



**FUNDAÇÃO PRESIDENTE ANTÔNIO CARLOS - FUPAC
FACULDADE PRESIDENTE ANTÔNIO CARLOS DE UBÁ
ENGENHARIA CIVIL**

LEANDRO SANTANA FERREIRA

**A UTILIZAÇÃO DA INVESTIGAÇÃO GEOTÉCNICA UTILIZANDO O TIPO DE
SONDAGEM SPT**

UBÁ/MG

2014

LEANDRO SANTANA FERREIRA

**A UTILIZAÇÃO DA INVESTIGAÇÃO GEOTÉCNICA UTILIZANDO O TIPO DE
SONDAGEM SPT**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de bacharel em Engenharia Civil, da faculdade Presidente Antônio Carlos de Ubá, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientadora: Msc. Iracema Mauro Batista.

UBÁ/MG

2014

A UTILIZAÇÃO DA INVESTIGAÇÃO GEOTÉCNICA UTILIZANDO O TIPO DE SONDAGEM SPT

Resumo

O objetivo deste trabalho é mostrar a investigação geotécnica utilizando um ensaio de SPT e o seu detalhamento, com o intuito de realizar um dimensionamento correto de uma fundação. Para o dimensionamento de uma fundação é necessário um estudo geotécnico no subsolo, foi utilizado neste trabalho o ensaio SPT para obter características do subsolo como: estratigrafia do solo, a resistência à penetração do solo e o nível de água do subsolo. Após, volta-se à etapa do amostrador, até a profundidade desejada ou até atingir o impenetrável ao amostrador. A realização de uma boa investigação do solo pode facilitar um bom dimensionamento da fundação, prevenindo que alguns graves erros ocorram em obras. Através da análise feita do ensaio, verificou-se a real importância da realização do processo de sondagem.

Palavras-chave: Investigação Geotécnica. Sondagem. SPT. Fundação.

THE USE OF GEOTECHNICAL RESEARCH SURVEY USING SPT

Abstract

The aim of this paper is to show a geotechnical investigation using a SPT test in order to conduct a proper design of a foundation. For the design of a foundation in the ground, it is necessary a geotechnical study using the SPT assay to study the characteristics of the subsoil as the stratigraphy soil penetration resistance and the ground water level. After, the sampler stage again until the desired depth or even impervious to achieve the sampler. The realization of a good soil investigation can facilitate a good dimensioning of the foundation and also prevent that some serious errors occur. Through the analysis of the trial, it appeared the real importance of completing the probing process.

Keywords: Geotechnical Investigation. Survey. SPT. Foundation.

1 INTRODUÇÃO

Os primeiros equipamentos de sondagem chegaram ao Brasil por volta de 1938, por intermédio do Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT/USP), e por meio de normatizações americanas, que após estudo adotaram como padrão o ensaio de sondagem. Em 1948, Terzaghi e Peck publicaram o ensaio SPT (*standard penetration test*) em seu livro “Soil Mechanics in Engineering”, altamente conhecido na área geotécnica. Este ensaio utilizou um novo amostrador de solos e uma nova unidade de cravação, conhecido como N_{spt} , que apresenta relação com a tensão do solo e chegou ao Brasil em 1957, substituindo o equipamento de sondagem, indicando a nova era do SPT. A partir de então novas normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), foram criadas.

Em fevereiro de 2001, a ABNT publicou uma nova versão da NBR-6484 (Solo - Sondagens de simples reconhecimento com SPT - Método de ensaio) atualmente utilizada e que substitui a NBR 7250:1982 (Identificação e descrição de amostras de solos obtidas em sondagens de simples reconhecimento dos solos).

Atualmente, é comum ouvir-se durante a realização de uma obra que o terreno é bom, a construção é leve e que não há necessidade de uma sondagem e com isso, alguns profissionais da área, com o intuito de agradar ao cliente, acabam causando fortes prejuízos durante a realização das obras, contrariando as normas da ABNT. O erro de não optar pela sondagem, pode acarretar em vários problemas durante a execução do projeto, além de grandes custos para a obra, pois não se sabe a fundo em que tipo de solo a obra está locada, pois apenas por meio da sondagem, tem-se como resultado: nível da água no terreno, estratigrafia do solo, tipos de camadas encontradas, a resistência à penetração. A partir desses dados, inicia-se o dimensionamento da fundação que é responsável pela sustentação de toda edificação. Ela suporta carregamentos de alvenarias, lajes, vigas, pilares, e descarregamentos no solo.

Considerando a pior resistência do solo, sem um estudo a pior, pode-se provocar um superdimensionamento e elevação para a fundação, acarretando em um possível colapso do solo.

Nenhum engenheiro, arquiteto ou construtor deve ignorar a dificuldade de obtenção das características físicas do subsolo de forma precisa e as possibilidades das variações durante e após a construção de uma obra em virtude de fatores internos e externos. Somente com uma investigação geotécnica detalhada, em laboratório e em campo, destas características podem se fornecer subsídios técnicos para assegurar o projeto que não haja o

colapso total ou parcial do solo e seus desdobramentos técnicos, financeiros e legais. Se estas características do solo forem investigadas e determinadas através de ensaios geotécnicos, então a elaboração e a execução de um projeto possibilitará a menor ocorrência de falhas (FILHO, 2007, p.14).

Para um bom dimensionamento da fundação, é necessário o conhecimento das características do solo, existentes no local da obra, como pode ser observado no excerto acima. Desta maneira, observa-se a importância de realizar um ensaio de sondagem, para o conhecimento destas características. A sondagem trata-se de uma investigação no subsolo, conhecendo-se as condições naturais do mesmo, sua estratigrafia, seu nível de água e sua resistência, como pode observa no fragmento da norma NBR 6122 (ABNT, 2010, p. 9):

Para qualquer edificação deve ser feita uma campanha de investigação geotécnica preliminar, constituída no mínimo por sondagem a percussão (com SPT), visando à determinação da estratigrafia e classificação dos solos, a posição do nível d'água e a medida do índice de resistência à penetração N_{spt} , de acordo com a ABNT NBR 6484. Na classificação dos solos deve ser empregada a ABNT NBR 6502.

Assim, nota-se a importância da investigação geotécnica no solo e os dados que este procedimento pode trazer ao profissional responsável pela obra.

1.1 Objetivo

Mostrar a utilização da investigação geotécnica utilizando o ensaio de sondagem do tipo SPT e a sua importância, para um dimensionamento correto de uma fundação.

1.2 Justificativa

A importância deste trabalho se reflete no avanço dos dias atuais, em que a realização do ensaio de sondagem SPT tem se tornado bastante comum nas grandes e pequenas obras, considerando a importância de se realizar uma caracterização detalhada do subsolo para que ocorra o dimensionamento correto da fundação, gerando projeto qualificado, economia, segurança e otimização dos processos. Caso não ocorra a realização desta sondagem, é possível que aconteça um superdimensionamento da fundação, levando o solo a apresentar alto índice de resistência. Devido a isto, podem acontecer rupturas e recalques gerando riscos para a obra.

2. DESENVOLVIMENTO

2.1 Metodologia

A metodologia deste trabalho consta de uma revisão de literatura dos processos de execução de um ensaio de sondagem SPT.

2.2 Revisão de Literatura

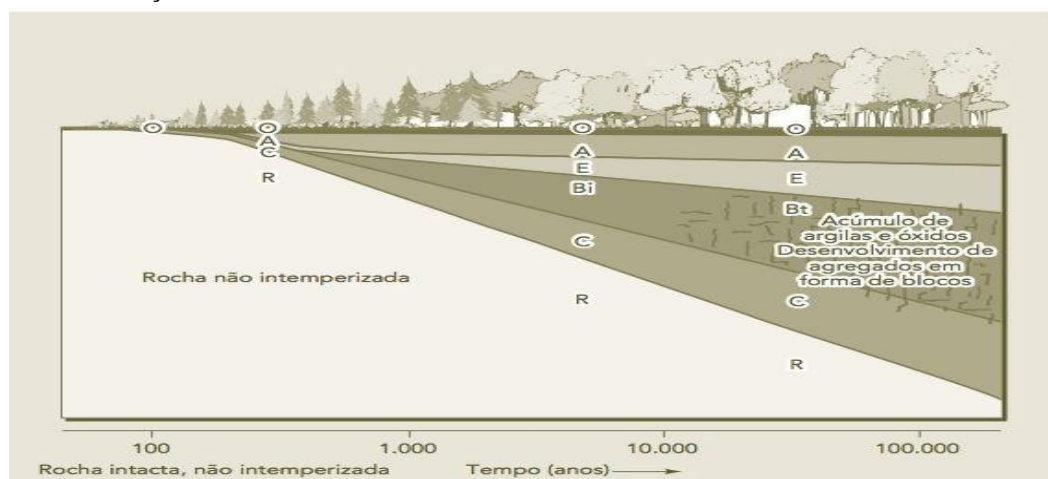
2.2.1 O solo

O solo é formado pela erosão das rochas sobre influência de ações físicas, químicas e biológicas (vento, chuva, aquecimento, resfriamento), originando grãos cada vez menores. Este processo é conhecido por intemperismo, como pode ser observado no excerto abaixo,

O intemperismo é o conjunto de modificações de ordem física (desagregação) e química (decomposição) que as rochas sofrem ao aflorar na superfície da Terra. Os produtos do intemperismo, que são a rocha alterada (também chamada de alterita ou saprolito) e o solo, estão sujeitos aos outros processos do ciclo supérgeo – erosão, transporte e sedimentação – os quais acabam levando à denudação continental, com o consequente aplainamento do relevo. Os fatores que controlam a ação do intemperismo são o clima (variação sazonal de temperatura e distribuição das chuvas), o relevo, (que influi no regime de infiltração e drenagem das águas), a fauna e a flora (fornecem matéria orgânica para reações químicas e remobilizam materiais), a rocha parental (com resistência diferenciada aos processos de alteração intempérica) e, finalmente, o tempo de exposição da rocha aos agentes intempéricos (TEIXEIRA, 2009, p. 140).

A FIGURA 1 Representa, o processo de intemperismo, novas formações e características de solo de acordo com a evolução temporal.

FIGURA 1 - Formação dos solos



Fonte: BRADY (2013, p.56).

2.2.2 Os tipos de solos

Há uma diversidade de solos na natureza e suas ações formadoras originam-se de grãos cada vez menores, em função do diâmetro de suas partículas. Sua classificação é feita através de ensaios simples e laboratoriais, inicialmente denominadas argila, silte, areia, pedra e matacão.

A TABELA 1 abaixo representa a classificação das partículas do solo quanto ao seu diâmetro.

TABELA 1 –Tabela de classificação das partículas do solo.

Fração	Limites definidos pela Norma da ABNT
Matacão	De 25 cm a 1 m
Pedra	De 7,6 cm a 25 cm
Pedregulho	De 4,8 mm a 7,6 cm
Areia grossa	De 2,0 mm a 4,8 mm
Areia media	De 0,42 mm a 2,0 mm
Areia fina	De 0,05 mm a 0,42 mm
Silte	De 0,005 mm a 0,05 mm
Argila	Inferior a 0,005 mm

Fonte: ABNT/NBR 6502/95.

O uso mais frequente do diâmetro entre o silte e a argila é de 0,075mm, o que corresponde à abertura da peneira nº 200, adotada pela norma da ABNT, que é a mais fina existente, como pode ser observado no excerto abaixo, retirado da NBR 6502:

Ensaio de laboratório que visa à classificação granulométrica de solos granulares e que consiste na separação dos grãos de vários tamanhos, com o uso de uma série de peneiras padronizadas. Na prática corrente, este ensaio permite a classificação das partículas de tamanho maior que 0,075 m (NBR 6502, 1995 p. 13).

A análise tato visual permite ao profissional identificar os tipos de solos para evitar problemas de classificação entre argila e silte. A areia e as pedras são um dos tipos mais fáceis de determinar visualmente, pois são melhores perceptíveis a olho nu por possuírem diâmetro maior. No excerto abaixo, Rebello (2008, p.19) comenta sobre a classificação de solos:

Os tipos de solo podem ser classificados, inicialmente, em função do diâmetro das partículas que os compõem, apresentando diferentes denominações. A argila é o tipo de solo que apresenta o menor diâmetro de grão, inferior a 0,002mm, podendo chegar a diâmetros incrivelmente pequenos, da ordem de 10 angstrom (0,000001mm). Acima de 0,002mm até 0,075mm, encontra-se o silte. O silte muitas vezes confundido com a argila; pode-se diferenciar um do outro por meio de um dos testes muito simples: pega-se uma porção de material do solo: se ele for bastante plástico, a ponto de moldar-se com facilidade sem desagregar, pode-se concluir que se trata de uma argila; caso contrário um silte.

A FIGURA 2 abaixo apresenta um exemplo de análise tato visual da argila e a propriedade de coesão.

FIGURA 2 - Análise tato visual da argila.



Fonte: O AUTOR.

2.2.3 Identificação dos solos por meio de ensaios

De acordo com Vargas (1985), as partículas do solo se misturam dificultando a identificação do mesmo e por isso é necessário um ensaio laboratorial para determinação da porcentagem de cada material da amostra. Este ensaio é denominado granulometria e ao ser realizado este deve estar de acordo com a norma NBR 7181 (1984). Sob o ponto de vista da engenharia, Pinto (1966 *apud* HACHICH, 1998, p. 56) comenta a importância da classificação dos solos. “O objetivo da classificação dos solos, sob o ponto de vista de engenharia, é o de poder estimar o provável comportamento do solo, ou, pelo menos, o de orientar o programa de investigação necessário para permitir a adequada análise de um problema”

O solo pode ser dividido em dois grupos: grossos (granulares) e finos (argila e silte). Os granulares são não coesivos, possuindo propriedade particular denominada compacidade. Esta pode se correlacionar com a resistência do solo, obtida através do ensaio SPT, determinando a descrição do mesmo.

A TABELA 2 a seguir, representa a característica dos solos granulares.

TABELA 2 - Tabela de compactidade relativa dos solos granulares.

Compacidade Relativa %	Descrição
0 -15	Muito fofo
15 – 50	Fofo
50 -70	Medianamente compacto
70 – 85	Compacto
85 – 100	Muito Compacto

Fonte: DAS (2007, p.48).

Os solos finos possuem como característica a consistência, que tende a moldá-lo de acordo com seu teor de umidade, apresentando diversos estados, como o líquido, plástico, semissólido e sólido. A eminência da passagem de um estado para outro denomina-se limite de consistência. Pode-se determinar este limite através de alguns ensaios, como o limite de plasticidade (LP), regido pela norma NBR 7180 (ABNT, 1984) e o limite de liquidez (LL), regido pela norma NBR 6459 (ABNT, 1984).

A consistência é importante para determinação do comportamento do solo, que ao sofrer tensões e deformações, definirá o grau de resistência e plasticidade do mesmo, podendo se correlacionar os limites de consistência com o SPT.

A estrutura do solo permite inferir sobre a permeabilidade e resistência à erosão e à compactação. A consistência auxilia na tomada de decisão sobre o preparo do solo ou sobre a realização de outras atividades em distintas condições de umidade (REICHERT, 2009, p.23)

A TABELA 3 a seguir, representa uma tabela sobre o índice de consistência dos solos finos.

TABELA 3 – Tabela de índice de consistência.

Descrição	IC
Muito moles	$IC < 0$ (estado fluido)
Moles	$0 < IC < 0,50$ (estado plástico)
Médias	$0,50 < IC < 0,75$ (estado plástico)
Rijas.	$0,75 < IC < 1,00$ (estado plástico)
Duras.	$IC > 1,00$ (estado solido)

Fonte: CAPUTO (1988, p.58).

O índice de consistência do solo está diretamente relacionado com o número de NSPT, como poderá ser observado a diante.

2.3 SPT - *standard penetration test*

O *standard penetration test* (SPT), conhecido como sondagem à percussão ou sondagem de simples reconhecimento, é um processo de exploração e reconhecimento do subsolo para se obter parâmetros. Define o dimensionamento e o tipo de fundação a ser executada na edificação. Informações inadequadas de sondagem ou inexistentes podem gerar uma obra com custos mais elevados. Esta sondagem pode ser aplicada em obras como edificações, estradas, barragens e túneis.

A ABNT possui quatro normas relativas ao assunto de sondagem: NBR 8036, NBR 7250, NBR 6484 e NBR 6502.

A NBR 8036 - Programações de sondagem para simples reconhecimento- orienta sobre o número de furos, locação dos furos e profundidade a ser sondada. A NBR 7250 - Identificação e descrição de amostras de solo obtida em sondagem de simples reconhecimento- orienta sobre as propriedades dos solos e suas classificações em relação ao número de golpes para a penetração do amostrador. A NRB 6484 - Sondagens de Simples Reconhecimento com SPT- orienta sobre a execução da sondagem e apresentação dos resultados, sobre as dimensões padronizadas do amostrador e do martelo de percussão. NBR 6502 - Solos e Rochas- apresenta várias definições de termos usados na geotécnica.

A sondagem procura conhecer as condições naturais do solo, sua resistência, seu tipo e suas características físicas, além de determinar o nível de quantidade de água existente no subsolo. Pode-se realizar a sondagem apenas para reconhecimento da região ou para conhecimento profundo e mais preciso das condições do solo. No SPT, realiza-se tanto ensaios de laboratórios quanto ensaios de campo.

2.3.1 O ensaio

Ao iniciar o projeto de uma obra, o ideal é que se contrate uma empresa para fazer uma investigação geotécnica no local da obra, independente de seu tamanho. Para que esta investigação ocorra de forma correta, é necessário que se defina uma certa quantidade de furos de acordo com o tamanho do terreno. Esta quantidade é definida por normas da ABNT.

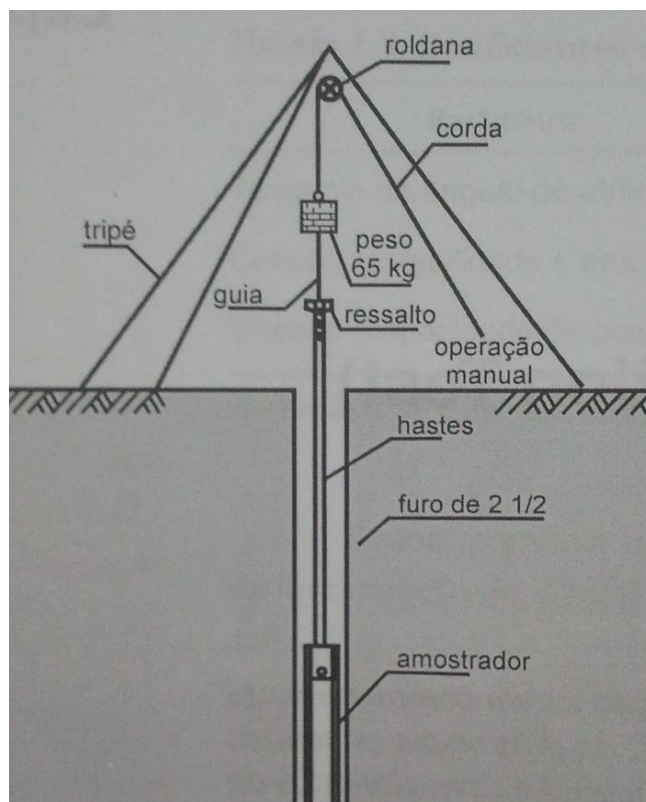
Segundo a NBR 8036(ABNT 1983 p.1) As sondagens devem ser, no mínimo, de uma para cada 200 m² de área da projeção em planta do edifício, até 1200 m² de

área. Entre 1200 m² e 2400 m² deve-se fazer uma sondagem para cada 400 m² que excederem de 1200 m². Acima de 2400 m² o número de sondagens deve ser fixado de acordo com o plano particular da construção. Em quaisquer circunstâncias o número mínimo de sondagens deve ser.

O serviço de sondagem é precedido pela locação topográfica dos furos, após a determinada quantidade dos mesmos determinados. O topógrafo se desloca até o campo para realizar a marcação com base na norma NBR 8036, a etapa desta locação pode ser uma referência de nível indeslocável, locação planimétrica, locação altimétrica, cota da boca do furo e a demarcação do furo com um piquê de madeira ou estaca. A locação dos furos deve ter uma distância de 100 m de cada furo em diagonal ou paralelo.

A norma NBR 6484 apresenta a aparelhagem completa para o serviço de sondagem que são torre com roldana, tubos de revestimento, composição de perfuração, trado-concha ou cavadeira, trado helicoidal, trépano de lavagem, amostrador padrão, cabeças de bateria, martelo padronizado para a cravação do amostrador, balde para esgotar o furo, medidor de nível de água, metro de balcão, recipientes para amostra, bomba d'água, centrífuga motorizada, caixa d'água ou tambor com divisória interna para decantação e ferramentas gerais. A FIGURA 3 representa aparelhagens para sondagem.

FIGURA 3 – Aparelhagem para sondagem



Fonte: SCHNAID (2010, p.10).

Ao identificar-se o local do furo, a limpeza é procedida para que ocorra a preparação do terreno para a realização da sondagem. Existem locais de fáceis e difíceis acessos. A dificuldade de acesso reduz muito a produtividade de trabalho, pois toda aparelhagem será transportada até o local do furo, além da água em abundância.

A montagem do tripé deverá ser feita com muito cuidado para que não haja tombamento e instabilidade do mesmo. A NBR 6484 prescreve a utilização do uso de trado concha ou cavadeira que são ferramentas de perfuração. Utiliza-se até chegar à 1m de profundidade, e, a partir daí inicia-se a sondagem. Segundo a NBR 6484(ABNT p.11), “A sondagem deve ser iniciada com emprego do trado-concha ou cavadeira manual até a profundidade de 1 m, seguindo-se a instalação até essa profundidade, do primeiro segmento do tubo de revestimento dotado de sapata cortante.”

Para se iniciar uma sondagem, monta-se sobre o terreno, na posição de cada perfuração, um cavalete de quatro pernas erroneamente chamado de “tripé”. No topo do “tripé” é montado um conjunto de roldanas por onde passa uma corda, usualmente de cisal. Este conjunto, “tripé”, roldanas e corda, auxiliará no manuseio da composição de hastes e levantamento do “martelo”. Inicia-se o furo desde o ponto de instalação do equipamento, na maioria das vezes coincidente com a superfície do terreno. Com auxílio de um “trado cavadeira”, perfura-se até um metro de profundidade (HACHICH, 1998, p.120).

O primeiro ensaio de penetração é feito na profundidade de 1 m. O amostrador fica acoplado a uma haste de sondagem e estes devem possuir um comprimento total de 1,5 m. O espaço de 0,5 m é para compensar o tubo de lavagem que fica a um nível acima do furo. Coloca-se a haste de 1,5 m e acopla-se outra de 1 m, gerando o comprimento total de 2,5 m. Um detalhe importante na emenda da haste, feita por uma luva tubular, é que a mesma se encontre para que não haja perda de energia durante a aplicação do golpe, o que aumenta a eficiência na transmissão do golpe aplicado para a determinação de sua resistência. Logo após, marcam-se os seguimentos de 15 cm na haste para contagem dos golpes.

A FIGURA 4 representa a marcação na haste dos três seguimentos de 15 cm para a contagem dos golpes.

FIGURA 4 - Marcação de 15 cm para dar início a contagem dos golpes.



Fonte: O AUTOR

A contagem de número de golpes é realizada em três etapas de 15 cm marcados na haste, ou seja, conta-se o número de golpe que foi penetrado a cada 15 cm. Para cada golpe suspende-se o martelo a uma altura de 75 cm, soltando-o ao encontro da haste. Segundo Hachich (1998, p.120) “Este procedimento é realizado até a penetração de 45 cm do amostrador padrão. Conta-se o número de queda do “martelo” para cada cravação de cada seguimento de 15 cm do total de 45 cm.”.

A FIGURA 5, representa o levantamento do “martelo” até a altura de 75 cm.

FIGURA 5 - Contagem dos Golpe.



Fonte: O AUTOR

Após a primeira penetração retira-se o amostrador da camada de subsolo através de manobras com o auxílio do tripé. O amostrador deve ser aberto ao meio. Depois, retiram-se as amostras e as colocam em sacos plásticos próprios para este fim e com etiquetas em que devem constar o número do furo, a profundidade e o número de golpes. Logo após, inicia-se a cravação do tubo de lavagem de 2,5 m ficando para fora 0,5 m com a bica de lavagem. Monta-se o sistema de coleta e lavagem do furo sendo a lavagem feita com o trépano, uma peça pontiaguda com um furo para a passagem de água. O trépano está acoplado à haste de sondagem que é a mesma do amostrador. Coloca-se o trépano dentro do furo e acopla-se uma haste de 1 m até que a mesma se encontre do tamanho que foi perfurado.

Após este processo, a sondagem é realizada por meio de perfuração por circulação d'água pelos movimentos rotacionais e verticais. O material escavado pela ação do trépano é removido por meio de circulação d'água impulsionado pelo conjunto moto-bomba. O furo avança-se por lavagem, continua-se a perfurar 55 cm de profundidade. A partir daí a bomba é desligada e o amostrador é voltado para uma nova camada de modo consecutivo, até que o solo se torne impenetrável ao amostrador.

A FIGURA 6 a seguir representa o amostrador aberto, pronto para retirar as amostras e guardá-las para levar ao laboratório.

FIGURA 6 - Retirada da Amostra



Fonte: O AUTOR.

A FIGURA 7 a seguir representa o avanço com o trépano, método de circulação de água, avançando 55 cm.

FIGURA 7 – Avanço por circulação de água, utilizando o trépano.

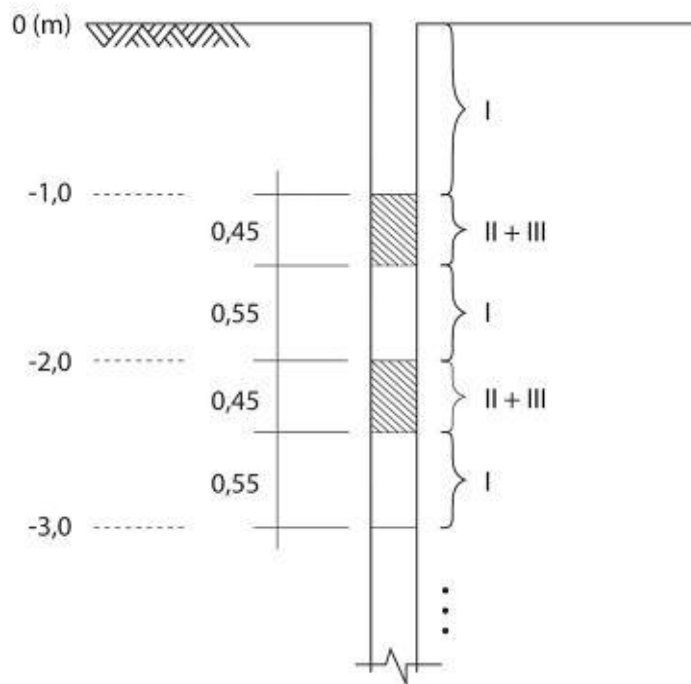


Fonte: O AUTOR.

Tanto a cravação por amostrador quanto o avanço por circulação d'água, permitem visualizar a descrição visual e tátil da camada do subsolo que está sendo atravessada. A sequência do segundo ensaio é semelhante ao primeiro, com exceção apenas da haste de dois metros que será acoplada. Logo após, é feita a marcação dos três segmentos de 15 cm e contagem do número de golpes para cada seguinte, após isto, retira-se o amostrador e guarda-se a amostra de cada segmento para novamente lavar o furo por circulação d'água adotando o mesmo método da etapa anterior. Deve-se sempre aumentar o comprimento das hastes, conforme o avanço da profundidade do furo e assim, dá-se por várias sequências até a profundidade de projeto ou quando o solo se mostrar muito rígido não conseguindo os avanços.

A FIGURA 8 representa o detalhamento do furo de sondagem, sendo a parte que contém a hachura se dá pelo avanço do amostrador e a parte sem hachura se dá pelo avanço do trépano.

FIGURA 8 - Detalhamento do furo de sondagem SPT.



Fonte: SCHNAID (2009, p10).

A paralisação do ensaio se dá por alguns critérios adotados pela norma NBR 6484, que identificam o limite no qual não consegue se penetrar no subsolo e levando a sua paralisação. Esses critérios são baseados no número de golpe e na penetração do subsolo. Caso não ocorra este processo, o amostrador poderá sofrer danos juntamente com sua aparelhagem. A partir daí, anota-se na planilha como “impenetrável ao amostrador”. No dia seguinte, mede-se o nível de água para identificação da mesma no local.

Segundo a NBR 6484 (ABNT p.13). O processo de perfuração por circulação de água, associado aos ensaios penetrométricos, deve ser utilizado até onde se obtiver, nesses ensaios, uma das seguintes condições:

- a) quando, em 3 m sucessivos, se obtiver 30 golpes para penetração dos 15 cm iniciais do amostrador-padrão;
- b) quando, em 4 m sucessivos, se obtiver 50 golpes para penetração dos 30 cm iniciais do amostrador-padrão; e
- c) quando, em 5 m sucessivos, se obtiver 50 golpes para a penetração dos 45 cm do mostrador-padrão

Em grandes obras como pontes, rodovias e edifícios, é comum o engenheiro verificar o impenetrável ao amostrador, conforme prescreve a norma NBR 6484. Neste caso tenta-se se avançar com o trépano lavando-o em três períodos de 10 minutos. Caso a penetração seja inferior a 5 cm por período, deve-se constar na planilha a designação impenetrável ao trépano.

Algumas situações especiais podem ocorrer durante a sondagem, tal como, a dificuldade de levar o amostrador até a profundidade atingida ou não, ao atravessar uma camada de solo granular (areia ou pedregulho). Caso esta dificuldade ocorra, pode acontecer desabamento do furo, o que exige o uso de um tubo mais profundo e lama betonítica para a estabilização. Caso aconteça alguma dificuldade ao atravessar o amostrador, pode ser que existam camadas de solo granular no local, causando o não atravessamento da mesma.

Segundo a NBR 6484 (ABNT, 2001 p.11):

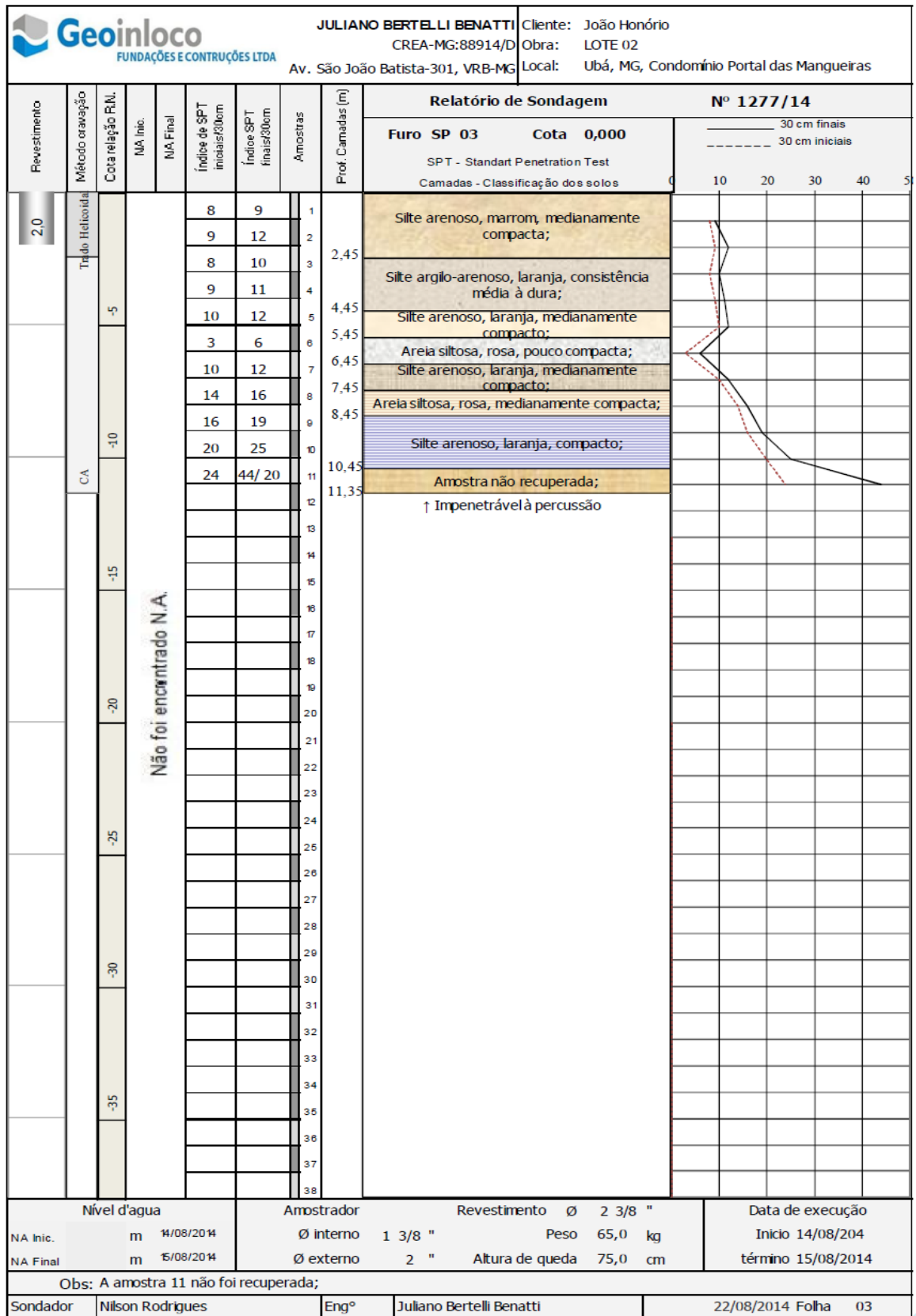
Em casos especiais de sondagens profundas em solos instáveis, onde a descida ou posterior remoção dos tubos de revestimento for problemática, podem ser empregadas lamas de estabilização em lugar de tubo de revestimento, desde que não estejam previstos ensaios de infiltração na sondagem.

2.3.2 O resultado da sondagem

O resultado do ensaio é gerado através de um relatório de sondagem realizado pelo geotécnico, que visa destacar a resistência do solo através da quantidade de golpes aplicados em cada camada de 1m. Este relatório é entregue ao engenheiro civil, que irá extrair as informações necessárias para o dimensionamento da fundação e que poderá determinar a consistência do solo.

A FIGURA 9 representa um exemplo de relatório de uma sondagem, em que na parte superior ficam os dados da empresa e os dados do cliente e no lado esquerdo da folha verificam-se os índices de SPT. Entre os índices de SPT e os tipos de solos, encontra-se o nível de água e a cota em que se encontra em relação à superfície. No centro é apresentada a ilustração dos tipos de solos (classificação), através do ensaio tato visual, que pode se determinar a estratigrafia do solo e no lado direito da página encontra-se o gráfico com os índices de penetração dos 30 cm iniciais e finais e na parte inferior da folha de relatório são apresentados os dados da profundidade do nível d'água, com suas respectivas datas, dados do amostrador, do revestimento e número da folha.

FIGURA 9 - Relatório de Sondagem



Fonte: O AUTOR.

2.3.3 Determinação da resistência do solo através do SPT

Há inúmeras maneiras de relacionar as tensões de solos com o número de SPT. Elas podem ser determinadas pelo método de consistência e compacidades, conforme visto anteriormente, durante a explanação acerca da compacidade e consistência de solo.

A TABELA 4 a seguir mostra a tabela de consistência das argilas, que classifica as propriedades da mesma e sua tensão admissível, através do resultado do SPT em cada camada,

TABELA 4 - Tabela de Consistência das argilas

SPT	Consistência	Tensão Adm (kgf/cm ²)
< 2	Mole	< 0,25
2- 4	Mole	0,25 - 0,50
4 – 8	Média	0,50 – 1,0
8 – 15	Rija	1,0 – 2,0
15 – 30	Muito Rija	2,0 – 4,0
> 30	Dura	> . 4,0

Fonte: REBELLO (2011, p.35).

A TABELA 5 mostra a tabela de compacidade das areias, que classifica as propriedades da mesma é a sua tensão admissível, através do resultado do SPT em cada camada.

TABELA 5 - Tabela de Compacidade das Areias

SPT	Compacidade	Tensão Adm (kgf/cm ²)
< 4	Muito fofa	
5 – 8	Fofa	< 1,0
9 – 18	Medianamente compacta	1,0 – 3,0
19 – 41	Compacta	2,0 – 5,0
> 41	Muito Compacta	> 5,0

Fonte: REBELLO (2011, p.36).

Segundo Rebello (2011 p. 33) “Uma maneira bastante rápida de correlacionar esses valores e usando a EQUAÇÃO 1 abaixo”:

EQUAÇÃO 1 - Metodologia de Rebello.

$$\tau = \sqrt{N} - 1$$

Onde; τ é a tensão admissível em Kgf/cm² à compressão é N e o número de golpes para cravar nos últimos 30 cm ou seja as duas últimas camadas. Este método é apenas para as camadas.

Pode-se dimensionar a partir de um determinado valor da largura da sapata, obtém-se à média dos SPT. De acordo com Hachich (1998, p.239) “Chamando-se de N, o valor da resistência à penetração (SPT) média medida com o amostrador Raymond-Terzaghi, pode-se estimar a tensão admissível através da EQUAÇÃO 2 sendo:”

EQUAÇÃO 2 - Metodologia de Hachich.

$$\tau = 0,02N$$

Onde; τ é a tensão admissível em MPa à compressão é N e o número médio de golpes da profundidade (SPT). Para determinar o valor de N, pode-se usar a profundidade à 1,5B sendo B o lado maior da sapata, através da EQUAÇÃO 3 abaixo.

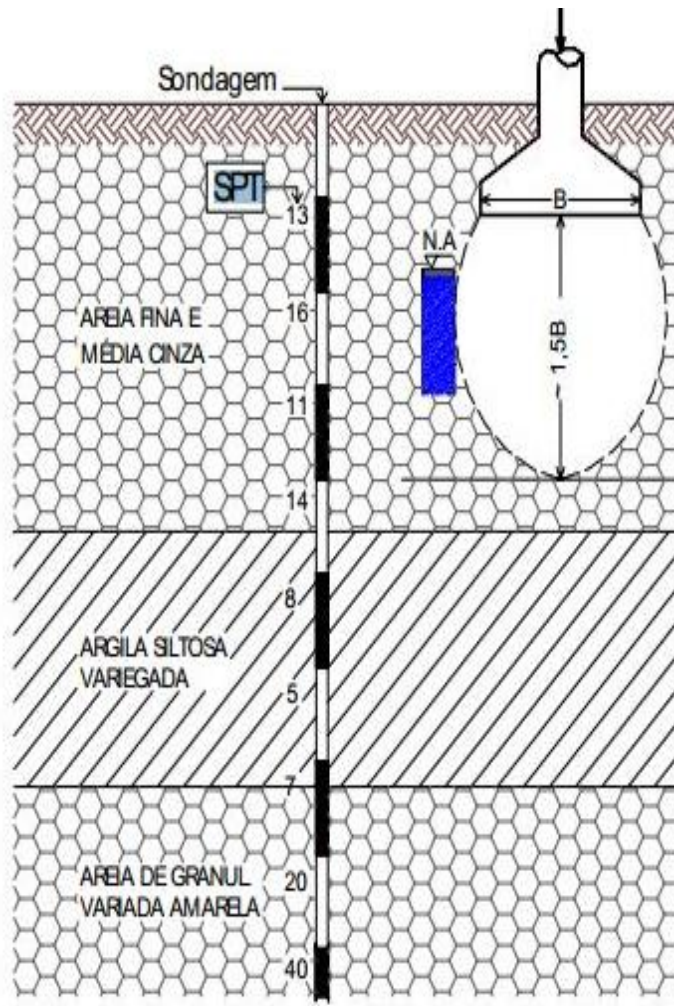
EQUAÇÃO 3 - Determinação do SPT médio.

$$SPT = \frac{\sum_{i=1}^N x_i}{N}$$

Onde X_i é o valor do número de golpe e N o valor das camadas referente ao lado maior da sapata. Após este valor médio aplica-se na equação 2.

A FIGURA 10 representa a metodologia de Hachich, em que o valor de N é a média dos SPT que vai da profundidade referente à 1,5xB, em que B é o lado maior da sapata. Diga-se estar referindo ao bulbo de tensões no solo, ou seja, nesta profundidade que o solo será solicitado.

FIGURA 10 - Procedimentos para determinação do N médio



Fonte: HACHICH (1998, p.239)

2.3.4 A escolha da fundação através da sondagem

Segundo Rebello (2011, p. 41) “Para efeito prático, considera-se técnica e economicamente adequado o uso de fundação direta quando o número de golpes for maior ou igual a 8 e a profundidade não ultrapassar 2,0m”. Então, vale salientar para efeito técnico, que se devem analisar as camadas restantes do solo caso estas tenham efeito crescente quanto ao número de SPT. Caso haja uma camada ao longo da profundidade menos resistente, ou que apresente um SPT menor, provavelmente não poderá aplicar a escolha da fundação rasa.

Os solos de baixa resistência, possibilitará o uso de fundações profundas sendo esquadros os vários tipos de estacas, neste caso seria interessante um estudo detalhado dentre as alternativas de fundações profundas e fazer a escolha de acordo com o menor custo e prazo de execução (HACHICHI, 1998, p. 214).

Para o impacto econômico pode ser avaliado a partir dos fatores de segurança ao tipo de obra a ser executada e ao grau de exploração do subsolo, quando se insiste na investigação geotécnica, buscando todos os detalhes do solo. Seu projeto terá menores incertezas e conseqüentemente, um menor fator de segurança, proporcionando uma grande economia na obra (SCHNAID, 2009, p. 7).

2.3.5 Problemas da não realização das investigações geotécnicas

Ignorar o processo de sondagem, atitude inicialmente que pode ser vista como forma de economia, pode trazer inúmeros prejuízos para a obra a ser realizada, visto a dificuldade em trabalhar sem os dados que podem ser obtidos através da sondagem como, o nível da água, o tipo de solo, e a resistência para um dimensionamento adequado.

Segundo Godoy (1986 *apud* HACHIC, 1998, p. 233) comenta que:

Será interessante, no entanto, que inicialmente seja apresentada uma síntese da realidade do dia a dia do engenheiro, o qual é chamado a apresentar soluções para problemas de fundação, quase sempre sem dispor do tempo necessário para um estudo completo do problema. Este estudo seria iniciado pela programação da investigação do subsolo, sua execução e eventual complementação, interpretação de seus resultados, seguida das conclusões, que deveriam incluir um projeto de fundação e uma estimativa de grandeza dos recalques esperados. A realidade é diferente, sendo o engenheiro muitas vezes levado a tomar decisões com base em poucos resultados de sondagens de percussão (SPT), muitas vezes executadas por firmas desconhecidas e até mesmo de idoneidade duvidosa.

O desconhecimento do nível da água pode ser um grande problema, pois caso o terreno apresente o nível da água elevado, poderá ocorrer vários. Com isso deve-se fazer uma investigação geotécnica e se necessário utilizar uma fundação profunda. Neste momento não se sabe ao certo se o solo suportaria a tensão estimada.

Caputo (1988, p.64), comenta que:

Nos solos, por capilaridade, a água se eleva entre os seus vazios de pequenas dimensões. A altura do capilar a que se eleva a água, por ascensão capilar, é inversamente proporcional ao diâmetro dos poros. Assim, nos solos finos (siltosos e argilosos), os quais têm vazios de diâmetro reduzido, a altura capilar será maior do que nos solos grossos (pedregulhosos e arenosos).

A FIGURA 11 a seguir mostra o nível da água de uma vala de fundação provocado por capilaridade.

FIGURA 11 Valas de fundação com água a um metro de profundidade



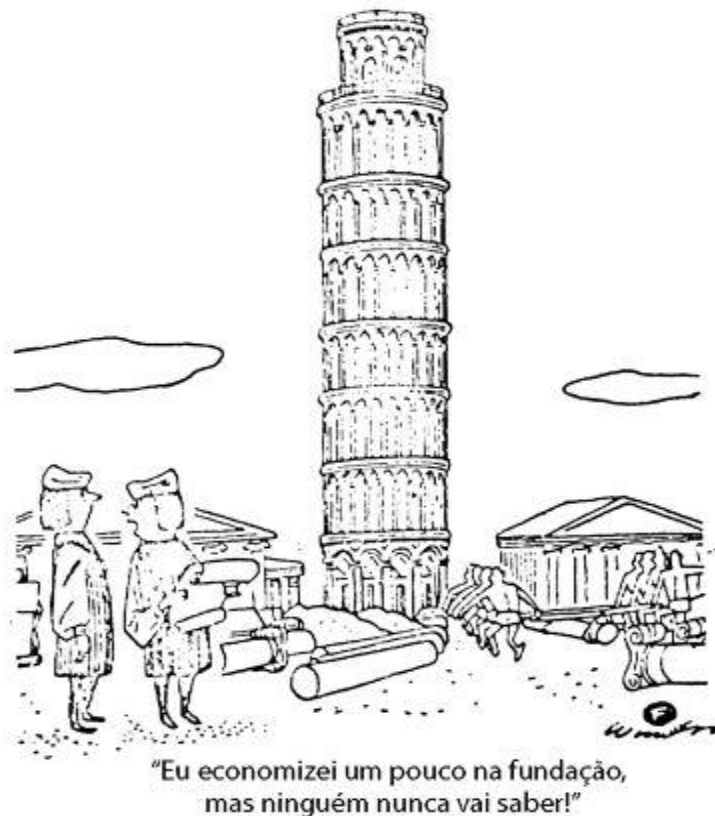
Fonte: O AUTOR.

O fato de não realizar a sondagem e o engenheiro estimar um valor para a sua tensão que, provavelmente, será a pior das hipóteses, pode-se gerar grandes complicações no futuro, já que não existe conhecimento do solo e o cálculo da estrutura estará superdimensionado. O simples fato de desconhecer o solo, poderá danificar a estrutura da edificação, como exemplo, por meio do fenômeno do recalque. À medida que o recalque vai aparecendo, os danos na edificação vão aumentando e toda estrutura quando dimensionada, tende a ter um recalque, porém, quando se conhece o solo, prevê-se recalque dimensionando à estrutura de maneira correta.

Pode-se destacar como exemplo clássico a torre de Pisa, que gerou grande polêmica por apresentar recalque tão grande e não havendo desmoronamento, conforme a

A FIGURA 12 que mostra a torre de Pisa, que gerou um recalque, por falta de investigação geotécnica.

FIGURA 12 - Recalque na Torre de Pisa.



Fonte CINTA (2013 p.5)

No Brasil, pode-se destacar a cidade de Santos-SP, onde ocorreu em abril de 1997, o recalque de um prédio, que para ser recuperado, gastou-se muito por não adquirir uma boa investigação e não possuir dados da geotécnica do solo em questão. De acordo com Cintra (2011, p.30) “Deve-se fazer parte da rotina de projeto de fundações a estimativa de recalques e, mais do que isso, a adequação dos projetos para que os recalques sejam inferiores aos valores admissíveis.”

A FIGURA 13 a seguir mostra o prédio em Santos-SP inclinado devido ao recalque.

FIGURA 13 – Prédio inclinado em Santos SP.



Fonte: CINTRA (2011, p.30).

Percebe-se através da análise da investigação geotécnica que diversas variáveis podem influenciar o solo. Somente um estudo local pode contribuir para uma fundação segura. Budhu (2013, p.162). Comenta que:

Não há nada certo sobre um projeto de fundação. Cada aspecto do processo de projeto envolve incertezas e, conseqüentemente, risco de colapso. Como engenheiro geotécnico, é necessário entender, onde grandes incertezas ocorrem e como reduzi-las para projetar uma fundação segura e econômica.

Quando se constata de uma obra de pequeno porte é comum à prática da não realização da investigação geotécnica, pois, muitas das vezes por se tratar de uma obra pequena o dono da obra, acha desnecessária a realização da mesma, pensa que estará economizando, pois o engenheiro não terá dados suficientes para dimensionar a fundação, para suprir este déficit de informações sobre o solo, estimará uma hipótese ruim, para cobrir possíveis imprevisto com isto eleva-se um o custo do dimensionamento da fundação. Pode-se prever que o custo desta falta de informação será maior que a utilização da investigação geotécnica. Sabe-se que o custo de uma investigação é aproximadamente 1 % do valor da obra. De acordo com Hachich (1998, p.228) a EQUAÇÃO 4, pode-se concluir o tamanho do superdimensionamento.

EQUAÇÃO 4 – Equação da área da sapata.

$$A = \frac{F}{\tau}$$

Onde A é a área da sapata, F é a carga do pilar e τ é tensão admissível.

Sendo a tensão estimada com um valor mínimo, percebe-se que quanto menor for a tensão estimada maior será a área da sapata. Com isto tende um elevado quantitativo de material concreto e aço para a sua execução. Como não pode-se estabelecer um valor de diferença entre o real e o estimado, sendo que cada obra terá valores diferentes, devido a tensão estimada que não será a mesma em outra obra e também as cargas dos pilares que não será a mesma. Sendo a investigação o melhor custo benefício.

Corroborando o autor, pode-se reafirmar então a importância de estudos para a realização de uma fundação.

3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ao se iniciar uma obra e preciso optar pela sondagem para diagnosticar problemas apresentados pelo solo, pois quando realizada, esta dará informações precisas ao engenheiro, e este tomará decisões importantes, eficientes, seguras, precisas e econômicas para a obra.

Ao tomar a prática de estimar empiricamente a sua resistência com o menor valor, a obra ficará muito cara, sujeita a futuros problemas.

Através deste trabalho pôde-se verificar que a realização do processo de sondagem é muito importante para a construção de uma obra visto que apenas através deste é possível obter informações essenciais para a garantia de uma obra de qualidade, tanto economicamente quanto em segurança.

Observa-se também que a sondagem pode servir de garantia de trabalho tanto para o profissional responsável pela obra, quanto para o cliente, visto que este processo oferece dados técnicos que não podem ser obtidos através de outros métodos e com a mesma viabilidade financeira.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6122**: Projeto e Execução de Fundações– Rio de Janeiro, 2010. 91p.

_____. **NBR 6484**: Solo - Sondagens de Simples Reconhecimento com SPT - Método de Ensaio – Rio de Janeiro, 2001. 17p.

_____. **NBR 6502**: Rochas e Solos – Rio de Janeiro, 1995. 18p.

_____. **NBR 7250**: Identificação e descrição de amostras no solo obtidas em sondagem de simples reconhecimento do solo. Rio de Janeiro, 1982. 3p.

_____. **NBR 8036**: Programação de Sondagens de Simples Reconhecimento do Solo Para Fundações de Edifícios. Rio de Janeiro, 1983. 3p.

BRADY, N. C.; WEIL, R. R. **Elementos da natureza e propriedades dos solos**. 3. ed. – Porto Alegre: Bookman, 2013. 716p.

BUDHU, M. **Fundações e estruturas de contenção** / Muni Budhu ; [tradução e revisão técnica] Luiz Antônio Vieira Carneiro, Maria Esther Soares Marques. - Rio de Janeiro: LTC, 2013.

CAPUTO, H. P. **Mecânica dos solos e suas aplicações**, vol.1, 6ed; Rio de Janeiro - LTC 1988.

CINTRA, J.C.A.; AOKI, N.; TSUHA, C.HC.; GIACHETI, H.L. **Fundações**: ensaios estáticos e dinâmicos. São Paulo: Oficina de Textos, 2013. 144p.

CINTRA, J. C. A.; AOKI, N.; ALBIERO, J. H.. **Fundações diretas**: projeto geotécnico. São Paulo: Oficina de Textos, 2011. 140p.

DAS, B. M. **Fundamentos da engenharia geotécnica**. Trad. São Paulo: Thomson, 2007. 559p.

FILHO, A. C. Q. F. **Estudos sobre efeito de velocidade de ensaio na calibração de pressiómetro cravado**. 2007. 47f. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Civil) - Centro De Ciências Exatas e Tecnologia, Universidade da Amazônia, 2007.

HACHICH, W.; FALCONI, F.F.; SAES, J.L.; FROTA, R.G.Q.; CARVALHO, C.S. & NIYAMA, S.: editores. **Fundações: teoria e prática**. São Paulo: Pini, 2ed., 751 p., 1998.

REBELLO, Y. C. P. **Fundações**: guia prático de projeto, execução e dimensionamento. São Paulo: Ziguarte, 2008.

REICHERT, J.M. **Solos florestais**. Disponível em: <
http://www.fisicadosolo.ccr.ufsm.whoos.com.br/downloads/Disciplinas/SolosFlorestais/Apostila_Teorica%20SF.pdf> Acesso em 13 out. 2014.

SCHNAID, F. **Ensaio de campo- e suas aplicações à engenharia de fundações**; São Paulo: Oficina de textos, 2009.

TERZAGHI, K.; PECK, R. B. **Mecânica dos solos na prática de engenharia**. Trad. Rio de Janeiro: Ed. McGraw Hill, 1962. 56p.

TEIXEIRA, W; FAIRCHILD, T.R.; TOLEDO, M. C. M.; TAIOLI, F. **Decifrando a terra** – 2ed. São Paulo: Companhia Editora Nacional, 2009.

VARGAS, M. **Introdução à mecânica dos solos**, São Paulo: Ed. McGraw Hill, 1985.