicoidal manual, c) Figura do Trado Concha.

Em locais como ampliações de construções existentes ou áreas de difícil acesso podem ser utilizados os trados mecânicos para fazer furos de inspeções. A figura 2.2 apresenta um desses equipamentos sendo utilizado perto de tubulações em operação.



Figura 2.2 – Figura de um trado mecânico em operação.

Alguns equipamentos auxiliares são essenciais para a execução dessas trincheiras ou os furos a trado. A figura 2.3 apresenta a cavadeira articulada boca de lobo, o trado helicoidal manual, a chave de grifo, a cruzeta, o conjunto de hastes e as luvas.



a)



b)

Figura 2.3 – a) Figura de uma cavadeira articulada boca de lobo e b) Figura do conjunto com (1) Trado helicoidal manual (2) Luva de 1'; (3) Haste metálica de 1'; (4) Chave de grifo; (5) Cruzeta de 1'.

A figura 2.4 apresenta a execução de um dos furos a trado realizada pela equipe de alunos participantes de projeto de extensão coordenado pelo Professor Rafael Malheiro da Engenharia Civil do Campus da UFRJ/Macaé.



Figura 2.4 – a) Procedimento de rotação do trado manual e b) Retirada do material escavado.

É muito importante frisar que esses métodos apresentados até aqui têm caráter informativo inicial, além de terem alcance superficial (cerca de 4-5 metros, na melhor das hipóteses). Tanto os poços como as trincheiras de inspeção em solo são métodos alternativos para serem utilizados, primeiramente, na avaliação inicial de algum empreendimento. O ideal é que após a utilização desses métodos uma instigação geotécnica adequada a cada empreendimento seja planejada e executada.

2.2 SONDAGEM COM MEDIDAS DE N_{SPT}

2.2.1 HISTÓRICO

As sondagens de simples reconhecimento com medida de índices a penetração começaram a ser desenvolvidas no século 20. Pode-se dizer que são bem recentes quando comparadas as simples sondagens a trado.

Por volta de 1902 o então Coronel Charles R. Gow desenvolveu um amostrador de diâmetro de 25 mm que era cravado a percussão por um martelo de 50 kgf no fundo de um simples furo.

Em 1930 H.A. Mohr e G.F.A. Fletcher padronizaram um método de cravação de um amostrador vazado, bipartido, de diâmetro de 50 mm, usando um martelo de 140 lb (63,5 kgf) caindo de uma altura de 30 in (760 mm).

Surgia assim, um ensaio que fornecia uma ideia grosseira das condições do subsolo e sempre podia ser feito.

No Brasil, as sondagens de simples reconhecimento executadas com revestimento de 51 mm de diâmetro começaram com a criação, em 1938, da Seção de Solos e Fundações do Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT), ocorrida após a viagem de estudos de Odair Grillo à Harvard University.

Mesmo assim, o ensaio de obtenção de parâmetros do solo ainda não possuía um procedimento padronizado para ser utilizado por todas as empresas.

Uma nova tentativa de padronização de um ensaio para obtenção de parâmetros do solo foi realizada pela Associação Paulista de Geologia de Engenharia (atualmente Associação Brasileira de Geologia de Engenharia) em 1977.

Em 1974 foi apresentada a primeira proposta de normatização para execução de sondagem de simples reconhecimento dos solos, a qual serviu como base para a MB 1211, atual NBR- 6484/2001, (Teixeira, 1993). Nesta proposta era utilizado o amostrador do tipo Raymond de 51 mm de diâmetro externo, tomando para procedimento de ensaio aquele constante da norma da ASTM, D1586-67, com as devidas adaptações às condições brasileiras, principalmente quanto às hastes de cravação, isto é, uso de hastes de 25 mm de diâmetro interno (3,23 kg/m).

2.2.2 EQUIPAMENTOS

Os equipamentos necessários para a realização de uma sondagem a percussão com medida de N_{SPT} são: torre com roldana; tubos de revestimento; composição de perfuração ou cravação; trado-concha ou cavadeira; trado helicoidal; trépano de lavagem; amostrador-padrão; cabeça de bater; martelo padronizado para a cravação do amostrador; bomba d'água centrífuga motorizada; caixa d'água ou tambor com divisória interna para decantação; e ferramentas gerais necessárias à operação da aparelhagem.

A figura 2.5 apresenta um esquema com as principais peças que compõem o equipamento de sondagem a percussão com medida de N_{SPT} .

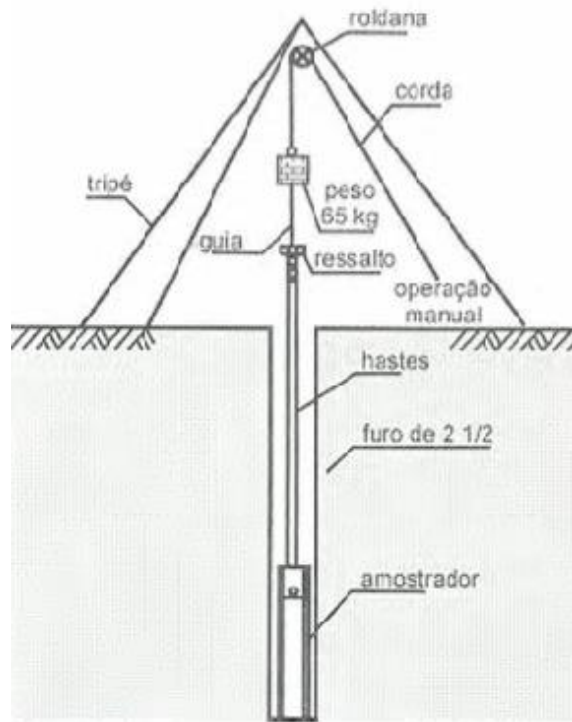


Figura 2.5 – Esquema com as principais peças que compõem o equipamento de sondagem a percussão com medida de N_{SPT} Peixoto (2001, apud Schneid, 2000).

A figura 2.6 apresenta uma serie de detalhes de alguns componentes do equipamento de sondagem. Pode-se observar em detalhes: trepano de lavagem, hastes metálicas, amostrador, hastes de revestimento, operação do equipamento e cabeça de bater.



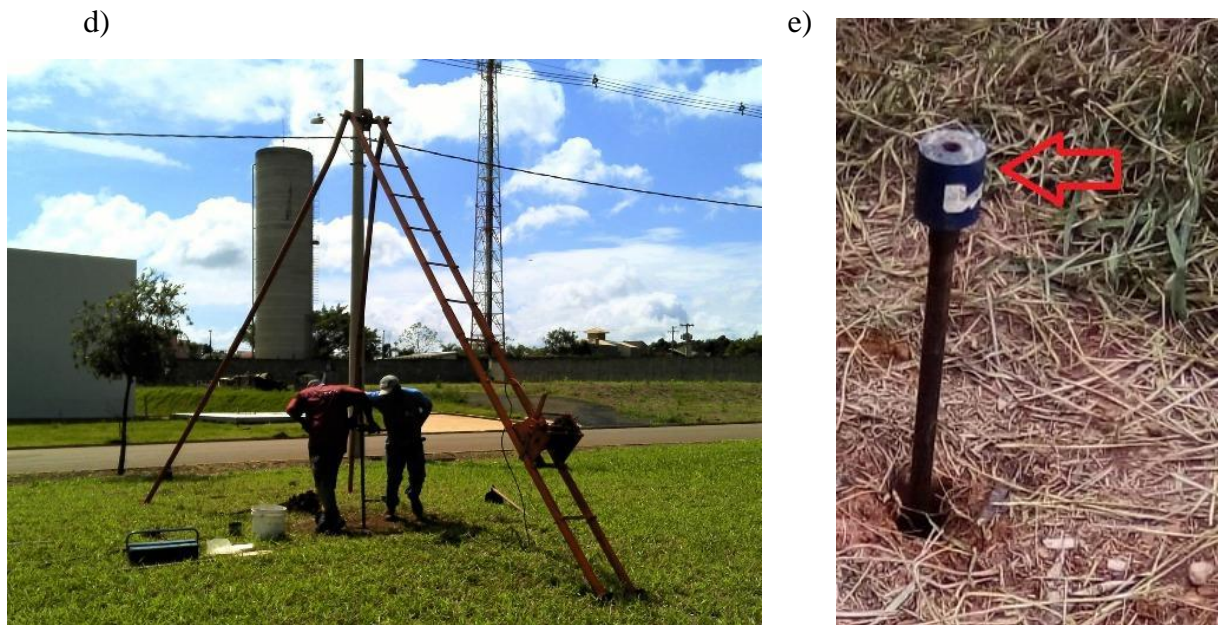


Figura 2.6 – a) Trado concha. b) Amostrador-padrão bipartido. c) Tubo de revestimento de aço com diâmetro nominal interno de 2 ½' (1); Hastes de aço com diâmetro nominal interno de 1' (2); Trépano de lavagem (3). d) Torre com roldana. e) Cabeça de bater.

2.2.3. PROCEDIMENTO

Para a construção de edifícios, primeiramente é necessário verificar na NBR 8036/1983 qual o número de furos recomendado para o empreendimento. Verificado o número e escolhidas as posições dos furos, a sondagem é iniciada até o primeiro metro de profundidade com o auxílio do trado ou cavadeira manual. Em seguida é instalado o primeiro tubo de revestimento com sapata cortante (tubo guia).

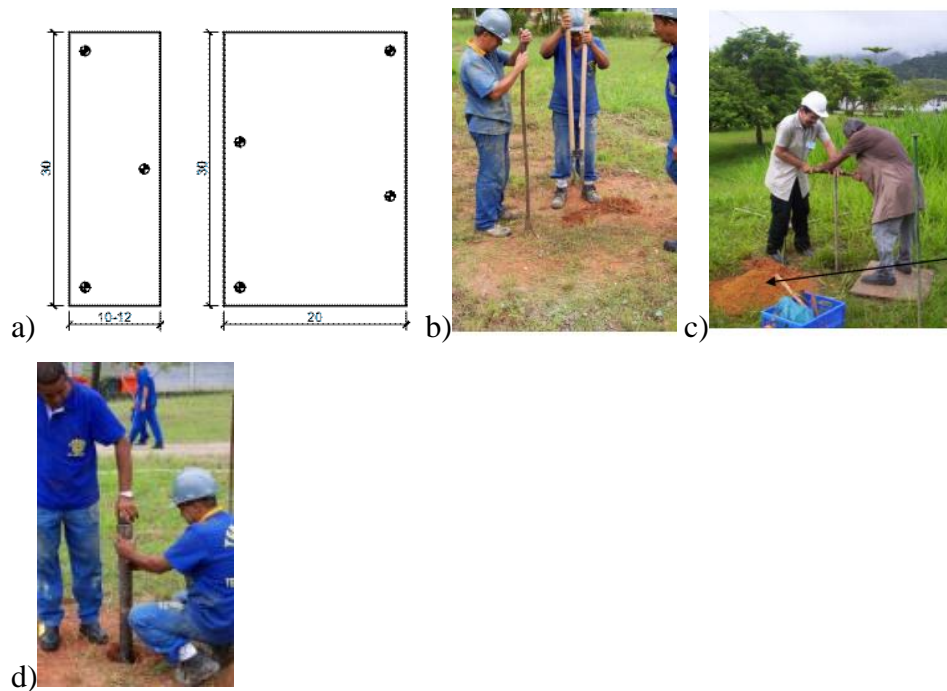


Figura 2.7 – a) Esquema com posição dos furos no terreno. b) Escavação com cavadeira manual. c) Escavação com trado manual. d) Instalação do primeiro tubo de revestimento com sapata cortante.

A seguir é posicionado o conjunto amostrador-haste-cabeça de bater no furo, e encostado o martelo padronizado. Feito isso, levanta-se e solta-se o martelo de 65 kg a 75 cm de altura da cabeça de bater até o conjunto ter afundado 15 cm. Anota-se o número de golpes e repete-se o processo mais duas vezes, até o conjunto ter afundado no total 45 cm de profundidade. É retirado, aberto, e feita análise tátil visual do amostrador com a classificação do tipo de solo e consistência. A determinação de N_{PST} se dá pelo número de golpes correspondente à cravação de trinta centímetros do amostrador-padrão, após a cravação inicial de quinze centímetros.

a)



b)



Figura 2.8 – a) Foto mostrando levantamento do martelo que será solto no conjunto amostrador-haste-cabeça de bater. b) Análise tátil visual do material retido no amostrador.

Após isso, é posicionado o trado helicoidal e são escavados mais 55 cm de profundidade até se chegar aos 2 m de profundidade. É feito novamente o processo descrito no parágrafo anterior. Esse processo é repetido até ser encontrado o lençol freático, depois é usado o trépano de lavagem com auxílio da bomba hidráulica.



Figura 2.9 – Foto mostrando o uso do trado helicoidal.

O uso do trépano é feito ao conectar a bomba hidráulica no conjunto de hastes, depois é levantado e largado, girando para amalgamar o solo e tornar mais fácil a escavação. O solo é ‘puxado’ para fora do furo pelo tubo de revestimento e cai na caixa d’água mostrada na Figura 2.4 para ser realizada a análise táctil visual do solo retirado. Isto é feito até chegar no próximo metro e então troca-se o trépano de lavagem pelo amostrador para a realização do ensaio. Esse procedimento é repetido até se chegar na profundidade desejada.



Figura 2.10 – a) Trépano conectado ao conjunto de hastes e à bomba hidráulica. b) Conjunto com trépano e bomba expelindo água do furo.

2.2.4. VANTAGENS E DESVANTAGENS

Este ensaio é bastante comum dentre os ensaio de reconhecimento do solo. Isto se deve a algumas vantagens que ele apresenta.

A principal vantagem deste ensaio é a retirada de uma amostra representativa. É possível nesta amostra fazer uma identificação táctil-visual, por exemplo.

Além disso é um ensaio relativamente barato de obtenção de algumas propriedades do solo em comparação com outros (por exemplo: palheta, ensaio CPT, etc).

Para a realização do ensaio são necessários 3 pessoas. Apenas um deles precisa de nível técnico mais avançado (sondador), sendo os outros dois, ajudantes.

A simplicidade do equipamennto e de seus procedimentos de realização tornam o ensaio particularmente mais utilizado.

Fornece um índice de resistência a penetração – N_{SPT} .

Este ensaio no entanto possui desvantagens, dentre as quais: é um método pouco racional e depender da habilidade do sondador na identificação e classificação do solo. Outra desvantagem é a obtenção de poucas propriedades dos solos.

2.3.SONDAGEM COM MEDIDAS DE NSPT E TORQUE

2.3.3. HISTÓRICO

Em 1988 Ranzini, pensou numa forma a otimizar, obtendo mais algum dado, o ensaio de sondagem com medidas de N_{SPT} . Ele então propôs o ensaio de sondagem com medidas de N_{SPT} e torque (SPT-T). Esse ensaio tem como sua principal finalidade a medição do atrito-adesão encontrado na superfície entre o solo e o amostrador. O ensaio em si é bastante similar ao ensaio de sondagem com medidas de N_{SPT} comum, sendo incrementada uma medição ao ensaio, a obtenção de um valor de atrito lateral através de um torque medido após a fixação dos 45 cm do amostrador no solo. Recorrentemente na realização do ensaio com medidas de N_{SPT} o operador costuma girar a haste com uma chave de grifo de forma a facilitar a retirada do mesmo. Bem resumidamente, o que Ranzini propõe é a utilização de um torquímetro nesse giro com intenção de obter os valores de torque máximo e residual na rotação do amostrador e assim, usar esses valores na avaliação da tensão lateral das estacas.

Ao considerar que o atrito lateral é constante na interface lateral do amostrador e na abertura inferior, valores de atrito-adesão podem ser calculados através da conversão dos valores de torque medidos com o auxílio de uma expressão proposta por Ranzini (1988 e 1994). A expressão tem como base a profundidade de cravação do amostrador e o valor de torque máximo, respeitando a condição imposta anteriormente de constância do atrito lateral no amostrador. A expressão é a seguinte:

$$f_t = \frac{T_{m\acute{a}x}}{40,5366 * h - 17,406}$$

Onde “ f_t ” é o valor de atrito-adesão em kPa, “ $T_{m\acute{a}x}$ ” é o valor medido do torque máximo em kN.m e “ h ” é a profundidade cravada do amostrador em metros.

Segundo Peixoto (2001) na dedução desta fórmula, Ranzini (1988) considerou uma variação linear da tensão de cisalhamento indo de zero, no centro da base do amostrador, até uma tensão máxima na superfície lateral cilíndrica, passando pelo trecho tronco-cônico da

sapata cortante desprezando a diferença entre o atrito interno do solo e a parede lateral do amostrador no restante da superfície.

Posteriormente essa fórmula foi corrigida pelo próprio Ranzini em 1994, e nesta correção o autor considerou que a tensão do atrito lateral fosse constante e não mais variasse ao longo do amostrador, tanto na face lateral como na abertura inferior deste. Tomando como parâmetro a profundidade de cravação, Ranzini (1994), descobriu que entre o momento aplicado com o torquímetro e o momento resistente do atrito lateral existe uma condição de equilíbrio. Assim a nova fórmula do atrito lateral com base nos parâmetros de torque e profundidade de cravação fica da seguinte forma:

$$f_t = \frac{T_{m\acute{a}x}}{41,336 * h - 0,032}$$

Sendo “ f_t ” dado em kPa, “ $T_{m\acute{a}x}$ ” em kN.m e “ h ” em metros.

Decourt e Quaresma (1991) começaram as correlações entre o torque medido no ensaio de sondagem com medidas de N_{SPT} e torque (SPT-T) com o N_{72} , sendo este último o valor de N para cravação com eficiência de 72% da estaca.

Decourt (1992), notou algumas vantagens nesse ensaio, sendo uma a medição do torque numa região que, mesmo parcialmente perturbada, ainda preserva a estrutura original, e a outra vantagem é a medição de um parâmetro dinâmico, em contraste com o valor estático do N_{SPT}

A partir daí, houve então uma divisão entre duas correntes de utilização dos valores de torque aplicados ao amostrador da sondagem. De um lado o Engenheiro Luciano Decourt, que sugeriu relação direta entre torque e N_{SPT} (T/N_{SPT}) como forma de confirmar o valor N_{SPT} e também como parâmetro de classificação geotécnica dos solos. Do outro lado, encontra-se o Engenheiro Urbano Alonso Rodrigues, que preferia utilizar o torque como previsão do atrito lateral das estacas.

Lutenegger e Kelly (1998), pesquisadores da Universidade de Massachusetts, ao adotarem o ensaio proposto por Ranzini (1988), desenvolveram uma equação mais simples para a obtenção do atrito lateral que a de Ranzini (1994). Com a realização de provas de carga à compressão e à tração no amostrador foi desenvolvida a seguinte equação:

$$f_t = \frac{2 * T_{m\acute{a}x}}{\pi * d^2 * h}$$

Onde d é o diâmetro externo do amostrador em metros, e as outras incógnitas são as já explanadas anteriormente.

Lutenegger e Kelly (1998) ao comparar as medidas de torque obtidas analógicamente e eletricamente chegaram à conclusão de que as medidas analógicas são satisfatórias.

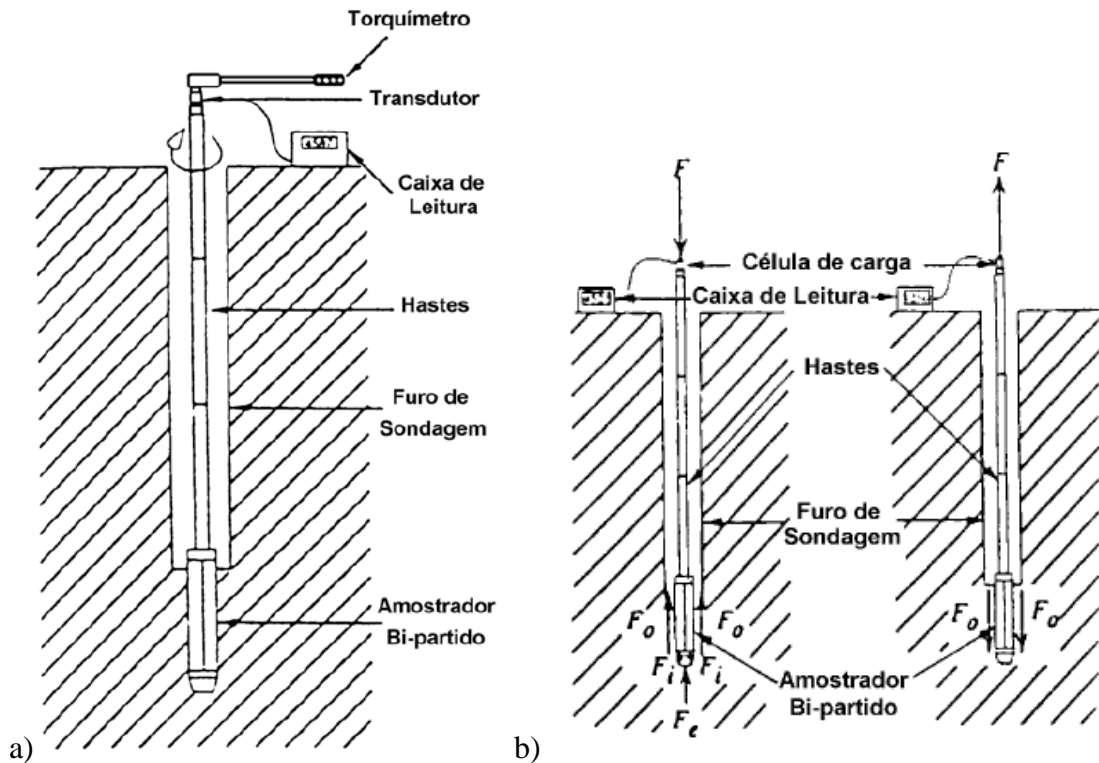


Figura 2.11 – a) Esquema da sondagem com medidas de N_{SPT} e torque *apud* Lutenegger e Kelley (1998).

b) Esquema de carregamento (compressão e tração) com atrito lateral e ponta agindo no amostrador

Peixoto(2001, *apud* Lutenegger e Kelley, 1998).

Nos ensaios de compressão e tração os autores consideraram uma força na ponta e outra na lateral do amostrador no ensaio de compressão e, apenas a consideração do atrito lateral no ensaio de tração. Apesar da possibilidade da influência de vários fatores nos resultados, foi

tirada a conclusão de que os atritos laterais calculados pelo torque e pelo ensaio de tração são coerentes, como mostrado na figura 2.12.

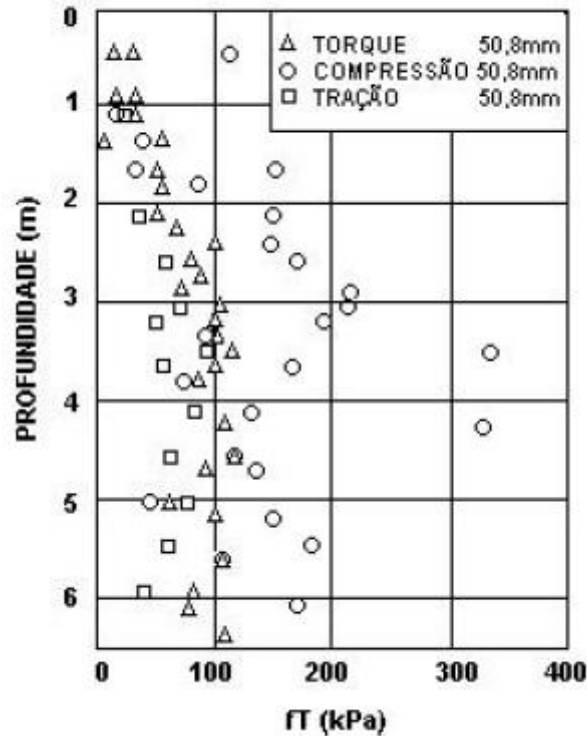
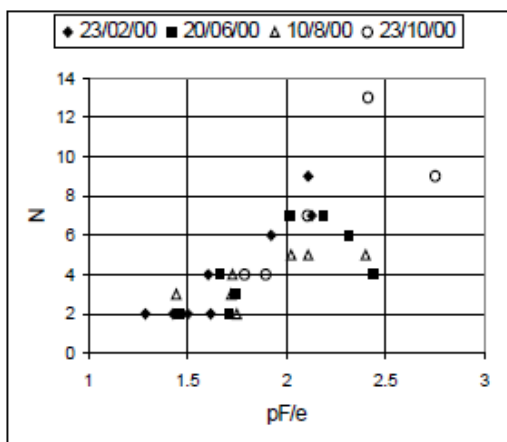


Figura 2.12 – Atrito lateral obtido através do SPT-T, do ensaio de tração e do ensaio de compressão no amostrador Peixoto(2001, apud Lutenege e Kelley, 1998).

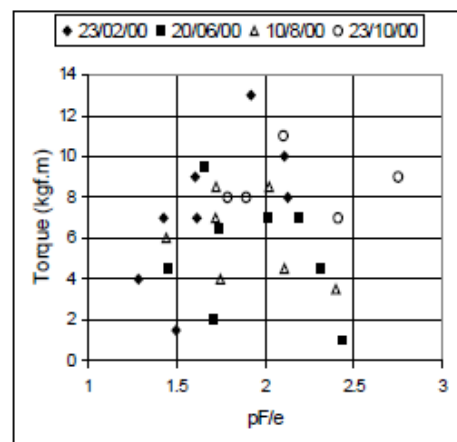
Soares (1999), com o objetivo da obtenção de parâmetros necessárias para o projeto de fundações e avaliar a operacionalidade do ensaio, fez um estudo do mesmo e concluiu que os seguintes fatores influenciam o resultado do ensaio: estado de conservação das hastes, das luvas e do amostrador; necessidade de utilização de disco-centralizador para manter as hastes na vertical; a velocidade-de-rotação do torquímetro deve ser constante; o torquímetro deve ser utilizado na posição horizontal para não afetar na medida do torque; falta de atenção do operador levando a erros de leitura e não zerar o torquímetro antes do início da rotação; e faixa de leitura dos torquímetros.

Ainda em 1999, Soares tentou achar alguma relação entre os valores deste ensaio com os obtidos no ensaio pressiométrico de Ménard (PMT), não tendo sucesso em sua tentativa. Segundo Kulhawy (2000), ao se comparar resultados de diferentes ensaios *in situ* dificilmente serão obtidas correlações satisfatórias, uma vez que, além da diferença entre modelos de ensaio, há também várias condições limites no campo.

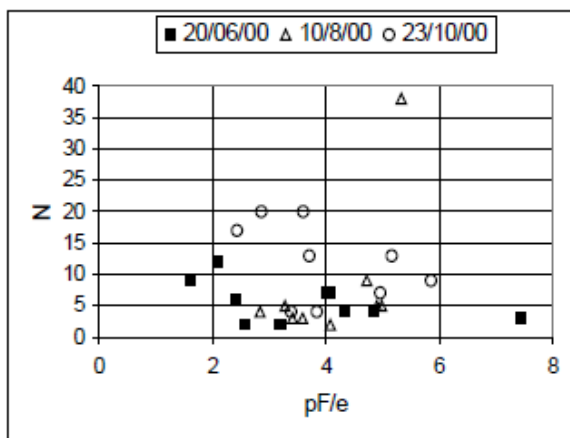
Carvalho *et al* (2001) comparam o logaritmo da sucção (pF) em cm de coluna d'água com os resultados encontrados no ensaio de sondagem com medidas de N_{SPT} e torque. Este estudo mostra que os parâmetros N e T são influenciados pelo estado que o solo não-saturado apresenta no momento do ensaio. Nesse estudo, o autor percebeu que, os valores do logaritmo da sucção sobre o valor do índice de vazios (e) com o valor de N , possuem uma relação melhor definida para amostras indeformadas. Por outro lado, quando comparados os valores de logaritmo da sucção sobre o valor do índice de vazios com o valor de torque, a relação é melhor definida para amostras deformadas, sendo a mesma inversamente proporcional.



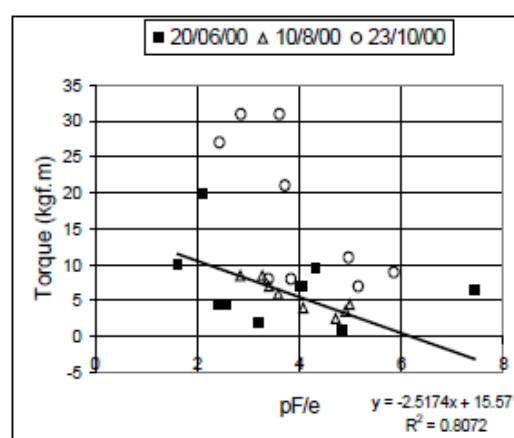
(a) Relação entre N e pF/e (indeformada)



(b) Relação entre T e pF/e (indeformada)



(c) Relação entre N e pF/e (deformada)



(d) Relação entre T e pF/e (deformada)

Figura 2.13 – Relação entre pF/e e os resultados do ensaio de sondagem com medidas de N_{SPT} e torque Peixoto(2001, apud Carvalho et al, 2001).

É destacado por Peixoto (2001) que a medida do torque não é afetada pelas mesmas fontes de erro que interferem no ensaio de sondagem com medidas de N_{SPT} apenas. Não há uma

interferência devido ao número de golpes; à altura de queda; ao atrito entre as hastes, mau estado do equipamento, dentre outros. Uma vantagem também observada por Peixoto (2001) foi a confiança do resultado do atrito cisalhante atuante, e o custo adicional da medição deste parâmetro por esse ensaio é irrisório, quando em comparação com outros métodos de obtenção do atrito cisalhante atuante.

Apesar de Peixoto (2001) ressaltar a dificuldade de comparação entre o mesmo parâmetro obtido por diferentes ensaios (por exemplo o CPT com o ensaio de sondagem com medidas de N_{SPT} e torque), de acordo com Kelly e Lutenegger (2004), o atrito lateral obtido pelo ensaio de sondagem com medidas de N_{SPT} e torque tem uma boa correlação com as medidas do *Cone Penetration Test* (CPT) e do valor N_{SPT} .

Estabelecida a importância e confiabilidade do ensaio, mostra-se necessário padronizá-lo, com finalidade de, posteriormente, normatizar o mesmo. Com esse intuito, Belincanta *et al* (2010) propôs o procedimento descrito no parágrafo seguinte.

Se possível, usa-se um torquímetro adaptado diretamente à cabeça-de-bater, pois a retirada desta pode ocasionar esforços rotacionais no amostrador, afetando a medida do torque. É aplicada torção na composição até a obtenção do valor máximo do torque registrado no leitor do torquímetro para se obter o torque máximo. Atingido esse valor, sem ocorrer parada na aplicação da torção, continua-se a rotação da composição por mais duas voltas, no mínimo, o valor obtido então é o chamado torque residual. Anotados os valores de torque máximo e residual retiram-se a peça adaptada e o torquímetro e continua-se o ensaio, tomando as medidas do torque a cada metro, junto com as medidas do N_{SPT} .



Figura 2.14 – Equipamentos para medição do torque. Fonte: Nuñez et al (2015).

Em relação à velocidade de rotação da composição, Nuñez (2015) concluiu que, avaliada a influência da relação da velocidade com os valores de N , $T_{máx}$ e umidade (w) em sete campos experimentais, não foi encontrada tendência padrão entre a velocidade e os parâmetros estudados. A velocidade de rotação confortável para o operador (entre 3 e 9 rpm) não influencia nas medidas de torque obtidas. O autor recomenda uma velocidade entre 5 e 8 rpm, levando em consideração que essa variação na velocidade se deve, principalmente, ao tipo de solo encontrado.

2.3.4. EQUIPAMENTOS

Os equipamentos necessários na realização deste ensaio são os mesmo usados na sondagem com medidas de N_{SPT} , acrescentando-se apenas o torquímetro e a peça de encaixe do torquímetro no conjunto de hastes. Sendo os equipamentos então: torre com roldana; tubos de revestimento; composição de perfuração ou cravação; trado-concha ou cavadeira; trado helicoidal; trépano de lavagem; amostrador-padrão; cabeça de bater; martelo padronizado para a cravação do amostrador; bomba d'água centrífuga motorizada; caixa d'água ou tambor com divisória interna para decantação; torquímetro (analógico ou digital); peça adaptadora com um

lado de encaixe e outro de rosca interna para enroscamento no conjunto de hastes; e ferramentas gerais necessárias à operação da aparelhagem.



Figura 2.15 – Composição de equipamentos para realização da medição do torque Peixoto(2001, apud Alonso, 1994) .

2.3.5. PROCEDIMENTO

O procedimento da sondagem com medidas de N_{SPT} e torque é quase idêntico ao do ensaio de sondagem com apenas medidas de N_{SPT} . O fator que diferencia os dois ensaios é o uso do torquímetro, sendo assim será descrito o passo a passo da realização do ensaio.

Primeiramente é necessário verificar na NBR 8036/1983 qual o número de furos recomendado para o ensaio. Verificado o número e escolhidas as posições dos furos, a sondagem é iniciada até o primeiro metro de profundidade com o auxílio do trado ou cavadeira manual. Em seguida é instalado o primeiro tubo de revestimento com sapata cortante.

A seguir é posicionado o conjunto amostrador-haste-cabeça de bater no furo, e encostado o martelo padronizado. Feito isso, levanta-se e solta-se o martelo de 65 kg a 75 cm de altura da cabeça de bater até o conjunto ter afundado 15 cm. Anota-se o número de golpes e repete-se o processo mais duas vezes, até o conjunto ter afundado no total 45 cm de profundidade. Neste ponto, retiram-se o martelo e a cabeça de bater e enrosca-se a peça adaptada para receber o torquímetro. Encaixa-se o torquímetro e gira-se, se possível, uma volta com velocidade entre 5 a 8 rpm (ou entre 12 e 7,5 segundos) para se achar o torque máximo, segundo Peixoto (2001). Após ter anotado este valor de torque, são dados mais 3 giros com a mesma velocidade e anota-

se o valor máximo a fim de achar o torque residual. Feito isso, pode-se retirar e abrir o amostrador para a análise táctil visual.

Após isso, é posicionado o trado helicoidal e são escavados mais 55 cm de profundidade até se chegar aos 2 m de profundidade. É feito novamente o processo descrito no parágrafo anterior. Esse processo é repetido até ser encontrado o lençol freático, depois é usado o trépano de lavagem com auxílio da bomba hidráulica.

O uso do trépano é feito ao conectar a bomba hidráulica no conjunto de hastes, depois é levantado e largado, girando para amalgamar o solo e tornar mais fácil a escavação. O solo é ‘puxado’ para fora do furo pelo tubo de revestimento e cai na caixa d’água mostrada na Figura 2.4 para ser realizada a análise táctil visual do solo retirado. Isto é feito até chegar no próximo metro e então troca-se o trépano de lavagem pelo amostrador para a realização do ensaio. Esse procedimento é repetido até se chegar na profundidade desejada.



Figura 2.16 – Aplicação e leitura do torque em campo.

2.3.6. VANTAGENS E DESVANTAGENS

Esse ensaio possui como vantagens: medida simultânea de duas resistências, à queda do martelo (N_{SPT}), e ao giro do conjunto haste-amostrador pelo torquímetro (T); aferição do valor N_{SPT} ; utilização de equipamentos de fácil aquisição e baixo custo; cargas de reação e

ancoragens são desnecessárias; e maior similaridade com a condição de solicitação do solo quando da cravação de uma estaca de deslocamento.

Entretanto, também possui limitações tais quais: causa torção das hastes e rompimento das luvas em solos com índices de resistência à penetração ou torque elevados; exige muito esforço físico dos operadores quando executados em solos que oferecem maior resistência; e aumenta o tempo de ensaio, dependendo da resistência oferecida pelo solo.

2.3.7. CONCLUSÕES GERAIS

Através do número de artigos publicados nos últimos anos fica claro o interesse da comunidade geotécnica na utilização do ensaio SPT-T tanto para caracterização de solos, como para sua aplicação na previsão de capacidade-decarga de estacas.

Também pode-se afirmar que, para as duas aplicações, é necessário um número maior de pesquisas (ou dados) para a obtenção de análises mais conclusivas. Portanto, baseados neste fato, seguem os estudos dos próximos capítulos.

3. ESTUDO DE CASO

3.1. Localização

A presente pesquisa foi realizada em campo experimental situado no campus da cidade universitária de Macaé na Av. Aluizio da Silva Gomes, 50 - Novo Cavaleiros, Macaé – RJ. O polo universitário possui um terreno vasto (cerca de 9000 m²) cedido pela prefeitura local no qual estão construídos três blocos, e um em construção. Além Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ) estão presentes no campus a Universidade Federal Fluminense (UFF) e a Faculdade Miguel Ângelo da Silva Santos (FeMASS). A figura 3.1 mostra a vista aérea do campus.

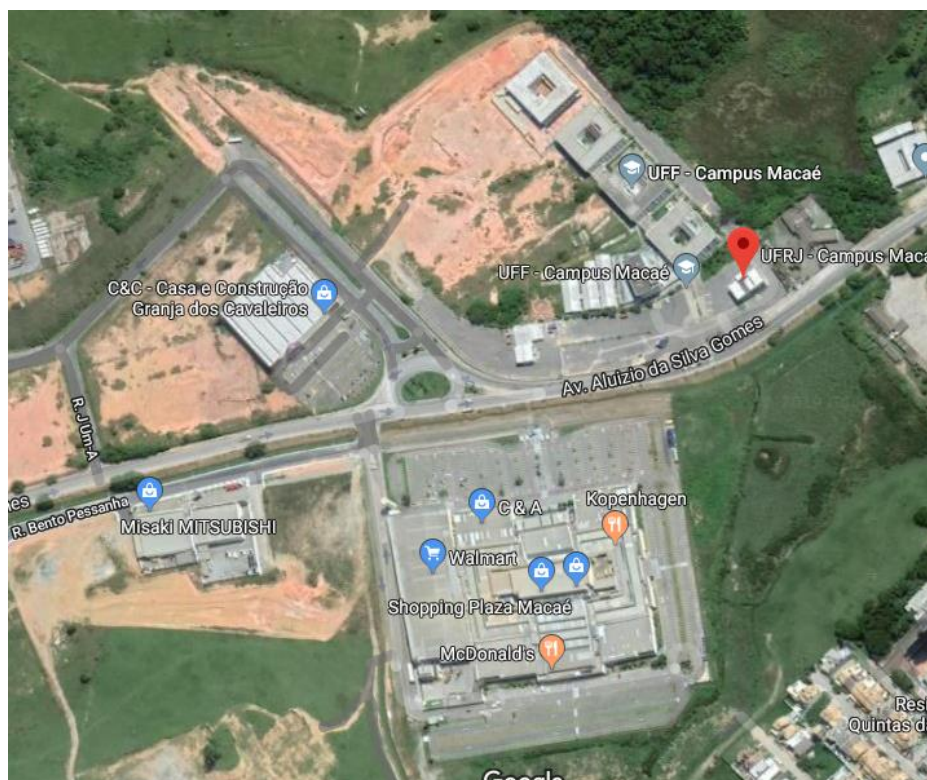


Figura 3.1 - Localização do Campus da Cidade Universitária em Macaé, GOOGLE.COM (acesso em 06/02/2020).

A pesquisa contou com a realização de ensaios¹ de sondagens a percussão com a medida de N_{SPT} e torque (SPT-T). Foram realizadas cinco verticais² de SPT-T, sendo que os pontos foram escolhidos com os critérios distintos. A primeira vertical foi escolhida de modo a ser próxima as provas de carga realizada por Silva (2019) e Mendonça (2020). A segunda e terceira vertical foram executadas próximas de um ponto com água, facilitando assim a execução do avanço por lavagem nas respectivas verticais. Por fim, a quarta e a quinta vertical foram realizadas entre a primeira e a segunda e terceira vertical.

¹ O processo dinâmico de medida do N_{SPT} e o procedimento estático de medida do torque são referentes aos ensaios.

² As verticais estão relacionadas aos furos, onde, em determinadas profundidades, são realizados os ensaios mencionados anteriormente.

Na tabela 3.1 encontra-se as coordenadas de cada vertical.

Tabela 3.1 – Coordenadas dos ensaios

Vertical	Coordenada
SPT-T 01	22°23'22.1"S 41°48'28.1"W
SPT-T 02	22°23'24.8"S 41°48'26.3"W
SPT-T 03	22°23'24.7"S 41°48'26.4"W
SPT-T 04	22°23'23.6"S 41°48'26.8"W
SPT-T 05	22°23'23.6"S 41°48'26.9"W

A figura 3.2 apresenta as cinco verticais realizadas na presente pesquisa.



Figura 3.2 - Localização das verticais de SPT-T no Polo Universitário, GOOGLE.COM (acesso em 06/02/2020).

3.2. Equipamentos

Quase todos os equipamentos utilizados já eram de posse do laboratório de engenharia Civil da UFRJ/Macaé. Porém houve a necessidade de se adquirir alguns equipamentos, além de fabricar algumas peças de adaptação.

3.2.1. Tripé de sondagem

Constituído do tripé, roldana e do cabo de aço com um sistema manual para ajudar a levantar o martelo quando adequado. O tripé de sondagem, figura 3.3, foi verificado no que tange a lubrificação da roldana a qual pode influenciar na quantidade de golpes.



Figura 3.3 – Tripé de sondagem.

3.2.2. Martelo e haste guia

O martelo “tipo pino guia” utilizado nos ensaios possui 64 kgf. Tal medida está dentro do tolerável por norma. Assim pode-se afirmar que o número de golpes é pouco (ou nada) influenciado pela variação do peso do martelo. É importante mencionar que quanto mais

utilizado (em outras palavras – mais velho) for o martelo, maiores são as chances de variação do peso dele, tornando-se a aferição um fator cada vez mais imprescindível.

A haste guia responsável por guiar o martelo de forma centrada na cabeça de bater durante o golpe, possui uma linha dourada e espessa que serve de referência durante a aplicação de cada golpe. Essa linha, chamada “marca”, está a 74,8 cm do martelo, o que está dentro do esperado pela norma.

A figura 3.4a apresenta o martelo de queda e a 3.4b a haste guia do mesmo.

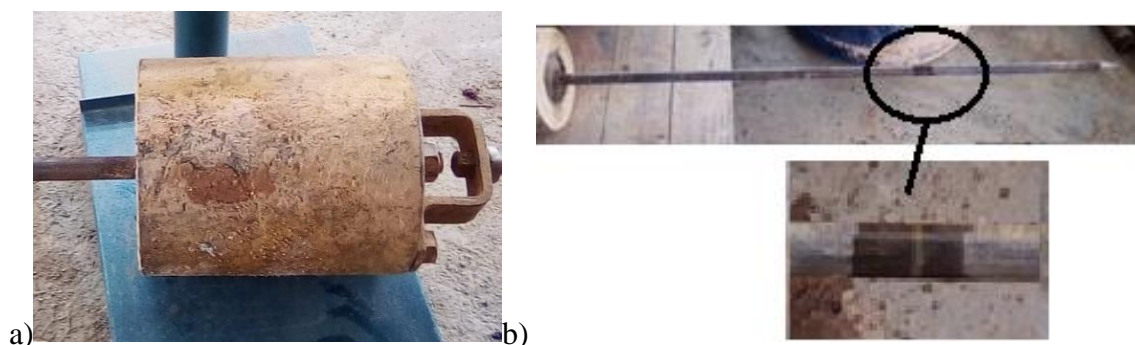


Figura 3.4 – (a) Martelo de queda e (b) haste guia e respectivo detalhe da marca de referência.

A tabela 3.2 apresenta as verificações das medidas de peso, altura, diâmetro externo e interno do martelo realizadas durante a presente pesquisa. Na medição do diâmetro interno do martelo, a medição foi de forma indireta com um paquímetro, uma vez que, foi apresentada bastante dificuldade de separar o conjunto do martelo com a haste guia.

Tabela 3.2 – Tabela de aferição de medidas do martelo

	ABNT NBR 6484/2001	Medido
Peso	65 kgf	64 kgf
Altura	230 mm	230 mm
Diâmetro externo	200 mm	204,3 mm
Diâmetro interno	44 mm	49,76 mm

A tabela 3.3 apresenta as verificações das medidas de comprimento, marca e diâmetro da haste guia realizadas durante a pesquisa.

Tabela 3.3 – Tabela de aferição de medidas da haste guia

	ABNT NBR 6484/2001	Medido
Comprimento	1,20 m	1,20 m
Marca	0,75 m	0,748 m

Diâmetro	33,4 mm	33,4 mm
----------	---------	---------

3.2.3. Sistema de perfuração, hastes e revestimento

O sistema de perfuração é utilizado para alcançar a cota desejada em cada vertical para realizar o ensaio dinâmico de medida de N_{SPT} e o ensaio estático de medida do torque.

Dependendo da posição do nível d'água duas alternativas podem ser empregadas para fazer a perfuração: (i) acima do nível d'água devem ser utilizados trados e (ii) abaixo do nível d'água o trepano de lavagem. Normalmente, em solos arenosos, a partir de um metro de profundidade emprega-se o revestimento em qualquer uma das alternativas, uma vez que solos arenosos não tem coesão.

O tubo de aço utilizado como revestimento possui em média 2,5" de diâmetro. As medidas foram tomadas nas extremidades dos tubos. As hastes de perfuração utilizadas possuem em média 1" de diâmetro. As medidas também foram tomadas nas extremidades dos tubos. A figura 3.5 apresenta os tubos de revestimentos e as hastes de perfuração. Com relação ao comprimento, foram utilizados revestimentos e hastes de 1 e 2 metros de comprimento.



Figura 3.5 – Tubo de revestimento e hastes de perfuração

A tabela 3.4 apresenta a aferição das medidas de diâmetro mínimo e máximo dos tubos de revestimento realizadas durante a pesquisa.

Tabela 3.4 – Tabela de aferição de medidas do tubo de revestimento

	ABNT NBR 6484/2001	Medido
Diâmetro mínimo	63,5 mm	66,5 mm
Diâmetro máximo	165 mm	

A tabela 3.5 apresenta as verificações do peso nominal, das medidas de comprimento, e diâmetros mínimo e máximo das hastes de perfuração realizadas durante a pesquisa.

Tabela 3.5 – Tabela de aferição de medidas das hastes de perfuração

	ABNT NBR 6484/2001	Medido
Peso nominal teórico	3,23 kgf/m	3,1 kgf/m
Comprimento 1	1000 ±10 mm	1000 mm
Comprimento 2	2000 ±10 mm	2000 mm
Diâmetro externo	33,4 ±2,5 mm	33,42 mm
Diâmetro interno	24,3 ±2,5 mm	23,6 mm

Um dos trados empregados na presente pesquisa foi um trado helicoidal mecânico com funcionamento a base de gasolina. O alcance máximo deste trado é de 5 metros. O diâmetro do furo realizado pelo mesmo é de 10 cm. Ressalta-se que esse trado possui hastes próprias. Outro trado, manual e de formato de concha, também foi utilizado na pesquisa. Neste trado manual, as próprias hastes de perfuração podem ser utilizadas e o diâmetro do furo realizado por ele é de 10 cm. A figura 3.6a apresenta o trado helicoidal mecânico e a figura 3.6b mostra o trado manual tipo concha.



Figura 3.6 – (a) trado helicoidal mecânico e (b) trado manual

O sistema de bombeamento de água é constituído por alguns itens. Por razões etimológicas necessita-se de água e um lugar para armazená-la. O armazenamento de água foi realizado em uma caixa d'água de 500 L (figura 3.7a). O trepano de lavagem e a bomba d'água centrífuga motorizada (5,5 hp) também fazem parte do sistema e estão apresentados nas figuras 3,7b e 3,7c respectivamente.



Figura 3.7 – a) Caixa d'água b) Trépano de lavagem. c) Bomba d'água centrífuga motorizada.

A bomba de água funciona a base de gasolina. No caso da pesquisa foram necessários dois litros de combustível para realizar 18 horas de trabalho de perfuração.

O transporte de água para o local de algumas sondagens provou ser mais difícil do que o esperado devido à distância das verticais para o ponto mais próximo de abastecimento de água.

Para a vertical SPT-T-01, que estava a mais de 100 metros de distância do ponto de abastecimento, foi transportada uma caixa d'água cheia em cima de um carrinho plataforma de madeira até o local do ensaio.

Para as demais verticais, que estavam a cerca de 20 e 60 metros de distância do ponto de abastecimento, primeiramente encheu-se uma caixa d'água através de mangueiras conectadas ao ponto de abastecimento. Após isso, utilizou-se o próprio sistema de bombeamento e uma outra caixa d'água para transportar a água até a posição final.

3.2.4. Cabeça de bater

A cabeça de bater, responsável por receber o golpe do martelo, deve ter um determinado peso especificado por norma. Porém a cabeça de bater disponível estava danificada, sendo verificado que a haste guia do martelo não passava facilmente no orifício. Assim, optou-se por torneiar a peça.

A figura 3.8 mostra o processo de torneamento da cabeça de bater para abrir o furo permitindo a haste guia passar. Esse procedimento foi realizado no laboratório da engenharia mecânica, com o auxílio do engenheiro mecânico Newton Amorim.



Figura 3.8 – Cabeça de bater sendo torneada

Após o procedimento a cabeça de bater foi pesada, figura 3.9, com o peso de 4280,2 gf, o que está dentro do tolerado no que tange ao peso.



Figura 3.9 – Aferição do peso da cabeça de bater

A tabela 3.6 apresenta as verificações das medidas de peso, altura e diâmetro da cabeça de bater realizadas durante a pesquisa.

Tabela 3.6 – Tabela de aferição de medidas da cabeça de bater

	ABNT NBR 6484/2001	Medido
Peso	3,5 kgf – 4,5 kgf	4,3 kgf
Altura	90 ±10 mm	95,5 mm

Diâmetro	88 ± 10 mm	88,66 mm
----------	----------------	----------

3.2.5. Amostrador tipo Raymond

Na presente pesquisa foi utilizado o amostrador padrão bi-partido tipo Raymond de acordo com a norma 6484/2001. A figura 3.10a apresenta o amostrador “fechado” e a figura 3.10b o amostrador aberto.



Figura 3.10 – a) Amostrador padrão fechado b) Amostrador padrão aberto.

A tabela 3.7 apresenta as verificações das medidas de comprimento do corpo, diâmetro do orifício e diâmetros externo e interno do amostrador realizadas durante a pesquisa.

Tabela 3.7 – Tabela de aferição de medidas do amostrador

	ABNT NBR 6484/2001	Medido
Comprimento do corpo	$609,6 \pm 24$ mm	627 mm
Diâmetro do orifício	22 ± 10 mm	11,92 mm
Diâmetro externo	$50,8 \pm 2$ mm	50,5 mm
Diâmetro interno	$34,9 \pm 2$ mm	34,82 mm

Vale destacar que esforços para um melhor entendimento acerca do tipo de amostrador a ser utilizado para ensaios de aplicação de torque em sondagens com medidas de N_{SPT} vem sendo realizados. Danziger (2019) menciona que não devem haver alterações significativas nos

resultados de torque. Assim, já que o amostrador disponível para a realização dos ensaios era o tipo bi-partido, decidiu-se utilizá-lo.

3.2.6. Torquímetros

Para a aplicação do torque foi utilizado um conjunto composto por um braço de alavanca e um torquímetro digital. Devido a disponibilidade naquele momento, o braço de alavanca também era um torquímetro, sendo esse analógico da marca GEDORE. Salienta-se que devido as condições não ideais deste torquímetro analógico optou-se por acoplar a ele o torquímetro digital da marca GROSS. A figura 3.11a apresenta o torquímetro analógico (braço de alavanca) e a figura 3.11b o torquímetro digital.



Figura 3.11 – a) Torquímetro analógico. b) Torquímetro digital

Uma das vantagens da utilização do torquímetro digital para o ensaio SPT-T é o registro do torque máximo aplicado. Porém, é importante mencionar que o torquímetro analógico pode, facilmente, ser empregado para a realização do ensaio. Neste caso, alguns cuidados adicionais têm que ser considerados como, por exemplo, a anotação do torque máximo.

Ressalta-se que o laboratório de engenharia civil não possuía os torquímetros. Assim, o engenheiro mecânico Newton Amorim emprestou gentilmente seu equipamento pessoal. Já o torquímetro digital foi comprado pelos orientadores da presente pesquisa exclusivamente para a realização desses ensaios.

O torquímetro digital veio calibrado de fábrica. A calibração do mesmo está apresentada no anexo A.

3.2.7. Soquete Torx Adaptado

O soquete Torx é a peça responsável por transmitir o torque do torquímetro para a composição de hastes. Como o laboratório de engenharia civil não possuía essa peça, a mesma foi fabricada no laboratório de engenharia mecânica. A fabricação foi realizada com a ajuda e acompanhamento do engenheiro mecânico Newton Amorim.

Para a adaptação da peça foram necessários: uma luva com roscas internas de 1", figura 3.12a, (rosqueável nas hastes); e um soquete fêmea Torx, figura 3.12b, com encaixe de 1/2".

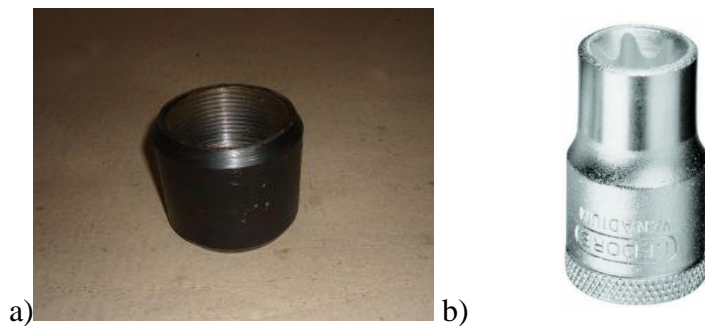


Figura 3.12 – a) Luva com roscas internas de 1". b) Soquete fêmea torx com encaixe de 1/2".

Primeiramente, a luva e o soquete tiveram suas superfícies regularizadas com o auxílio do equipamento moto-esmeril de bancada de 6" ME-4^a, figura 3.13.



Figura 3.13 – a) Regularização e limpeza da luva na moto-esmeril de bancada. b) e c) Regularização e limpeza do soquete no moto-esmeril de bancada.

Feito isso e esperado resfriar as peças, foi firmado em uma morsa de bancada as duas peças juntas (figura 3.14a), tendo em consideração o nivelamento da junção das peças. Posteriormente utilizou-se uma máquina de solda elétrica Bantam 200 A (figura 3.14b), que funciona no princípio de arco elétrico para realização da soldagem, unindo, assim, as duas peças (figura 3.14c).



Figura 3.14 – a) Posicionamento das peças na morsa de bancada. b) Máquina de solda elétrica Bantam 200A utilizada. c) Realização da solda.

Esperou-se o resfriamento do conjunto e, mais uma vez, foi usada a moto-esmeril, para retirada de impurezas, limpeza e regularização da solda (figura 3.15a). Na figura 3.15b, mostra-se a peça já pronta para utilização no ensaio.



Figura 3.15 – a) Regularização e limpeza das peças soldadas; b) Peça de adaptação finalizada

Neste ponto, ressalta-se a importância da utilização dos equipamentos de proteção individual (EPI's).

3.3. Primeira Vertical (SPT-T 01)

A primeira vertical (SPT-T 01) foi realizada nos entornos de uma área já conhecida geotecnicaamente (Silva, 2019; Mendonça, 2020). A figura 3.16 mostra a localização da primeira vertical em relação ao local já estudado em outras pesquisas.



Figura 3.16 – Localização da primeira vertical no polo universitário.

3.3.1. Equipamentos utilizados

A primeira vertical foi realizada em um perfil de solo onde não foi encontrado nível d'água. Assim, para a perfuração, foram utilizados o trado helicoidal mecânico e o trado concha

tradicional. Além destes equipamentos também foram utilizadas as tradicionais hastes de sondagem, o tripé de sondagem, o martelo com a haste guia, a cabeça de bater, o amostrador e o torquímetro associado ao soquete fabricado. Uma caderneta de campo também foi utilizada pela equipa para anotações importantes, tais como: N_{SPT} , valor dos torques, ausência de nível d'água, etc.

3.3.2. Procedimento

De acordo com o procedimento da NBR 6484/2001 as medidas de N_{SPT} das sondagens a percussão devem ser realizadas após a escavação do primeiro metro de solo. Eventualmente esse procedimento pode ser alterado de acordo com a finalidade de um determinado projeto. No caso de fundações superficiais ou fundações profundas em pequenas profundidades (e.g.: cerca de 3-4 metros) é interessante que as medidas de N_{SPT} sejam determinadas mais superficialmente. Desta forma, devido à localização da primeira vertical (próximas as provas de carga em placas realizadas por Silva, 2019 e Mendonça, 2020) foram determinadas medidas de N_{SPT} e torque a 0,5 m de profundidade.

Após a locação do ponto exato da primeira vertical e a colocação do tripé de sondagem no referido ponto a primeira vertical foi iniciada até 0,5 m de profundidade com o auxílio do trado helicoidal mecânico, ver figura 3.17a. Em seguida o furo foi conformado com o trado concha, uma vez que o diâmetro do trado mecânico era inferior ao adequado para a realização da sondagem. Ressalta-se que no início da escavação e durante essa etapa do procedimento o resíduo de solo foi retirado com uma cavadeira tipo boca de lobo (figura 3.17b).



Figura 3.17 – a) Escavação inicial utilizando o trado helicoidal mecânico. b) Retirada do resíduo de solo com auxílio da cavadeira boca de lobo

A seguir foi posicionado o conjunto amostrador-haste de perfuração e cabeça de bater no furo (figura 3.18a), e encostado o martelo padronizado. Feito isso, foram aplicados os golpes com o martelo de acordo com a NBR 6484/2001, sendo estes devidamente anotados na caderneta de campo. Logo após o martelo e a cabeça de bater foram retirados³ e enroscado o “soquete Torx” adaptado na extremidade da haste de perfuração.

Assim, foi encaixado o torquímetro e aplicado, manualmente, uma rotação no conjunto (soquete, haste de perfuração e amostrador), ver figura 3.18b. Cabe ressaltar que o laboratório de engenharia civil não possuía uma peça para manter a centralização do conjunto durante a aplicação do torque. Assim, afim de tentar minimizar problemas de excentricidades a aplicação do torque foi realizada com baixas velocidades. As velocidades de aplicação do torque foram da ordem de 5 a 8 rpm (12 e 7,5 segundos por volta). Então, foi realizada a leitura no visor do torquímetro do valor do torque máximo (figura 3.18c). Por último foi retirado o conjunto do furo, confirmada a profundidade final com a utilização de uma trena e aberto o amostrador para análise táctil visual da amostra. Ressalta-se ainda que parte da amostra foi embalada devidamente e encaminhada para laboratório para determinação de umidade.



³ Cabe mencionar que Peixoto (2001) e Belincanta (2010) recomendam não remover a cabeça de bater da composição. Assim a adaptação da peça deveria ser realizada na cabeça de bater. Infelizmente a percepção deste importante detalhe só aconteceu durante a realização dos ensaios. Desta forma não foi possível atender as recomendações daqueles autores. Neste contexto, cabe frisar que se recomenda fortemente adaptar a peça do torquímetro na cabeça de bater, como recomendado por Peixoto (2001) e Belincanta (2010).

Figura 3.18 – a) Posicionamento do amostrado e haste de perfuração no furo; b) Aplicação do torque no conjunto; c) Detalhe do visor do torquímetro

Escavou-se mais 5 cm com o auxílio do trado helicoidal mecânico para que se atingisse a profundidade de 1 metro e todo o processo mencionado anteriormente foi repetido.

Com o trado mecânico foram escavados mais 55 cm até atingir os 2 metros de profundidade e novamente o processo foi repetido.

3.4. Segunda, terceira, quarta e quinta vertical (SPT-T 02, 03, 04 e 05)

As outras quatro verticais foram locadas em pares, ou seja, a segunda e terceira próximas uma da outra e a quarta e quinta também próximas entre elas. Essa locação foi definida para que comparações⁴ entre esses pares pudessem ser realizadas (SPT-T 02 x SPT-T 03 e SPT-T 04 x SPT-T 05). Assim as distâncias entre cada ponto dos pares foi a menor possível.

A segunda e terceira vertical foram dispostas de modo que o apoio logístico fosse o melhor possível (p.ex.: proximidade ao laboratório e ponto de água). A terceira e quarta vertical, por sua vez, foram locadas em um ponto médio entre as demais verticais.

A figura 3.19 apresenta a locação, no polo universitário, das cinco verticais realizadas nesta pesquisa.

⁴ Uma das comparações realizadas foi a utilização do processo de lavagem na perfuração do furo.



Figura 3.19 – Locação das verticais no polo universitário.

3.4.1. Equipamentos utilizados

Para a segunda e quarta vertical os equipamentos utilizados foram os mesmos descritos para a primeira vertical.

Para a terceira e quinta vertical, além dos equipamentos descritos na primeira vertical, também foram utilizados o revestimento e o sistema de perfuração a base de água, composto por bomba d'água e trépano de lavagem.

3.4.2. Procedimento

Após locado os pontos e posicionado o tripé nos locais exatos da segunda e quarta vertical a perfuração foi realizada com o uso do trado tipo concha e a cavadeira tipo boca de lobo (o solo apresentou-se com uma resistência menor e não foi necessária utilização do trado helicoidal mecânico). Diferente da primeira vertical, a perfuração seguiu até 1 metro de profundidade (nestes casos não havia a necessidade de obter-se os ensaios em profundidades menores). A seguir o conjunto do amostrador-haste de perfuração e cabeça de bater foram

posicionados no furo e o martelo padronizado encostado no topo da cabeça de bater. Assim, também foram aplicados os golpes com o martelo de acordo com a NBR 6484/2001, sendo estes devidamente anotados na caderneta de campo. Da mesma forma que na primeira vertical o martelo e a cabeça de bater foram retirados e enroscado o soquete Torx adaptado na extremidade da haste de perfuração. Encaixou-se o torquímetro e aplicado, manualmente, uma rotação no conjunto (soquete, haste de perfuração e amostrador). Foi computado o valor do torque máximo e a seguir, diferentemente da primeira vertical, seguiu-se aplicando o torque até que o valor do mesmo se tornasse constante (foram necessárias cerca de três voltas completas do conjunto). Anotou-se esse valor como o torque residual. A mesma velocidade para aplicação do torque foi adotada nestas verticais. O conjunto foi retirado do furo e confirmada a profundidade final com a utilização de uma trena. O amostrador foi aberto e, antes da realização da análise táctil visual do solo, foi medido o comprimento da amostra (sem contabilizar o solo que estava na “sapata”). Parte do solo também foi embalado devidamente e encaminhado para laboratório para determinação da umidade.

Escavou-se mais 45 cm com o auxílio do trado helicoidal mecânico para que se atingisse a profundidade de 2 metros e todo o processo mencionado anteriormente foi repetido.

Para a terceira e quinta vertical o procedimento foi semelhante da segunda e quarta vertical. A única diferença é que a escavação foi realizada inicialmente com a cavadeira boca de lobo (até atingir seu limite máximo) e depois com o sistema de perfuração com água (bomba e trepano de lavagem). Nestas verticais também foram utilizados revestimentos. A figura 3.20a mostra a utilização do trepano de lavagem e a figura 3.20b a aplicação do torque no conjunto.



Figura 3.20 – a) Perfuração com auxílio do trepano de lavagem; b) Leitura do torquímetro digital.

Assim como nas outras três verticais, na terceira e quinta vertical os ensaios foram realizados somente até 2 metros de profundidade. Vale destacar que este limite na profundidade se deu por fins práticos. Com efeito, a equipe de sondagem⁵ estava com um limite reduzido de tempo disponível. Desta forma, optou-se por se realizar mais verticais com menores profundidades, pois percebeu-se que, quanto mais profundo se realizava os ensaios, as dificuldades eram maiores e mais tempo era dispendido para tal.

3.5. Resultados das cinco verticais

Neste item são apresentados, para as diversas profundidades das cinco verticais, os valores dos ensaios de medida do N_{SPT} , torque máximo e torque residual, além dos valores da umidade, comprimento e classificação táctil-visual das amostras obtidas.

3.5.1 SPT-T 01

A vertical SPT-T 01 foi executada sem procedimento de lavagem, pois não foi encontrado nível d'água até a profundidade máxima ensaiada.

Como essa vertical foi a primeira realizada de toda a campanha alguns fatores relacionados aos ensaios de medida de torque merecem destaque.

Conforme descrito anteriormente, para a realização da medida dos torques, era necessário remover a cabeça de bater do conjunto amostrador-hastes-cabeça de bater. Assim, na primeira vertical, percebeu-se que esse procedimento poderia ser prejudicial em alguns casos. De fato, na SPT-T 01, algumas medidas de torque máximo e residual, ou não foram executadas ou não são confiáveis. Nesse contexto, vale destacar novamente o conselho da utilização do torquímetro adaptado na cabeça de bater, conforme realizado por Peixoto, 2001 e recomendado por Belicanta, 2010. A figura 3.21a mostra a maneira na qual o torquímetro foi utilizado nesta

⁵ Um agradecimento especial a empresa SoloSuporte Fundações, que gentilmente ofereceu sua equipe para apoio desta pesquisa. Destaca-se que a empresa é do ex-aluno de engenharia civil da UFRJ/Macaé, formado em 2016, Luiz Felipe Campos Lobo.

pesquisa, enquanto a figura 3.21b apresenta a forma correta de utilização do torquímetro - adaptado a cabeça de bater.

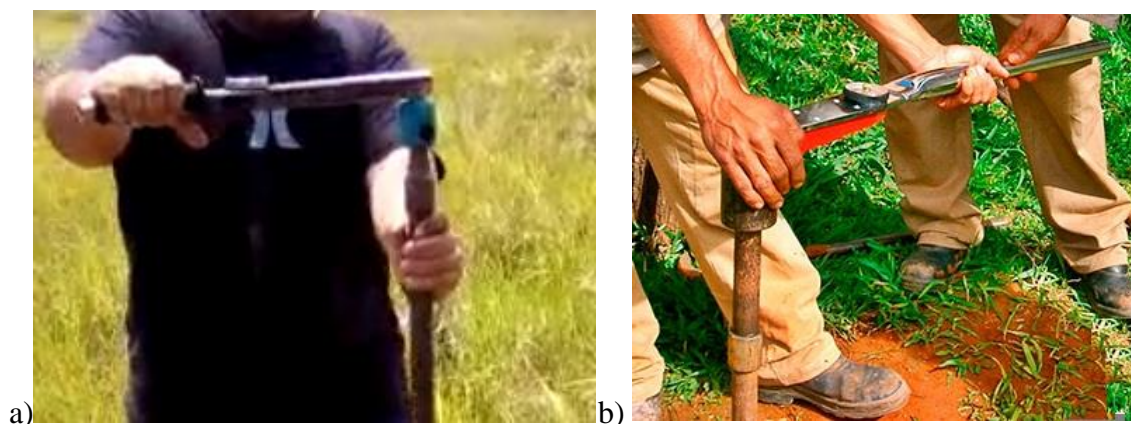


Figura 3.21 – (a) Adaptação não recomendada e (b) Adaptação recomendada.

Outro ponto a ser destacado foi o próprio torquímetro. O instrumento utilizado não foi desenvolvido para a aplicação que estava sendo executada. Normalmente o tipo de torquímetro, utilizado nesta pesquisa, é usado para aperto de peças onde se conhece previamente o valor de torque a ser atingido. Desta forma, o torquímetro possui um sistema que avisa, através de um apito, quando o valor de torque, pré-definido, é alcançado. Assim, em alguns casos, principalmente nas primeiras medidas, isso aconteceu. Naturalmente, sem saber que som era aquele, a equipe resolveu parar a aplicação do torque, pois pensava-se que o aparelho poderia estar sendo danificado. Somente após a constatação pela equipe, no manual de utilização do equipamento, que aquele som era normal continuou-se a aplicação do torque e os valores de torque máximo foram obtidos.

A tabela 3.8 apresenta os valores de N_{SPT} , torque máximo e residual, umidade, comprimento e classificação táctil-visual das amostras para as profundidades de 0,5 m; 1 m e 2 m da vertical SPT- T 01.

Tabela 3.8 – Valores das medidas de N_{SPT} e torque máximo e residual, com suas respectivas umidades, comprimento e classificação táctil-visual das amostras referentes ao SPT-T 01.

Profundidade (m)	N_{SPT} (golpes)	Torque máximo (N.m)	Torque residual (N.m)	Umidade (%)	Comprimento da amostra (cm)	Classificação táctil-visual
0,5	19	76	-	-	26	Silte argiloso
1,0	16	100	-	18,6	9	Areia média fina

2,0	17	227	-	23,4	9	Silte argiloso com areia
-----	----	-----	---	------	---	--------------------------

Os valores de N_{SPT} para todas as profundidades foram obtidos normalmente, ou seja, para os dois últimos segmentos de 15 cm da cravação a percussão do amostrador padrão.

Vale destacar que os valores do torque máximo obtidos para as profundidades de 0,5 m e 1 m podem não condizer com a realidade. Com efeito, durante a realização desta primeira vertical, foi observado por parte da equipe que a cabeça de bater ao ser desenroscada do conjunto de hastes pode ter alterado o contato entre o amostrador e o solo que o circundava, possivelmente, influenciando nos valores de torque obtidos. Já para a profundidade de 2 m um cuidado extra foi adotado pela equipe de modo que o valor do torque máximo foi bem maior. Cabe ressaltar que o valor do torque máximo obtido em 2 m de profundidade foi superior ao valor máximo do fundo de escala do aparelho (200 N.m).

Infelizmente, devido à pouca experiência da equipe neste tipo de ensaio, os torques residuais para esta vertical não foram medidos.

A umidade da amostra em 0,5 m não foi obtida, pois a pessoa responsável por essa atividade estava mobilizada tentando ajudar a resolver o problema do apito que estava tocando no torquímetro. As umidades das amostras em 1,0 m e 2,0 m foram obtidas normalmente em laboratório.

Os comprimentos das amostras, para as três profundidades, foram obtidos com o auxílio de uma trena quando o amostrador foi aberto.

Todas as classificações táctil-visual das amostras para as três profundidades foram determinadas pelo sondador da equipe após a abertura do amostrador.

3.5.2 SPT-T 02

A vertical SPT-T 02 também foi executada sem procedimento de lavagem, pois não foi encontrado nível d'água até a profundidade máxima ensaiada.

A tabela 3.9 apresenta os valores de N_{SPT} , torque máximo, torque residual, umidade, comprimento e classificação táctil-visual das amostras para as profundidades de 1 m e 2 m da vertical SPT- T 02.

Tabela 3.9 – Valores das medidas de N_{SPT} , torque máximo e residual, com suas respectivas umidades, comprimentos e classificação táctil-visual das amostras referentes ao SPT-T 02.

Profundidade (m)	N_{SPT} (Golpes)	Torque máximo (N.m)	Torque residual (N.m)	Umidade (%)	Comprimento da amostra (cm)	Classificação táctil-visual
1,0	5	79	62	29,9	17,5	Areia pouco compacta
2,0	5	35	35	30,3	24,0	Areia pouco compacta

Os valores de N_{SPT} para todas as profundidades foram obtidos normalmente, ou seja, para os dois últimos segmentos de 15 cm da cravação a percussão do amostrador padrão.

Após o acerto do procedimento todos os valores de torque máximo puderam ser obtidos de forma confiável.

Da mesma forma que o torque máximo, todos os valores de torque residual também foram obtidos.

Todas as umidades das amostras foram obtidas em laboratório.

Os comprimentos das amostras foram obtidos com o auxílio de uma trena quando o amostrador foi aberto

Todas as classificações táctil-visual das amostras foram determinadas pelo sondador da equipe após a abertura do amostrador.

3.5.3 SPT-T 03

Embora não se tenha encontrado o nível d'água na vertical SPT-T 03 utilizou-se o procedimento de lavagem para fazer a perfuração até as profundidades ensaiadas, de forma a estudar se a metodologia altera os resultados dos ensaios.

A tabela 3.10 apresenta os valores de N_{SPT} , torque máximo, torque residual, umidade, comprimento e classificação táctil-visual das amostras para as profundidades de 1 m e 2 m da vertical SPT- T 03.

Tabela 3.10 – Valores das medidas de N_{SPT} , torque máximo e residual, com suas respectivas umidades, comprimentos e classificação táctil-visual das amostras referentes ao SPT-T 03.

Profundidade (m)	N _{SPT} (Golpes)	Torque máximo (N.m)	Torque residual (N.m)	Umidade (%)	Comprimento da amostra (cm)	Classificação táctil-visual
1,0	7	80	62	30,2	26,0	Areia pouco compacta
2,0	5	63	61	28,0	46,0	Areia pouco compacta

Os valores de N_{SPT} para todas as profundidades foram obtidos normalmente, ou seja, para os dois últimos segmentos de 15 cm da cravação a percussão do amostrador padrão.

Todos os torques, máximo e residual, foram determinados.

Todas as umidades das amostras foram obtidas em laboratório.

Os comprimentos das amostras foram obtidos com o auxílio de uma trena quando o amostrador foi aberto

Todas as classificações táctil-visual das amostras foram determinadas pelo sondador da equipe após a abertura do amostrador.

3.5.4 SPT-T 04

A vertical SPT-T 04 foi executada sem procedimento de lavagem, pois não foi encontrado nível d'água até a profundidade máxima ensaiada.

A tabela 3.11 apresenta os valores de N_{SPT}, torque máximo, torque residual, umidade, comprimento e classificação táctil-visual das amostras para as profundidades de 1 m e 2 m da vertical SPT- T 04.

Tabela 3.11 – Valores das medidas de N_{SPT}, torque máximo e residual, com suas respectivas umidades, comprimentos e classificação táctil-visual das amostras referentes ao SPT-T 04.

Profundidade (m)	N _{SPT} (Golpes)	Torque máximo (N.m)	Torque residual (N.m)	Umidade (%)	Comprimento da amostra (cm)	Classificação táctil-visual
1,0	5	82	66	29,6	36,0	Argila arenosa média
2,0	3	34	32	32,5	23,0	Areia siltosa fofa

Os valores de N_{SPT} para todas as profundidades foram obtidos normalmente, ou seja, para os dois últimos segmentos de 15 cm da cravação a percussão do amostrador padrão.

Todos os torques, máximo e residual, foram determinados.

Todas as umidades das amostras foram obtidas em laboratório.

Os comprimentos das amostras foram obtidos com o auxílio de uma trena quando o amostrador foi aberto

Todas as classificações táctil-visual das amostras foram determinadas pelo sondador da equipe após a abertura do amostrador.

3.5.5 SPT-T 05

Embora não se tenha encontrado o nível d'água na vertical SPT-T 05 utilizou-se o procedimento de lavagem para fazer a perfuração até as profundidades ensaiadas, de forma a estudar se a metodologia altera os resultados dos ensaios.

A tabela 3.12 apresenta os valores de N_{SPT} , torque máximo, torque residual, umidade, comprimento e classificação táctil-visual das amostras para as profundidades de 1 m e 2 m da vertical SPT- T 05.

Tabela 3.12 – Valores das medidas de N_{SPT} , torque máximo e residual, com suas respectivas umidades, comprimentos e classificação táctil-visual das amostras referentes ao SPT-T 05.

Profundidade (m)	N_{SPT} (Golpes)	Torque máximo (N.m)	Torque residual (N.m)	Umidade (%)	Comprimento da amostra (cm)	Classificação táctil-visual
1,0	4	55	48	34,8	34,0	Argila arenosa média
2,0	4	42	38	27,4	36,0	Areia siltosa fofa

Os valores de N_{SPT} para todas as profundidades foram obtidos normalmente, ou seja, para os dois últimos segmentos de 15 cm da cravação a percussão do amostrador padrão.

Todos os torques, máximo e residual, foram determinados.

Todas as umidades das amostras foram obtidas em laboratório.

Os comprimentos das amostras foram obtidos com o auxílio de uma trena quando o amostrador foi aberto

Todas as classificações táctil-visual das amostras foram determinadas pelo sondador da equipe após a abertura do amostrador.

4. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

4.1. Generalidades

São apresentadas as análises dos resultados das verticais SPT-T-01, SPT-T-02, SPT-T-03, SPT-T-04 e SPT-T-05. Infelizmente, devido aos problemas já mencionados as análises da primeira vertical ficaram de certa forma comprometidas.

Primeiramente são apresentadas as análises de cada uma das cinco verticais realizadas. Logo após são realizadas comparações entre os ensaios de N_{SPT} e torques para as verticais SPT-T-02, SPT-T-03, SPT-T-04 e SPT-T-05. A vertical SPT-T-01 não foi inserida nestas últimas análises devido aos problemas já expostos anteriormente.

As comparações realizadas são: N_{SPT} versus torque máximo; N_{SPT} versus torque residual; torque máximo versus torque residual.

Para as comparações foi utilizado o banco de dados de Peixoto (2001).

4.2. SPT-T-01

A vertical SPT-T-01 foi executada sem procedimento de lavagem, apenas com uso de trados para a escavação.

A figura 4.1 apresenta os dados obtidos na vertical SPT-T-01 em relação a profundidade.

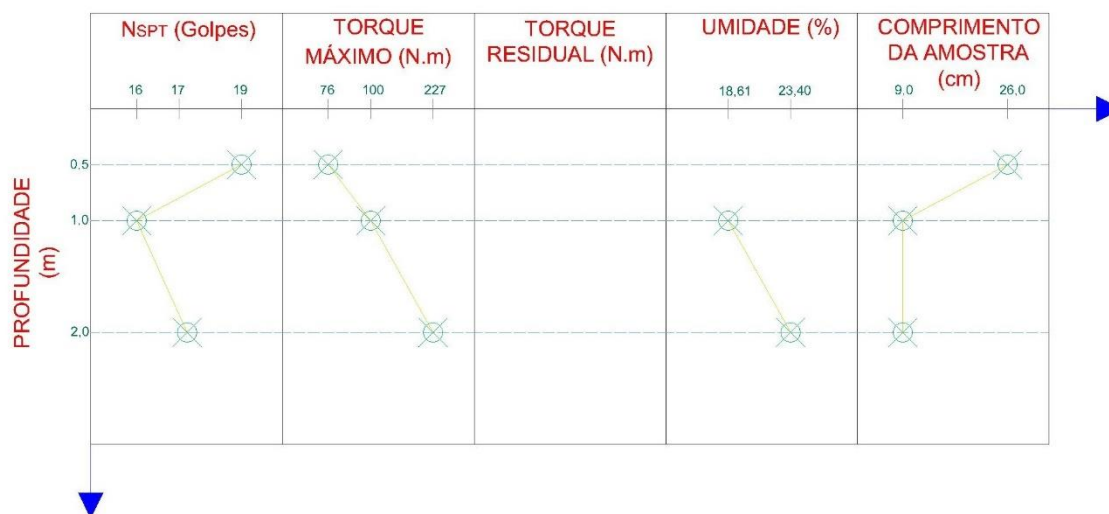


Figura 4.1 – Dados obtidos na vertical SPT-T-01 em relação a profundidade.

O valor do N_{SPT} para 0,5 m de profundidade foi de 19 golpes. Para 1,0 m de profundidade o N_{SPT} foi de 16 golpes e para 2,0 m de profundidade o N_{SPT} foi de 17 golpes. Destaca-se o maior valor de N_{SPT} para a profundidade mais superficial (0,5 m). Este fato pode ser explicado devido a alguns motivos, dentre eles pode-se destacar: i) alguma sobrecarga que afetou diretamente essa profundidade, gerando sobre-adensamento ii) existência de algum valor de sucção devido a uma maior variação da umidade próximo a superfície, gerando um efeito de sobre-adensamento.

O torque máximo, embora de valor não confiável, se mostrou crescente com a profundidade, sendo de 76 N.m para o ensaio realizado a 0,5 m de profundidade, 100 N.m para o ensaio realizado a 1,0 m de profundidade e 227 N.m para o ensaio realizado a 2,0 m de profundidade.

O torque residual não foi obtido.

Não foi obtida a umidade da amostra a 0,5 m de profundidade. Entre os outros valores obtidos, a umidade se mostrou crescente com a profundidade, sendo de 18,6% para a amostra de 1,0 m e 23,4% para a amostra de 2,0 m.

Os comprimentos das amostras seguiram tendência semelhante aos valores de N_{SPT} , ou seja, maior na profundidade de 0,5 m (26 cm) e para 1,0 m e 2,0 m menores, porém iguais entre si, 9 cm.

4.3. SPT-T-02

A vertical SPT-T-02 também foi executada sem procedimento de lavagem, apenas com uso de trados para a escavação.

A figura 4.2 apresenta os dados obtidos na vertical SPT-T-02 em relação a profundidade.

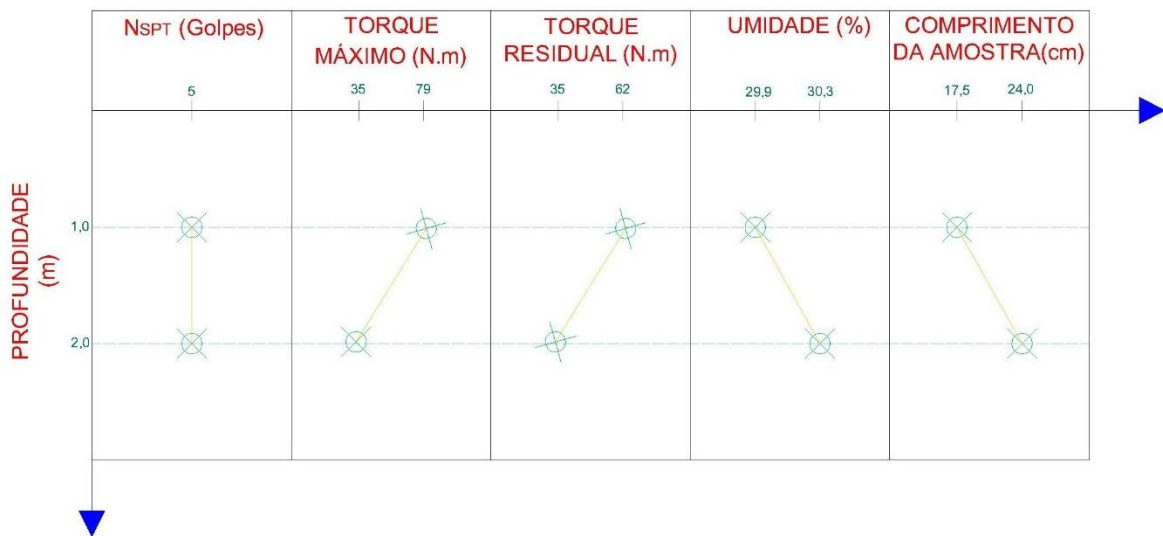


Figura 4.2 – Dados obtidos na vertical SPT-T-02 em relação a profundidade.

Os valores de N_{SPT} foram exatamente os mesmos para as duas profundidades ensaiadas: 5 golpes para 1,0 m e 2,0 m de profundidade.

Os valores de torque máximo decresceram com a profundidade, sendo 79 N.m para 1,0 m de profundidade e de 35 N.m para 2,0 m de profundidade.

Os torques residuais também tiveram tendência de queda com a profundidade, sendo 62 N.m para 1,0 m de profundidade e de 35 N.m para 2,0 m de profundidade.

Ainda sobre os valores dos torques, observa-se uma queda entre o torque máximo e o torque residual para a profundidade de 1,0 m (79 N.m para 62 N.m), enquanto para a profundidade de 2,0 m os valores de torque máximo e residual foram os mesmos (35 N.m).

Os valores de umidades foram ligeiramente crescentes com a profundidade, sendo de 29,9% para a amostra de 1,0 m e 30,3% para a amostra de 2,0 m.

Os comprimentos das amostras seguiram a mesma tendência dos valores de umidade, ou seja, crescentes com a profundidade, sendo de 17,5 cm para 1,0 m de profundidade e de 24,0 cm para 2,0 m de profundidade.

4.4. SPT-T-03

Para a vertical SPT-T-03 utilizou-se o procedimento de lavagem para fazer a perfuração até as profundidades ensaiadas.

A figura 4.3 apresenta os dados obtidos na vertical SPT-T-03 em relação a profundidade.



Figura 4.3 – Dados obtidos na vertical SPT-T-03 em relação a profundidade.

Os valores de N_{SPT} apresentaram uma ligeira tendência de queda com a profundidade, sendo de 7 golpes para 1,0 m de profundidade e de 6 golpes para 2,0 m de profundidade.

Os valores de torque máximo decresceram com a profundidade, sendo 80 N.m para 1,0 m de profundidade e de 63 N.m para 2,0 m de profundidade.

Os torques residuais também tiveram tendência de queda com a profundidade, sendo 62 N.m para 1,0 m de profundidade e de 61 N.m para 2,0 m de profundidade. É interessante observar que os valores de torques residuais para ambas as profundidades foram bem parecidos.

Sobre os valores dos torques, observa-se uma queda maior entre o torque máximo e o torque residual para a profundidade de 1,0 m (80 N.m para 62 N.m), enquanto para a profundidade de 2,0 m a queda foi menor (63 N.m para 61 N.m). Vale destacar que, para a profundidade de 2,0 m, o valor de torque máximo e o torque residual são parecidos.

Os valores de umidade tiveram uma pequena redução com o aumento da profundidade, sendo de 30,2% para a amostra de 1,0 m e 28,0% para a amostra de 2,0 m.

Já os comprimentos das amostras foram tão maiores quanto maior foi a profundidade de retirada das mesmas, sendo de 26 cm para 1,0 m de profundidade e de 46 cm para 2,0 m de profundidade.

4.5. SPT-T-04

A vertical SPT-T-04 também foi executada sem procedimento de lavagem, apenas com uso de trados para a escavação.

A figura 4.4 apresenta os dados obtidos na vertical SPT-T-04 em relação a profundidade.

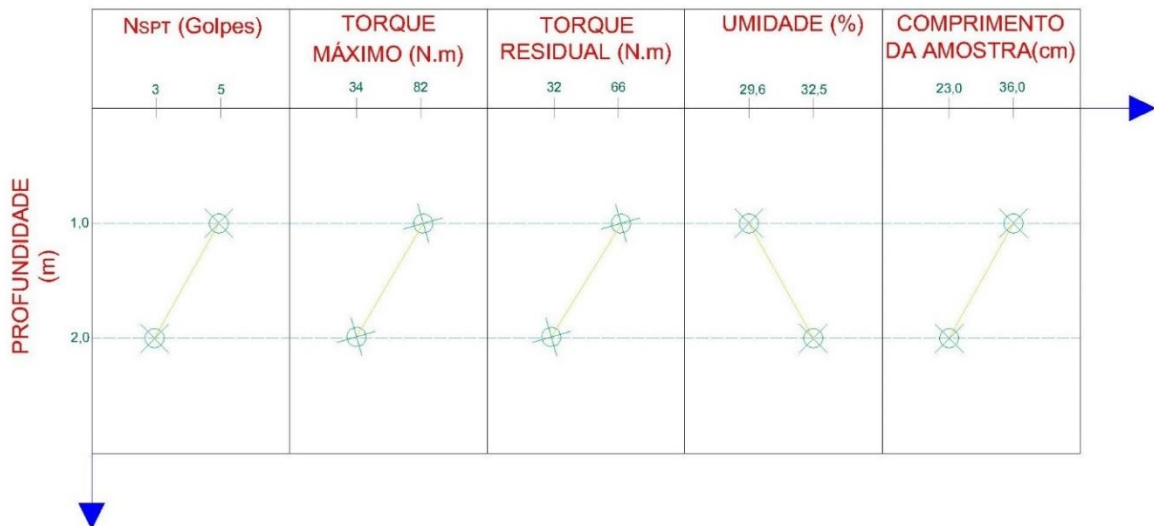


Figura 4.4 – Dados obtidos na vertical SPT-T-04 em relação a profundidade.

Os valores de N_{SPT} apresentaram uma tendência de queda com a profundidade, sendo de 5 golpes para 1,0 m de profundidade e de 3 golpes para 2,0 m de profundidade.

Os valores de torque máximo decresceram bastante com a profundidade, sendo 82 N.m para 1,0 m de profundidade e de 34 N.m para 2,0 m de profundidade.

Os torques residuais também tiveram tendência de grande queda com a profundidade, sendo 66 N.m para 1,0 m de profundidade e de 32 N.m para 2,0 m de profundidade.

Sobre os valores dos torques, também se observa uma queda maior entre o torque máximo e o torque residual para a profundidade de 1,0 m (82 N.m para 66 N.m), enquanto para a

profundidade de 2,0 m a queda foi bem menor (34 N.m para 32 N.m). Vale destacar que, para a profundidade de 2,0 m, o valor de torque máximo e o torque residual também são parecidos.

Os valores de umidades foram crescentes com a profundidade, sendo de 29,6% para a amostra de 1,0 m e 32,5% para a amostra de 2,0 m.

Já os comprimentos das amostras foram menores quanto maior foi a profundidade de retirada das mesmas, sendo de 36 cm para 1,0 m de profundidade e de 23 cm para 2,0 m de profundidade.

4.6. SPT-T 05

Para a vertical SPT-T-05 também foi utilizado o procedimento de lavagem para fazer a perfuração até as profundidades ensaiadas.

A figura 4.5 apresenta os dados obtidos na vertical SPT-T-05 em relação a profundidade.

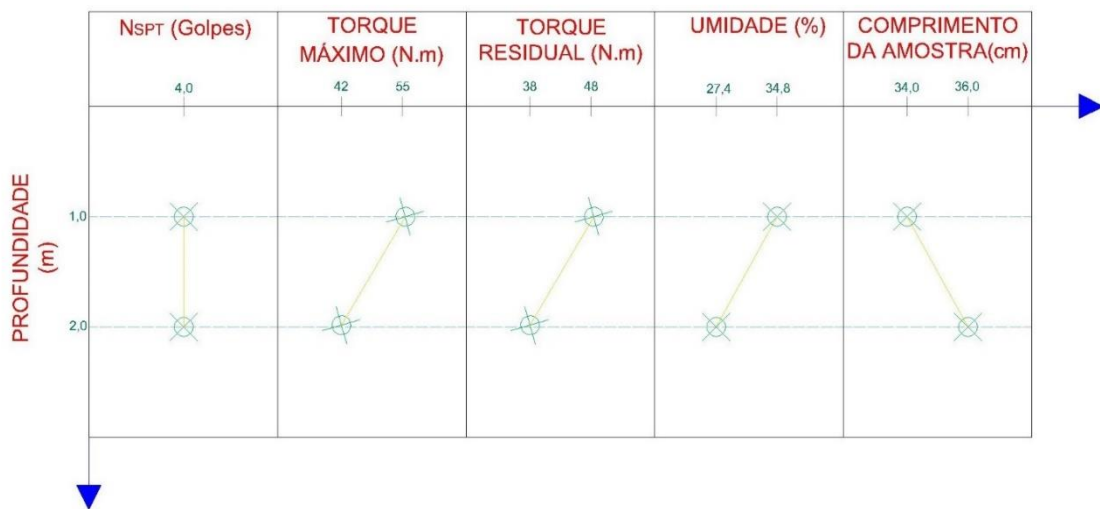


Figura 4.5 – Dados obtidos na vertical SPT-T-05 em relação a profundidade.

Os valores de N_{SPT} foram exatamente os mesmos para as duas profundidades ensaiadas: 4 golpes para 1,0 m e 2,0 m de profundidade.

Os valores de torque máximo decresceram com a profundidade, sendo 55 N.m para 1,0 m de profundidade e de 42 N.m para 2,0 m de profundidade.

Os torques residuais também tiveram tendência de queda com a profundidade, sendo 48 N.m para 1,0 m de profundidade e de 38 N.m para 2,0 m de profundidade.

Sobre os valores dos torques, observa-se uma queda ligeiramente maior entre o torque máximo e o torque residual para a profundidade de 1,0 m (55 N.m para 48 N.m), enquanto para a profundidade de 2,0 m a queda foi ligeiramente menor (42 N.m para 38 N.m). Neste caso, vale destacar que, considerando as mesmas profundidades, a variação entre os torques máximos e os torques mínimos não foi tão grande quanto observado nas outras verticais.

Os valores de umidade tiveram uma redução com o aumento da profundidade, sendo de 34,8% para a amostra de 1,0 m e 27,4% para a amostra de 2,0 m.

Já os comprimentos das amostras foram ligeiramente maiores quanto maior foi a profundidade de retirada das mesmas, sendo de 34 cm para 1,0 m de profundidade e de 36 cm para 2,0 m de profundidade.

4.7. Comparações

As comparações de torque máximo, residual e N_{SPT} realizadas utilizaram como base os dados de Peixoto (2001), uma vez que, esta é a principal referência no tema estudado e a ideia motivadora para este trabalho.

Além disso, Peixoto (2001) já realizou mais de centenas de ensaios de sondagem com medidas de N_{SPT} e torque, sendo sua base de dados bastante grande e confiável para comparação de resultados com o trabalho desenvolvido na Universidade Federal do Rio de Janeiro - Campus Macaé.

Cabe ressaltar que os solos abrangidos pelas pesquisas de Peixoto (2001) possuem formações geológicas diferentes da formação tipo barreira do solo residual de Macaé.

4.7.1. Torque vs N_{SPT}

A Figura 4.6 apresenta o gráfico de torque máximo versus N_{SPT} para as quatro verticais dessa pesquisa. Além disso, também é mostrado no gráfico a linha de tendência dos dados experimentais de Peixoto (2001).

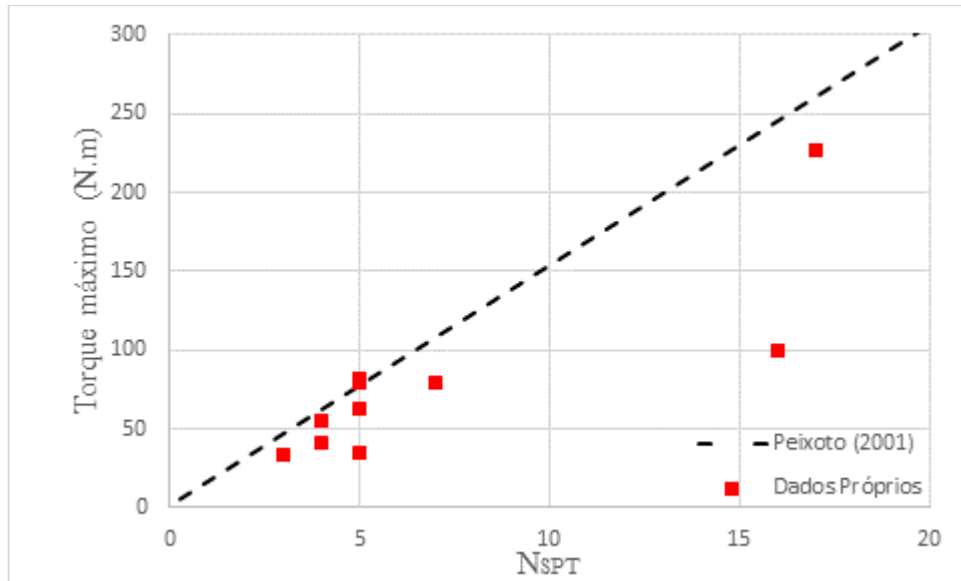


Figura 4.6 – Gráfico de comparação entre os valores de torque máximo e as medidas de N_{SPT} .

Nota-se que os dados experimentais do solo estudado seguem a mesma tendência de Peixoto (2001). Os dados apresentam a mesma tendência em aumentar o torque máximo a medida que aumenta o N_{SPT} . De certa forma, todos os pontos da presente pesquisa se encontram deslocados ligeiramente abaixo da tendência de Peixoto (2001).

A Figura 4.7 apresenta o gráfico de torque residual versus N_{SPT} para as quatro verticais dessa pesquisa. Além disso, também é mostrado no gráfico a linha de tendência dos dados experimentais de Peixoto (2001).

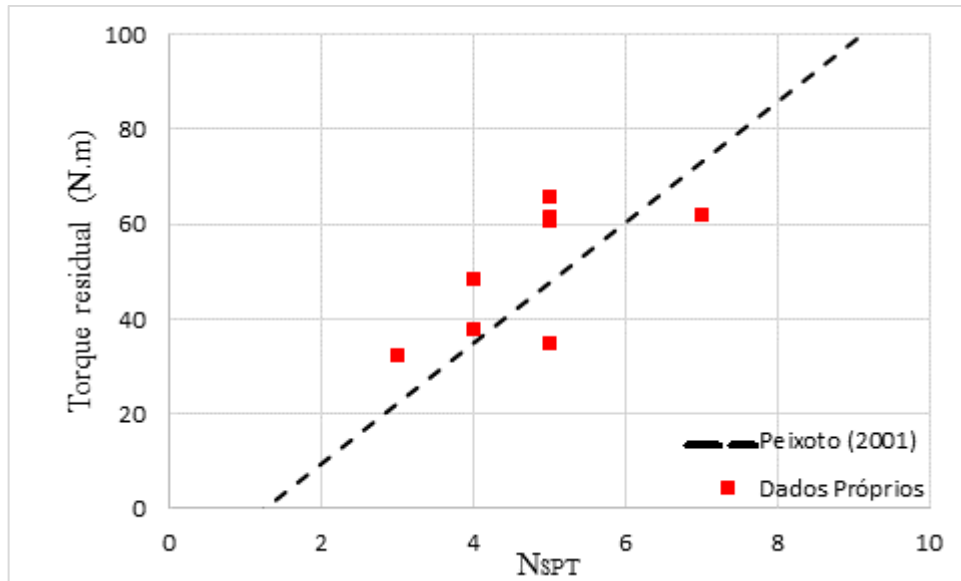


Figura 4.7 – Gráfico de comparação entre os valores de torque residual e as medidas de N_{SPT} .

O ajuste encontrado entre os dados desta pesquisa e os dados de Peixoto (2001) são muito bons. Todos os dados mostram a clara tendência de aumento do torque residual a medida que o N_{SPT} aumenta.

A variação do torque residual é menor que a variação do torque máximo.

4.7.2. Torque máximo vs torque residual

A Figura 4.8 apresenta o gráfico de torque máximo versus torque residual para as quatro verticais dessa pesquisa. Além disso, também é mostrado no gráfico a linha de tendência dos dados experimentais de Peixoto (2001) e uma suave linha de tendência dos resultados desta pesquisa.

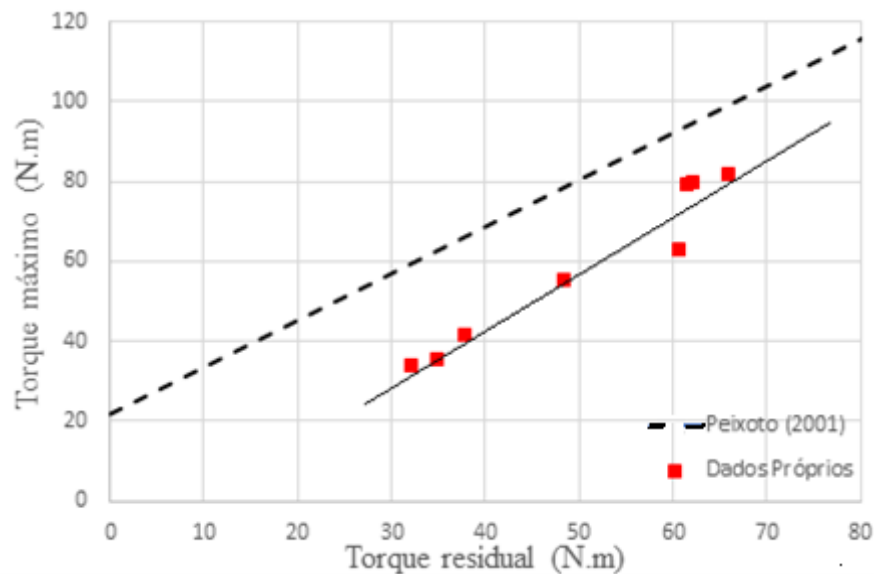


Figura 4.8 – Gráfico de comparação entre os valores de torque máximo e as medidas de torque residual.

Os pontos obtidos na presente pesquisa se apresentam agrupados abaixo da linha de tendência de Peixoto (2001).

Ao traçar uma linha de tendência para os pontos da presente pesquisa é possível observar que existe uma indicação quase paralela a tendência de Peixoto (2001). Aparentemente o solo da presente pesquisa possui respostas de torques máximo inferiores aos valores encontrados por Peixoto (2001).

5. CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA FUTURAS PESQUISAS

5.1. Conclusões

Foram realizadas cinco verticais de sondagem a percussão com medidas de N_{SPT} e torques máximos e residuais. O solo ensaiado faz parte do campo experimental de solo de formação barreiras do solo residual do campus universitário de Macaé, Rio de Janeiro. Durante os procedimentos desta pesquisa buscou-se testar procedimentos de execução para aplicação de torques durante a realização de sondagens a percussão com medida de N_{SPT} . Naturalmente também foi realizada a análise destes dados frente a referências tradicionais da literatura, e.g.: Peixoto (2001).

Os ensaios foram divididos em ensaios em que a perfuração foi realizada com lavagem e ensaios em que a perfuração foi realizada sem lavagem, apenas com trados.

A pesquisa foi baseada em quatro perfis de sondagens reais do terreno entre os blocos e os laboratórios da UFRJ, localizado na Cidade Universitária de Macaé – RJ.

Nesse contexto, durante esse processo foi possível obter os valores de torque para as profundidades de 1 e 2 m de modo a se realizar mais ensaios devido à restrição de temporal e orçamentária na elaboração desse trabalho.

Ao serem comparados os dados próprios entre si e com os dados das referências foram verificadas algumas conclusões importantes:

- Exibidos as medidas de todas as verticais, vale observar que para as verticais que vão do SPT-T-02 ao SPT-T-05, tanto o torque máximo como o torque residual reduzem com o aumento da profundidade. Isso nos leva a acreditar que este trabalho está de acordo com as pesquisas de Peixoto (2001).
- Devido à baixa profundidade das verticais, não é possível tirar uma conclusão consistente com relação aos valores de N_{SPT} . Tendo nos ensaios do SPT-T-02 e SPT-T-05 permanecido o mesmo com o aumento da profundidade, e diminuído no caso dos ensaios SPT-T-03 e SPT-T-04.
- Nas verticais de SPT-T-02 a SPT-T-05, os valores de torque máximo tendem a crescer com o aumento do torque residual porém, apesar da taxa de crescimento ser próxima de Peixoto (2001), a linha de tendência desta última é deslocada mais para cima, isto é, nos ensaios próprios foram medidos torques máximos menores que os obtidos em Peixoto (2001) relativamente aos torques residuais correspondentes.
- Outra observação que pode ser feita é que quando comparados os ensaios com lavagem (SPT-T-03 e SPT-T-05) e os sem lavagem (SPT-T-02 e SPT-T-04), os torques máximo e residual decrescem, com o aumento da profundidade, com uma velocidade maior nos ensaios sem lavagem que nos ensaios com lavagem.
- A umidade tem comportamento diferente à depender do uso da água no ensaio. Nos ensaios com lavagem, a umidade tendeu a crescer do primeiro para o segundo metro da vertical.
- A diferença entre o torque máximo e residual para as verticais SPT-T-02, SPT-T-03, SPT-T-04 e SPT-T-05 diminui com o aumento da profundidade, sendo esta diferença no SPT-T-02 de 17 N.m no primeiro metro e de 0 N.m no segundo; no SPT-T-03 de 18 N.m no primeiro metro e 2 N.m no segundo metro; no SPT-

T-04 de 16 N.m no primeiro metro e 2 N.m no segundo metro; e no SPT-T-05 de 7 N.m no primeiro metro e 4 N.m no segundo metro.

- Tanto o torque máximo como o torque residual para as verticais de SPT-T-02 a SPT-T-05 crescem com o aumento da medida de N_{SPT} , apresentando um crescimento aparentemente linear. Além disso, os valores de torque residual estão bem dispersos em torno da linha de tendência de Peixoto (2001).
- Com relação ao comprimento da amostra dos ensaios não foi possível identificar padrão algum. No SPT-T-01 o comprimento da amostra decresce de 26 cm na profundidade de 0,5 m para 9 cm na profundidade de 1 m e se mantém a mesma na profundidade de 2 m. Nas verticais SPT-T-02, SPT-T-03 e SPT-T-05 os comprimentos das amostras crescem com o aumento da profundidade, já na vertical SPT-T-04 o comprimento da amostra decresce de 36 cm na profundidade de 1 m para 23 cm na profundidade de 2 m.

5.2. Sugestões para futuras pesquisas

- Fazer mais verticais com medidas de N_{SPT} , além de torques máximo e residuais no solo de formação barreiras do campo experimental de solo residual da UFRJ/Macaé;
- Realizar ensaios para maiores profundidades.
- Sugere-se adaptar o torquímetro na cabeça de bater. Não se deve retirar a cabeça de bater da composição de hastes para depois encaixar o torquímetro, pois assim ocorre amolgação o solo ao redor do amostrador;
- Sugere-se utilizar centralizador de hastes durante a aplicação do torque (ver foto em que a equipe usou peça da lavagem);
- Fazer perfil umidade em relação a profundidade;
- Caracterizar solo em laboratório;
- Fazer perfil das amostras do solo em proveta de pesquisa;
- Variar a taxa de aplicação dos torques (velocidade de aplicação dos torques).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT NBR 6122/2019-“Projeto e execução de fundações”

ABNT NBR 6484/2001-“Solo - Sondagens de simples reconhecimento com SPT - Método de ensaio”

ABNT NBR 6502/1995-“Rochas e solos”.

ABNT NBR 8036/1983-“Programação de sondagens de simples reconhecimento do solos para fundações de edifícios – Procedimento”.

ABNT NBR 9604/2016 – “Abertura de poço e trincheira de inspeção em solo, com retirada de amostras deformadas e indeformadas — Procedimento”.

BELINCANTA, A.; Peixoto, A.S.P. e Miguel, M.G. (2010) Sondagem de Simples Reconhecimento com SPT e Torque, 1 ed., Editora da Universidade Estadual de Maringá (Coleção Fundamentum), Maringá, PR, Brasil, 64p.

CARVALHO, M.I.B.; MATOS, A.C.C. (2001) Mecânica Lagrangeana: Introdução à mecânica clássica. Licenciatura em Engenharia electrotécnica e de Computadores- Faculdade de Engenharia de Universidade de Porto.

DECOURT,L. e QUARESMA FILHO, A.R. (1991) The SPT-CF, an Improved SPT. In: Seminário de engenharia de fundações especiais, II. Anais... São Paulo. Vol 2, p. 106-110.

DECOURT,L. (1992) SPT in non classical materials. In: U.S. – Brazil geotechnical workshop on “applicability of classical soil mechanics principles of structured soils”. Proceedings... Belo Horizonte.p.64- 100.

GOOGLE.COM. (2020) Localização do Campus UFRJ – Macaé. Acesso em 2 de março de 2020. <<https://www.google.com.br/maps/place/UFRJ+++Campus+Maca%C3%A9/@-22.3904669,-41.8086149,734m/data=!3m1!1e3!4m5!3m4!1s0x963118b3691353:0x689ca8e77e691afe!8m2!3d-22.390396!4d-41.805504>>

KELLEY, S. P.; LUTENEGGER, A. J. (2004) Unit skin friction from the standard penetration test supplemented with the measurement of torque. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, v. 130, n. 5, p. 540-543.

KULHAWY, F. H. (2000) Estimation of Soil Properties for Foundation Design. In: Geotechnical Institute Conference. Short Course Lecture Notes. Denver, CO, USA. 72 pag. LYNSTECNOLOGIA ELETRÔNICA AqDados - Manual do Usuário. São Paulo. Código do Documento S090.U.01.A.1996.

LUTENEGGER, A.J.; KELLEY,S.P. (1998) Standard Penetration Tests With Torque Measurement. In: GEOTECHNICAL SITE CHARACTERIZATION. Proceedings... Balkema. Atlanta,USA. Pag 939 a 945.

MENDONÇA, D. M. (2020). Provas de carga em solo tropical reforçado com geogrelha em Macaé/RJ. Trabalho de Conclusão de Curso - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Macaé, RJ, 2020.

NUÑEZ, R.R.; PIOVAN, T.T.C.; PEIXOTO, A.S.P. (2015). Influência da Velocidade de Rotação no Ensaio SPT-T em Diferentes Tipos de Solos. 10.20906/CPS/CB-01-0032.

PEIXOTO, A.S.P. (2001) Estudo do ensaio SPT-T e sua aplicação na prática de engenharia de fundações. Tese de Doutorado- Universidade Estadual de Campinas /Faculdade de Engenharia Agrícola (UNICAMP/FEAGRI). Campinas- SP. 468 p.

RANZINI, S.M.T. (1988) SPTF. Solos e Rochas.Vol. 11, p. 29-30.

RANZINI, S.M.T. (1994) SPTF : 2ª parte. Solos e Rochas. Vol. 17, p. 189-190.

SCHNAID, F. (2000) Ensaio de Campo e suas aplicações à Engenharia de Fundações. São Paulo: Oficina de Textos. 208 p.

SOARES, J. M. (1999)Emprego do SPT-T e Pressiômetro Ménard em um Depósito Arenoso da Região Litorânea de João Pessoa. Dissertação (Mestrado). Universidade federal da Paraíba. Departamento de Engenharia Civil. Campina Grande. 98p.

TEIXEIRA, A.H. (1993) Um Aperfeiçoamento das Sondagens de Simples Reconhecimento à Percussão. In: Cintra, J.C.A. e Albiero, J.H. (eds.). Solos do Interior de São Paulo. ABMS, São Carlos. p.77-93.

POÇOS E TRINCHEIRAS DE INSPEÇÃO. TORRESGEOTECNIA.COM, 2020. Disponível em : <<http://www.torresgeotecnia.com.br/portfolio-view/pocos-e-trincheiras-de-inspecao-3/>>.

SILVA, L.M.P. (2019) Análise da Interação Solo-Estrutura de um Radier. Trabalho de Conclusão de Curso - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Macaé, RJ, 2019.

SONDAGEM A TRADO. 7AS.COM.BR, 2020. Disponível em : <<https://7as.com.br/sondagem-a-trado/>>.

SONDAGEM A TRADO MANUAL. JSSONDAGENS.COM.BR, 2020. Disponível em : <<http://www.jssondagens.com.br/sondagem-trado-manual>>.

SONDAGEM SPT: PROCESSO EXECUTIVO E DICAS IMPORTANTES. ENGENHARIACONCRETA.COM, 2020. Disponível em : <<https://engenhariaconcreta.com/sondagem-spt/>>.