

Uso de modelo didático reduzido para ensino da sondagem de simples reconhecimento do solo com SPT

Felipe William de Souza Santos ^[1], Rodrigo Cunha Santos ^[2],
Rebeca de Abreu Abreu ^[3], Stephanny Conceição Farias Egito Costa ^[4]

[1] felipewilliam21@gmail.com. [2] rodrigocunhasant@gmail.com. [3] abreu.a.rebeca@gmail.com. [4] scfecosta@uesc.br. Curso de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Santa Cruz, Campus Soane Nazaré de Andrade - Ilhéus, Bahia.

RESUMO

A teoria e a prática são métodos de aprendizagem que devem caminhar juntas, independentemente da qualificação que se busque. No entanto, a realidade de algumas universidades brasileiras, em fase de implementação de cursos, não proporciona aos discentes a carga horária prática necessária, devido ao processo burocrático para aquisição de equipamentos. Visto a importância do conhecimento acerca do ensaio Standard Penetration Test (SPT) para formação de um Engenheiro Civil, foi proposto na disciplina Fundações e Obras de Terra, do curso de Engenharia Civil da Universidade Estadual de Santa Cruz (UESC), a elaboração de um modelo didático reduzido da aparelhagem utilizada nesse ensaio, normalizado pela NBR 6484:2001 – Solo - Sondagens de simples reconhecimento com SPT - Método de ensaio, com o intuito de ampliar o conhecimento sobre os equipamentos e metodologias empregadas, estimular a autonomia dos discentes em buscar soluções e viabilizar a aproximação do discente com o âmbito prático. Após a elaboração do modelo, realizou-se o ensaio de sondagem nas proximidades do Pavilhão de Ciências Exatas e Tecnológicas da UESC, e a partir da amostra obtida, pôde-se concluir com testes tátil visuais que o solo apresenta comportamento predominantemente argiloso, com coloração marrom escuro.

Palavras-chave: Modelo didático reduzido, SPT, Fundações e obras de terra.

ABSTRACT

The theory and practice are learning methods that must go together regardless of the qualification is sought. However, the reality of some Brazilian universities in the implementation stage of courses, it does not give students the essential practice hours, because of bureaucracy process for acquiring equipment. Seen the importance of knowledge about the Standard Penetration Test (SPT) to graduate a civil engineer, was proposed in Foundations Design discipline, of the course civil engineering at Universidade Estadual de Santa Cruz (UESC). the development of a reduced teaching model of the equipment used in this test, standardized by NBR 6484: 2001 - Solo - Simple exploration of recognition with SPT - test method, in order to increase knowledge of the used equipment and methodologies, fostering the autonomy of students in seeking solutions and enabling the approach of the student with the practical part. After developing the model, was made the simple exploration test of recognition near the Pavilion of Exact Sciences and Technology UESC and from the sample obtained could be concluded with visual tactile tests that the soil present predominantly a clay behavior with dark brown coloring.

Keywords: *Reduced teaching model, SPT, Foundations design.*

1 Introdução

O curso de engenharia civil é uma área em que o ensino da teoria deve estar constantemente aliado com a prática, permitindo assim, um melhor entendimento dos conteúdos estudados. Um exemplo disso é o assunto de sondagem de simples reconhecimento do solo por meio do SPT (*Standard Penetration Test*), da disciplina de Fundações e Obras de terra.

O SPT é um dos quatro principais ensaios penetrométricos do solo existentes no mundo que tem como objetivos: determinar os índices de resistência à penetração a cada metro, associado à capacidade resistente do solo, os tipos de solos em suas respectivas profundidades de ocorrência, e a posição do nível d'água – [se houver] (NEVES, 2004).

No Brasil, a realização do ensaio SPT é normalizada pela NBR 6484:2001 – Solo - Sondagens de simples reconhecimento com SPT - Método de ensaio, na qual encontram-se, entre outros, especificações relativas à aparelhagem e procedimentos de ensaio. O princípio de funcionamento do teste consiste na cravação de um amostrador-padrão em 45 cm (três seções de 15 cm) de solo, a cada metro, a partir da queda, de uma altura de 75 cm, de um martelo de massa de 65 kg. O primeiro metro de solo é somente escavado, não sendo realizada a operação de cravação do amostrador nele. O índice de resistência à penetração “N” corresponde ao número de golpes para 30 cm de penetração do amostrador-padrão no solo, após uma cravação inicial de 15 cm.

De modo geral, o conhecimento do SPT é fundamental para que o engenheiro civil tenha informações pertinentes ao solo e o auxilie na tomada de decisões de projeto e execução, principalmente de fundações, visando economia, eficiência e segurança.

Entre a teoria e a prática, existe uma lacuna a ser preenchida. No caso do SPT, nem sempre é possível sua visualização, seja pela dificuldade de se dispor do equipamento do ensaio na instituição de ensino ou de se conseguir uma visita técnica a uma obra que esteja realizando a sondagem do solo. Nesse sentido, a construção de modelos didáticos reduzidos permite não só que o aluno visualize e explore na prática os conceitos debatidos na teoria, como também participe de um processo dinâmico iterativo e autônomo em busca de sua própria aprendizagem (POMMER, 2013).

A construção de modelos didáticos reduzidos culmina com o processo envolvente de aprendizagem,

no qual o aluno constrói, modifica, enriquece e diversifica esquemas de conhecimento já internalizados de diferentes conteúdos, a partir da atribuição de significado e sentido a estes e ao próprio ato de aprender (TEIXEIRA; PASSOS, 2013).

Um exemplo de instituição que se dispôs a trabalhar com modelos didáticos foi a Universidade de São Paulo que, em 2001, inaugurou o Laboratório Didático de Resistência dos Materiais com intuito de complementar os ensinamentos da disciplina vistos em sala de aula (NAKAO; GUARITA FILHO; MONTEIRO, 2003).

Buscando promover um processo de ensino-aprendizagem de ligação entre a teoria e a prática do SPT, o presente trabalho mostra a construção de um modelo didático reduzido da aparelhagem utilizada no ensaio, ilustrando didaticamente seu funcionamento, desenvolvida no período letivo de 2015.2 na disciplina Projeto de Fundações e Obras de Terra do curso de Engenharia Civil da Universidade Estadual de Santa Cruz (UESC).

2 Objetivos

O objetivo geral do projeto é promover um processo de ensino-aprendizagem do ensaio de sondagem de simples reconhecimento com SPT com uso de um modelo didático reduzido.

São objetivos específicos do projeto:

- Construir um modelo didático reduzido da aparelhagem usada para execução da cravação do amostrador-padrão do SPT;
- Simular o funcionamento dos elementos que compõem a parte instrumental do ensaio;
- Avaliar o desempenho do modelo didático reduzido na execução do ensaio.

3 Materiais e métodos

Foi construído o modelo didático reduzido dos elementos constituintes do equipamento utilizado no SPT, a saber: torre com roldana; tubos de revestimento; composição de perfuração ou cravação; amostrador-padrão; cabeça de bater; e martelo padronizado para cravação do amostrador.

Adotou-se uma redução, numa escala de 1:2, em todas as dimensões lineares, para construção dos elementos do modelo em questão, cujos materiais e procedimentos de construção são descritos a seguir.

3.1 Torre do Modelo Reduzido

A torre foi composta por um tripé formado por quatro barras de madeira de eucalipto de 1,75 m de comprimento e seção transversal de 2,75 x 5,50 cm, sendo que uma das bases do tripé possui o formato de uma escada. A ligação das barras para formar o tripé foi realizada por um triângulo constituído de barra de aço de 5,0 mm, dobrada e serrada.

A torre montada para a execução do ensaio possui altura aproximada de 1,50 m. Foram adicionadas cordas junto às barras de madeira constituintes do tripé visando garantir a estabilidade da torre, funcionando como tirantes. Outra função dos tirantes foi de auxiliar na montagem da torre, deixando fixas as distâncias máximas permitidas entre as barras do tripé.

Na parte superior do tripé foi acoplada uma polia de material plástico, com capacidade de até 20 kg, para elevação do martelo, realizada com uma corda fina de fibra sintética. A Figura 1 ilustra a torre do modelo didático reduzido.

Figura 1 – Torre do modelo didático reduzido.



3.2 Martelo

Como a escala de redução adotada (1:2) refere-se às dimensões lineares, no volume do martelo, o fator de escala é multiplicado três vezes (uma para cada dimensão linear) resultando em uma redução do

volume do martelo na escala 1:8. Esse fato pode ser facilmente verificado avaliando a redução de volume de um cilindro com dimensões originais de diâmetro d_0 e altura h_0 , cujo volume V_0 é dado pela Equação 1.

$$V_0 = \frac{h_0 \pi d_0^2}{4} \quad (1)$$

Aplicando-se uma redução numa escala de 1:2, cada dimensão linear é reduzida à metade do valor original, resultando em um cilindro de dimensões reduzidas de diâmetro $d_0/2$, e altura $h_0/2$. O volume reduzido V_r é, então, dado pela Equação 2.

$$V_r = \frac{(h_0/2)\pi(d_0/2)^2}{4} = \frac{h_0 \pi d_0^2}{4} \times \frac{1}{8} = \frac{V_0}{8} \quad (2)$$

Sabendo-se que a massa é diretamente proporcional ao volume, uma redução de um oitavo (1/8) no volume resulta em uma redução de um oitavo na massa. Pelo fato do material utilizado na construção do modelo didático do martelo ser diferente do prescrito em norma, optou-se em reduzir a massa ao invés das dimensões desse. Assim, a massa do martelo no modelo didático reduzido deveria ser de 8,125 kg.

O martelo foi constituído por uma lata metálica de tinta de 3,6 litros, preenchida com concreto, sendo confeccionado solidariamente à haste guia. Essa foi composta por uma barra de aço de 5,0 mm, ancorada no concreto de preenchimento da lata, e orientada no eixo vertical centralizado da lata cilíndrica (direção longitudinal). A massa total medida do conjunto (martelo + haste guia) foi de 8,470 kg.

A altura de queda padrão é de 75 cm. Logo, no modelo reduzido essa altura deveria ser de 37,5 cm. No entanto, como a massa medida do martelo foi um pouco maior que a massa reduzida calculada, ajustou-se a altura de queda do modelo de modo a se conseguir a mesma energia teórica por golpe de cravação para o modelo didático reduzido. Esse ajuste foi realizado com o uso da equação para energia potencial gravitacional (E_{PG}), ilustrada na Equação 3.

$$E_{PG} = mgh \quad (3)$$

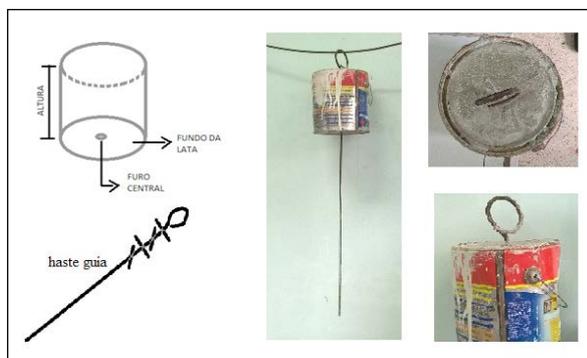
Sendo: m , massa; g , aceleração da gravidade (adotado como 9,81 m/s²); h , altura em relação a um

referencial fixo. Utilizando os valores de “ m ” e “ h ” teórico para o modelo didático reduzido, 8,125 kg e 37,5 cm respectivamente, obtém-se um valor da energia potencial gravitacional de 29,89 J, aproximadamente. Com esse valor de E_{PG} e m de 8,470 kg (massa real do martelo do modelo reduzido), obtém-se um valor de 35,97 cm para altura de queda na execução do ensaio. Por finalidades técnicas de execução, utilizou-se altura de queda de 36,0 cm.

Como a massa e a altura de queda do modelo didático reduzido foram um oitavo e um meio, respectivamente, do equipamento real, isso resulta em uma carga dinâmica 16 vezes menor que a carga do ensaio real.

A haste guia foi, então, munida com marcação de 36 cm, que corresponde à altura de queda do martelo, para facilitar as manobras de aplicação dos golpes. Na parte superior, a barra da haste guia foi dobrada em forma de gancho anelado para servir de sustentação do procedimento de elevação do martelo. O esquema da ancoragem da barra constituinte da haste guia é ilustrado na Figura 2, assim como o martelo.

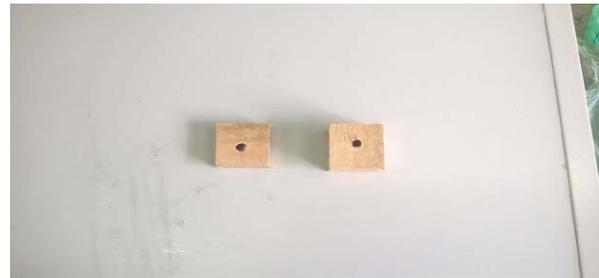
Figura 2 – Martelo e haste-guia do modelo didático reduzido.



3.3 Cabeça de Bater e Coxim

A cabeça de bater e o coxim foram construídos em placa de madeira de eucalipto (4,0 x 4,0 x 1,0 cm), furada para permitir a passagem da haste guia. Estas peças não seguiram a escala de redução adotada. A Figura 3 ilustra a cabeça de bater e o coxim do modelo didático reduzido.

Figura 3 – Cabeça de bater e coxim do modelo didático reduzido.



3.4 Composição de Perfuração e Cravação

A composição de perfuração e cravação do amostrador-padrão foi constituída de hastes de tubos de PVC. A redução das seções transversais das hastes na escala proposta inviabilizaria a sua funcionalidade de cravação, devido ao material PVC ter resistência limitada. Desse modo, foi adotada a escala 1:2 apenas na redução dos comprimentos das peças da composição de perfuração e cravação, sendo que seus diâmetros foram maiores que os apontados na escala de redução, com intuito de evitar a quebra dos elementos durante o ensaio.

Assim, foram utilizados tubos de PVC com diâmetro nominal 25 mm, e comprimento de 50 e 100 cm para compor as hastes de perfuração e cravação do amostrador-padrão. A ligação entre as hastes foi realizada por meio de luvas de diâmetros compatíveis (luvas de PVC de 25 mm). A Figura 4 ilustra as hastes de composição de perfuração e cravação.

Figura 4 – Hastes da composição de perfuração e de cravação do modelo didático reduzido.



3.5 Tubos de Revestimento

Os tubos de revestimento também foram constituídos por tubo de PVC. Como o diâmetro das hastes de perfuração e cravação do amostrador-padrão foram maiores que o previsto na escala de redução 1:2, também houve um aumento no diâmetro dos tu-

bos de revestimento. Desse modo, o diâmetro destes foi de 50 mm, suficientemente largo para permitir a passagem das hastes guias e do amostrador, com cada segmento medindo 60 cm, como é mostrado na Figura 5.

Figura 5 – Peça do tubo de revestimento do modelo didático reduzido.



3.6 Amostrador-padrão

O amostrador-padrão também foi constituído de tubo de PVC e seus elementos de conexão, fugindo a escala de redução 1:2, a fim de evitar sua quebra durante a execução do ensaio. A seguir são descritos cada parte constituinte do amostrador-padrão.

Cabeça do amostrador:

Com função de promover a ligação do amostrador-padrão com as hastes da composição de perfuração e cravação, foi constituída por luva de diâmetro nominal de 40 mm, acoplada a uma redução de 40 x 25 mm, contendo furos laterais para a saída de água.

Corpo do amostrador:

Foi constituído de tubo de PVC de diâmetro nominal de 40 mm, e comprimento total de 32 cm. Foram construídos dois corpos do amostrador: um bipartido longitudinalmente e outro não, conforme a possibilidade dada pela NBR 6484:2001. Entretanto, no ensaio utilizou-se o corpo do amostrador-padrão não bipartido.

Os comprimentos de penetração, calculados com a escala de redução foi de 7,5 cm para cada seção. Por questões de execução, adotou-se que cada seção de cravação seria de 8,0 cm, resultando, dessa forma, em uma penetração de 24 cm por amostragem.

Sapata:

Constituída por luva de diâmetro nominal de 40 mm, com a ponta de cravação aparada e afinada. A Figura 6 ilustra os elementos do amostrador-padrão do modelo didático reduzido.

Figura 6 – Amostrador-padrão do modelo didático reduzido.



4 Execução do ensaio

foram realizados dois ensaios com o SPT: um para determinação do valor de "N", e outro para coleta de amostra de solo. Os ensaios foram realizados em um terreno próximo ao Pavilhão de Ciências Exatas e Tecnológicas da UESC, sendo os locais limpos superficialmente antes da realização do ensaio. Os procedimentos adotados na execução do ensaio, de forma adaptada da NBR 6484:2001, visto a função didática, são descritos a seguir:

- Com o emprego de um trado concha, escavou-se 0,5 m de solo e instalou-se a primeira barra do tubo de revestimento;
- Em seguida, instalou-se o amostrador-padrão juntamente com as hastes da composição de perfuração e cravação colocadas internamente nos tubos de revestimento;
- Utilizando o topo do tubo de revestimento como referência, marcou-se na haste três segmentos de 8 cm, totalizando 24 cm do amostrador-padrão a serem cravados no solo;
- Em seguida, apoiou-se o martelo sobre a cabeça de bater, anotando eventual penetração do amostrador-padrão no solo;
- Mediu-se o número de golpes necessários para que o amostrador-padrão penetrasse no mínimo 8 cm no solo;
- Quando a penetração atingiu os 24 cm, o índice de resistência a penetração foi expresso como a soma do número de golpes requeridos para a segunda e terceira etapas de penetração de 8 cm no solo.

A Figura 7 apresenta o arranjo do ensaio executado para coleta da amostra de solo.

Figura 7 – Arranjo do ensaio com o modelo didático reduzido.



A Figura 8 ilustra parte da amostra de solo coletada durante o ensaio com o modelo didático reduzido.

Figura 8 – Parte da amostra de solo colhida no ensaio SPT.



Testes tátil-visuais foram realizados para caracterização da amostra de solo. Observou-se que se trata de um solo fino de coloração marrom escuro, macio ao tato e com uma pequena fração de partículas ásperas. O não aparecimento de água na superfície durante o teste de dilatância, a necessidade de uma fricção considerável para a completa limpeza da pele no teste de sujar as mãos, a superfície lisa nas laterais da abertura no teste do corte, e a lenta dispersão no ensaio de desagregação do solo submerso sugerem um comportamento argiloso já indicado nos testes iniciais de observação visual e do tato.

No teste de plasticidade, formou-se um cilindro com o solo capaz de ser dobrado sem quebrar e verificou-se a impossibilidade de obter um círculo sem fissuras, indicando um comportamento argiloso-arenoso, nesse caso, a existência de partículas de areia justificaria aspereza constatada. A Figura 9 ilustra um dos testes realizado com a amostra de solo.

Figura 9 – Teste de plasticidade com a amostra de solo.



5 Resultados

O número de golpes para penetração do amostrador-padrão para cada segmento de 8 cm da primeira camada, após a escavação inicial e descarte do primeiro 0,5 m de solo, é ilustrado na Tabela 1.

Tabela 1 – Dados coletados na execução do ensaio.

Penetração (m)	Número de golpes / 8 cm de cravação
0,50 a 0,58	2/8
0,58 a 0,66	5/8
0,66 a 0,74	7/8

Com os resultados obtidos para a segunda e a terceira camada de penetração, calculou-se um índice de resistência a penetração de forma didática igual a 12.

6 Considerações finais

Embora simples e com limitações técnicas, o modelo didático reduzido do SPT apresenta-se como uma excelente ferramenta de aprendizagem da temática de sondagem de simples reconhecimento do solo, com eficiência e eficácia didáticas satisfatórias. Desse modo, proporcionou-se que os alunos trabalhassem na prática, por meio da construção do equipamento e a execução do ensaio, recorrendo a soluções embasadas cientificamente, os conceitos inerentes ao SPT, colocando, assim, o discente em um processo envolvente, dinâmico e iterativo em busca da aprendizagem.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6484: Solo – Sondagens de simples reconhecimento com SPT – Método de ensaio**. Rio de Janeiro, 2001.

NAKAO, O. S.; GUARITA FILHO, J. A. A.; MONTEIRO, C. O. Os modelos físicos e o laboratório didático de resistência dos materiais. In: XXXI Congresso Brasileiro de Ensino de Engenharia (Cobenge 2003), Rio de Janeiro. **Anais**. Rio de Janeiro: IME, 2003.

NEVES, L. F. S.; UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO. Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo. **Metodologia para a determinação da eficiência do ensaio SPT através de prova de carga estática sobre o amostrador padrão**, 2004. 111p, il. Dissertação (Mestrado).

POMMER, W. M. **A Engenharia Didática em sala de aula: Elementos básicos e uma ilustração envolvendo as Equações Diofantinas Lineares**. Disponível em: <<http://goo.gl/uuq4J6>> Acesso em: 28 mai. 2016.

TEIXEIRA, P. J. M.; PASSOS, C. C. M. Um pouco da teoria das situações didáticas (TSD) de Guy Brousseau. **Zetetiké: Revista de Educação Matemática**, Campinas, v. 21, n. 39, p. 155-168, 2013.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem aos discentes, do curso de graduação em Engenharia Civil da UESC, Leonardo Menezes, Mariana Gomes, Mateus Marinho e Pablo Santos, pela coparticipação na construção e execução do modelo didático reduzido do SPT.