

Considerações sobre a execução e a interpretação de ensaios SPT

Breno Padovezi Rocha (Doutorando)

USP, Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos, SP, Brasil, brenop@sc.usp.br

Thaise da Silva Oliveira Morais (Doutoranda)

USP, Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos, SP, Brasil, tsmorais@sc.usp.br

Roger Augusto Rodrigues (Professor)

UNESP, Faculdade de Engenharia de Bauru, Bauru, SP, Brasil, roger_ar@feb.unesp.br

Edmundo Rogério Esquivel (Professor)

USP, Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos, SP, Brasil, esquivel@sc.usp.br

Heraldo Luiz Giacheti (Professor)

UNESP, Faculdade de Engenharia de Bauru, Bauru, SP, Brasil, giacheti@feb.unesp.br

RESUMO

A grande maioria de obras que utilizam fundações diretas e profundas tem sido projetadas e executadas, no decorrer das últimas décadas, quase que exclusivamente com base em resultados de ensaios de penetração dinâmica – “Standard Penetration Test” (SPT) – realizados ao longo das sondagens a percussão. Entretanto, o ensaio SPT tem sido muito criticado devido a grande variedade de equipamentos e procedimentos para execução e o emprego de alguns métodos de interpretação pouco racional.

Este artigo tem por objetivo destacar alguns aspectos sobre a execução e interpretação do ensaio SPT, além de apresentar alguns recursos que podem ser incorporados a esse ensaio. Estes aspectos englobam a avaliação de resultados desse ensaio em solos não saturados, a medida de energia transferida ao amostrador, a medida do comprimento da amostra de solo recuperada no interior do amostrador para se avaliar a resistência de ponta (r_p) e de atrito lateral (r_L) e a medida da velocidade da onda cisalhante (V_s) em conjunto com o SPT. Tais recursos propiciam um maior controle e confiabilidade nos resultados obtidos com esse ensaio SPT e uma abordagem mais racional no uso de seus resultados.

PALAVRA-CHAVE: Variabilidade, energia, embuchamento, sísmica, solos não saturados

ABSTRACT

Over the last decades, the vast majority of engineering jobs using shallow and deep foundations have been designed and implemented exclusively based on dynamic penetration tests results – “Standard Penetration Test” (SPT) – carried out during split-barrel sampling of soils. However, the SPT test is criticized due to the wide variety of equipment and procedures for its execution, and the use of some not very rational interpretation methods.

The aim of this paper is at highlighting some performance and interpretation aspects of the SPT test and to present some features that can be incorporated to it. These aspects include the data assessment in unsaturated soils, the measurement of the energy transferred to the sampler, the measurement of soil sample recovered inside the sampler to assess the tip resistance (r_p), sleeve friction (r_L) and the measurement of the shear waves velocity (V_s) together with the SPT. These features provide greater control and reliability of the obtained results and more rational approach to their use.

KEYWORDS: Variability, energy, soil sample recovered, seismic, unsaturated soils

INTRODUÇÃO

A elaboração e concepção de projetos geotécnicos em geral e de fundações em particular exigem um conhecimento adequado das propriedades e dos parâmetros geotécnicos dos solos. A princípio, a classificação e a identificação das diversas camadas do subsolo, assim como a estimativa das suas propriedades e parâmetros de engenharia devem ser feitos. A determinação de parâmetros geotécnicos pode ser feita por meio de ensaios de laboratório ou de campo.

Os ensaios de campo apresentam como principais vantagens o fato de serem mais econômicos, permitir a realização de uma maior quantidade e abrange um maior volume de solo, permitindo assim uma caracterização mais detalhada do solo, além do fato de que os resultados ficam prontamente disponíveis.

Entre os ensaios de campo mais utilizados no reconhecimento das condições do subsolo e na estimativa de seus parâmetros para projetos geotécnicos está o *Standard Penetration Test* (SPT). No Brasil esse ensaio é regido pela NBR 6484/2001. Esse ensaio se constitui em uma medida de resistência dinâmica conjugada a uma sondagem de simples reconhecimento. Entretanto, diversos fatores influenciam seus resultados, tais como técnicas de perfuração, os procedimentos de ensaios, os equipamentos (transferência de energia), tipo de solo além da condição saturada ou não saturada do solo.

Este tipo de sondagem permite a obtenção de perfis estratigráficos, posição do nível d'água, tipo de solo, a indicação da densidade relativa de solos granulares e também é aplicado na identificação da consistência de solos coesivos. Métodos rotineiros de projeto de fundações diretas e profundas usam resultados de SPT para a previsão da tensão admissível, e correlações com outras propriedades geotécnicas.

Neste trabalho serão feitas algumas considerações sobre a realização de sondagens SPT, do ponto de vista da variabilidade dos resultados. Além disso, serão apresentados possíveis melhoramentos na realização do ensaio SPT como: a medida de energia que chega ao amostrador; medida do embuchamento; medida do teor de umidade do solo e medida da velocidade de onda cisalhante (V_s).

VARIABILIDADE EM SONDAGENS SPT

O ensaio SPT apresenta como vantagens sua simplicidade, grande experiência, baixo custo e a determinação de um valor numérico (N_{SPT}) que pode ser empregado na determinação de parâmetros geotécnicos em conjunto com a realização da sondagem de simples reconhecimento. Apesar disso, existem diferentes técnicas de perfuração, equipamentos e procedimentos de ensaio, acarretando em uma falta de uniformidade que pode afetar os resultados do ensaio.

Entre os principais fatores que podem influenciar no valor do N_{SPT} destacam-se o estado de conservação do amostrador-padrão e das hastes, variação na energia de cravação, perfuração revestida e não preenchida totalmente com água, ensaio executado dentro da região revestida, reforçando a necessidade de utilização de procedimentos padronizados [22].

A fim de avaliar a variabilidade de resultados de ensaios SPT, a Figura 1 apresenta a variação dos valores N_{SPT} com a profundidade em dezessete sondagens realizadas por quatro empresas distintas no Campo Experimental de Fundações da Escola de Engenharia de São Carlos (USP – São Carlos). Verifica-se que desde as camadas superiores ocorre a mesma tendência de aumento de N_{SPT} com a profundidade. Entretanto, a dispersão é nítida, que contempla valores determinados por empresas diferentes, com eficiências, operadores e épocas de realização distintas.

O campo experimental da USP – São Carlos encontra-se assente sobre os Sedimentos Cenozóicos, que segundo Vilar [23], sofreu ação do intemperismo sob condições climáticas típicas de região tropical, o que provocou no material o processo de laterização. Esses solos são muito porosos, facilmente erodíveis, e colapsíveis quando carregados e inundados. Segundo De Mío [14], solos tropicais apresentam grande variabilidade natural no perfil geotécnico devido aos diferentes graus de alteração e conseqüentemente diferentes características geotécnicas. Além desse fato, a variabilidade dos resultados de ensaios SPT é função também dos equipamentos e procedimentos adotados durante sua execução.

A fim de procurar melhor avaliar a variabilidade observada (Figura 1) tem-se nas Figuras 2.a e 2.b respectivamente o desvio padrão (σ) e coeficiente de variação (CV) para os valores de N_{SPT} , a cada metro de profundidade, para todas as empresas (Geral) e para cada uma delas isoladamente. O desvio padrão médio e o coeficiente de variação médio das dezessete sondagens foram de 3,6 e 37%, respectivamente.

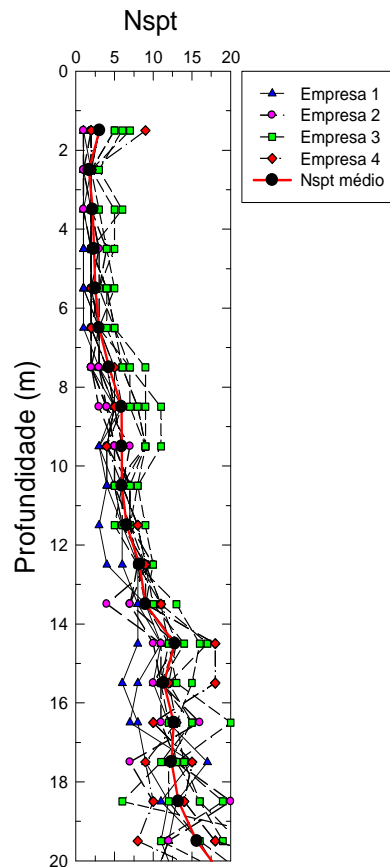


Figura 1: Resultados de todas as dezessete sondagens SPT realizadas por quatro empresas no campo experimental da USP-São Carlos

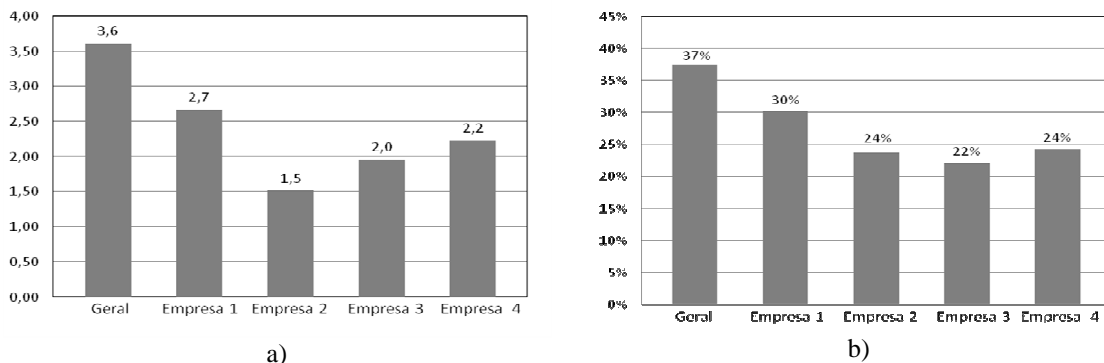


Figura 2. Desvio Padrão médio (a) e Coeficiente de Variação médio (b) dos valores de N_{SPT} para o conjunto de todas as empresas (geral) e por empresa.

Considerando apenas os valores de N_{SPT} medidos por uma mesma empresa observa-se uma menor variabilidade nos resultados (Figuras 2a e 2.b). Para a Empresa 1 σ foi 2,7 e CV foi 30%. A Empresa 2 apresentou um menor desvio padrão ($\sigma = 1,5$) e um coeficiente de variação de 24%. Já, para a Empresa 3 tem-se um desvio padrão de 2,0 e CV de 22%, enquanto a Empresa 4 o valor de σ é de 2,2 e do CV é 24%. Possíveis justificativas para tais variações podem ser uma maior ou menor uniformização de procedimentos e equipamentos empregados por cada empresa.

A necessidade da utilização de procedimentos e equipamentos padronizados é fundamental para garantir que as variações observadas nos valores de N_{SPT} sejam de fato devido ao solo. A seguir serão apresentados alguns recursos disponíveis que permitem uma melhor execução e interpretação dos resultados desse ensaio. Eles são as medidas de: energia fornecida pelo golpe do martelo, teor de umidade do solo, recuperação do solo no amostrador SPT (embuchamento) e velocidade de propagação da onda cisalhante (V_s).

INFLUÊNCIA DA UMIDADE NOS VALORES DE SPT

Em solos não saturados mudanças de umidade ocorrem sazonalmente decorrentes de ciclos de umedecimento e secagem. Tais mudanças dependem das características do solo e das condições atmosféricas da região. As propriedades dos solos não saturados dependem não apenas da história geológica e do ambiente de formação, mas também pela variabilidade temporal, pois a sucção varia ao longo do tempo em função dos fenômenos meteorológico-atmosféricos [9, 10, 11], tais como: precipitação, evaporação, troca de calor e radiação entre o solo e a atmosfera.

Tendo em vista as peculiaridades dos solos não saturados, alternativas relativamente simples poderiam ser incorporadas para uma melhor interpretação dos resultados de sondagens SPT, como a determinação da umidade do solo durante a etapa da investigação do subsolo e conhecimento da curva de retenção de água no solo ou curva característica em laboratório.

Na Figura 3.a são mostrados resultados de ensaios de curva de retenção de água no solo e na Figura 3.b têm-se perfis de umidade obtidos de agosto de 2011 a outubro de 2012 na cidade de Bauru-SP, onde o solo é uma areia pouco argilosa, porosa e colapsável.

Em geral, a umidade varia ao longo da profundidade e do tempo. A maior variação ocorre próximo à superfície do terreno, onde o solo interage com a atmosfera, e diminui com o aumento da profundidade. Na figura 3.b observa-se que a variação da umidade limita-se a um intervalo que mantém o solo em condição não saturada ao longo do tempo com umidades, em geral, inferiores a 10%. Este comportamento, associado ao fato do solo possuir grandes vazios e baixa capacidade de retenção de água, pode explicar a razão pelo qual nos períodos mais úmidos não se têm sucções iguais à zero na superfície do terreno, pois o solo necessita de grande quantidade de água para ser saturado, onde a umidade deve aumentar de 10% para acima de 24% (Figura 3.a).

Em relação aos perfis de umidade (Figura 3.b), nota-se uma maior variação próxima a superfície do terreno (nov-11). Já a curva de jan-12 mostra que a umidade continua elevada próximo à superfície, e que a água percola atingindo maior profundidade no perfil devido às precipitações que ocorrem no período de outubro a janeiro. Já nas curvas de ago-11 e de out-12, as precipitações são menos intensas e o perfil de umidade é afetado pela evaporação da água no solo.

Na região de Bauru-SP grande parte do solo superficial quando é umedecido tem uma redução de sua capacidade de suporte, inviabilizando o emprego de fundações que se apoiam nas camadas mais superficiais. Este comportamento tem afetado o desempenho de muitas construções assentes neste solo, especialmente o das edificações de pequeno e médio porte. Como a umidade do solo varia inversamente com a sucção e esta tem sido apontada como uma importante variável no estudo dos solos não saturados seria de grande importância que medidas de umidade fossem realizadas na etapa de investigação do subsolo.

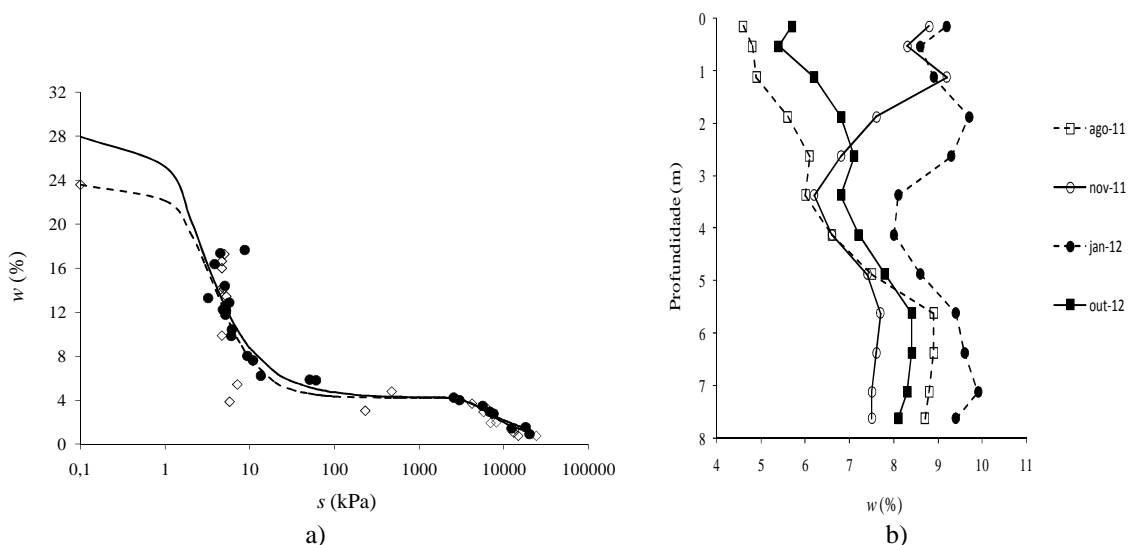


Figura 3. (a): Curvas de retenção de água do solo de Bauru-SP; (b): Perfis de umidade do solo de Bauru-SP.

MEDIDA DE ENERGIA EM ENSAIOS SPT

A partir da década de 70 diversos pesquisadores concentraram seus estudos no controle e conhecimento da energia envolvida na cravação do amostrador no solo [21, 7, 8, 3, 8 4, 15, 16, 17]. Inicialmente, os estudos concentraram-se na energia incidente no sistema haste-amostrador-solo, a qual era monitorada logo abaixo do plano de impacto entre o martelo e a cabeça de bater (ENTHRU).

Aoki e Cintra [3] enfatizam que a parcela de energia que é responsável pela cravação do amostrador no solo não equivale a ENTHRU, mas sim a energia referente a uma seção situada no topo do amostrador padrão. Assim, os autores defendem que a energia correspondente ao índice N_{SPT} deve ser determinada no instante em que a onda de compressão atinge o topo do amostrador ($E_{amostrador}$), de forma a considerar todas as perdas ocorridas ao longo da cravação do amostrador no solo.

Com base no Princípio da Conservação de Energia de Hamilton, Aoki e Cintra [3] definem o conceito de eficiência do ensaio SPT através da relação entre a máxima energia transferida ao sistema amostrador-solo ($E_{amostrador}$), determinada a partir do instante no qual a onda de compressão atinge o topo do amostrador, e a energia potencial teórica (EP_T) (Equação 1).

$$\eta^* = \frac{E_{amostrador}}{EP_T} \times 100 (\%) \quad (1)$$

Odebrecht [18] propôs corrigir EP_T , de modo a considerar as variações das energias potenciais da haste e do martelo devido ao movimento descendente ocasionado pela penetração no solo, em relação a um referencial fixo e externo ao sistema. Assim, ao considerar um referencial fixo e externo ao sistema, a energia potencial total disponível durante o golpe ($EP_{sistema}$) pode ser representada pela variação entre as energias potenciais iniciais e finais da haste e do martelo (Equação 2). Assim, considerando a proposta de Odebrecht [18], é possível redefinir a Equação 1 (Equações 3), de forma a considerar o acréscimo na energia potencial disponível ao sistema.

$$EP_{sistema} = EP_T + (M_m \times g \times \Delta\rho) + (M_h \times g \times \Delta\rho) \quad (2)$$

$$\eta^* = \frac{E_{amostrador}}{EP_{Sistema}} \times 100 (\%) \quad (3)$$

onde: M_m : massa do martelo (kg), M_h : massa da composição de hastes (kg), g : aceleração da gravidade e $\Delta\rho$: penetração permanente do amostrador (m).

A Figura 4 apresenta resultados de ensaios SPT realizados segundo a NBR 6484 [2], utilizando um equipamento de sondagem tradicional, de acionamento manual e corda sintética. Os ensaios SPT foram executados com o monitoramento da energia a cada golpe do martelo, em duas posições distintas ao longo da composição de hastes (topo e base). A sondagem de simples reconhecimento referente aos ensaios da Figura 4 foi realizada no Campo Experimental de Mecânica dos Solos e Fundações da Feagri/Unicamp, com 20 m de profundidade.

O equipamento utilizado para o monitoramento da energia foi desenvolvido na EESC/USP por Lukiantchuki [15], e consistiram em dois segmentos de haste com 0,35 m de altura, com uma célula de carga e um par de acelerômetros (em cada segmento). O equipamento tem um sistema de aquisição de dados com uma taxa de aquisição de 96 kHz por canal de leitura, que é indicado para o monitoramento de eventos dinâmicos.

Para os ensaios SPT apresentados, a eficiência média obtida para o topo da composição foi de 65,9%, com desvio padrão de 3,7% e coeficiente de variação de 5,6%. Já para a eficiência determinada na base (topo do amostrador), segundo a proposta de Aoki e Cintra [3], obteve-se um valor médio de 62%, com desvio padrão de 4,3% e coeficiente de variação de 6,9%.

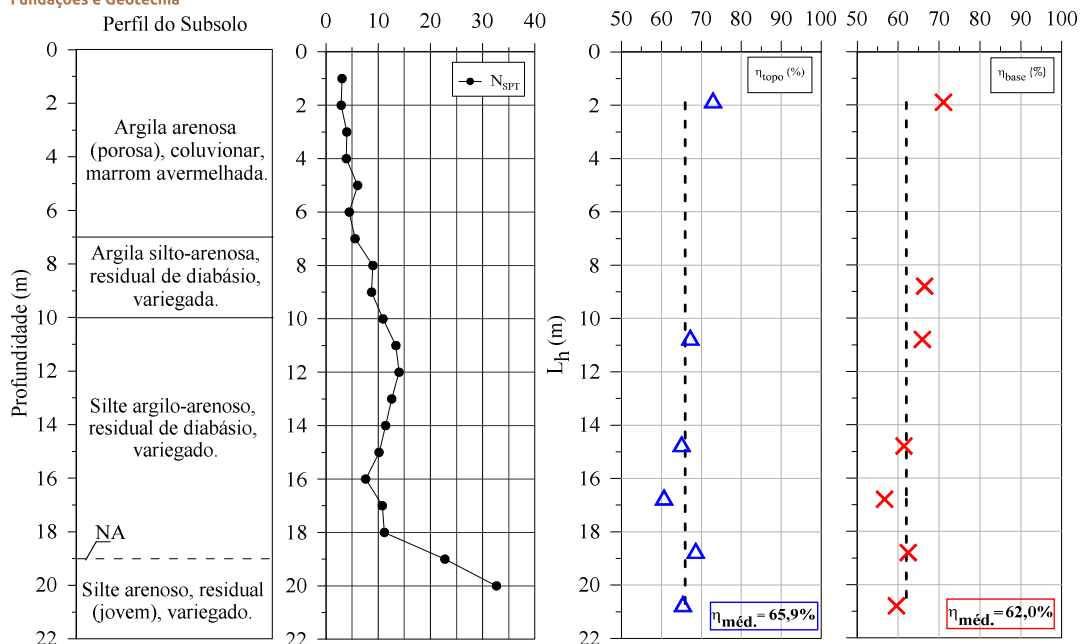


Figura 4: Valores de N_{SPT} e eficiência dos ensaios realizados (Morais [17]).

DETERMINAÇÃO DAS REAÇÕES NO SISTEMA SOLO-AMOSTRADOR

Os mecanismos de reação no sistema solo-amostrador dependem essencialmente da ocorrência ou não do fenômeno do embuchamento da amostra de solo no interior do amostrador. Este fenômeno pode ocorrer no amostrador do SPT, e é similar ao que ocorre no caso de estacas cravadas de ponta aberta. O embuchamento está relacionado ao desenvolvimento de forças relacionadas à inércia da bucha de solo, ao atrito que surge na parede interna do amostrador e à resistência de ponta desenvolvida abaixo da bucha [5].

Para o caso do ensaio SPT, assume-se que ocorreu embuchamento da amostra no amostrador, quando o comprimento recuperado (L_{int}) é inferior a 0,45m. Neste caso, a força de reação no núcleo não foi superior ao atrito que surgiu entre a bucha de solo e a parede interna do amostrador, de forma a não causar uma penetração adicional de solo no interior do amostrador.

Aoki [5] desenvolveu uma metodologia que utiliza a medida do comprimento da amostra de solo recuperada (L_{int}) no amostrador SPT (Figura 5.a), para fins de interpretação da resistência de ponta (r_p) e de atrito lateral (r_L) durante a cravação do amostrador padrão no ensaio SPT

Esta metodologia foi elaborada com base no Princípio de Conservação de Energia de Hamilton e na Teoria da Equação de Onda, e permite a estimativa da capacidade de carga, sendo desenvolvida a partir do equilíbrio estático entre as forças atuantes no amostrador. A Figura 5.b apresenta o equilíbrio estático das forças de reação que atuam no amostrador SPT devido à cravação no solo idealizado por Aoki [5]. As reações apresentadas são a resistência por atrito lateral ao longo das paredes interna, externa e na seção troncocônica do chanfro do amostrador padrão, sendo: r_{LE} o atrito na parede externa e no chanfro do amostrador, e r_{LI} , atrito na parede interna do amostrador. Assim, as forças resultantes no amostrador são:

- R1 – força de atrito na parede vertical externa do amostrador;
- R2 – força de atrito na parede vertical interna do amostrador;
- R3 – força de reação vertical na seção anelar da ponta do amostrador-padrão;
- R4 – componente vertical da força de atrito ao longo da superfície biselada troncocônica do amostrador.

O dimensionamento de estacas pode ser realizado conhecendo-se os valores de: eficiência do ensaio SPT (η^*), referente a uma seção situada no topo do amostrador padrão, segundo a proposta de Aoki e Cintra (2000); de N_{SPT} ; comprimento da amostrada de solo recuperada (L_{int}) e do fator de atrito (a). O fator de atrito é definido por Aoki [5] como a razão entre os atritos interno e externo que surgem no amostrador ($a = r_{LI}/r_{LE}$).

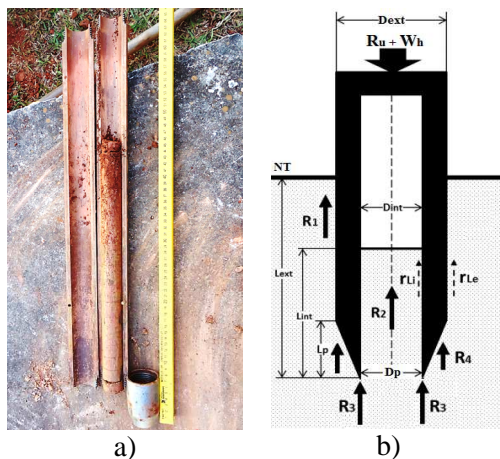


Figura 5: (a) Recuperação do solo no amostrador SPT e obtenção de L_{int} ; (b) equilíbrio estático das forças atuantes no amostrador (adaptado de Aoki [3]).

Resultados de sondagens SPT realizadas nos campos experimentais da Unicamp (Campinas) e da USP (São Carlos) foram utilizados para a determinação do atrito lateral (r_L) que surge durante a penetração do amostrador no solo. Estes valores foram comparados com os valores de atrito lateral (f_s) medidos em ensaios CPT elétrico e mecânico (Figura 6.a e 6.b). Nessas figuras é possível observar que até a profundidade de 6 metros os valores de atrito lateral são semelhantes. Para o campo experimental da Unicamp os valores de f_s obtidos a partir dos ensaios SPT e do cone elétrico estão muito próximos, fato menos pronunciado para São Carlos. Para ambos os campos experimentais, os valores de f_s obtidos pelo ensaio de cone mecânico foram maiores do que os determinados pelo ensaio SPT e cone elétrico. Este fato pode ser explicado pela resistência extra no bordo inferior da luva de atrito do cone de Begemann, aspecto já constatado por outros autores.

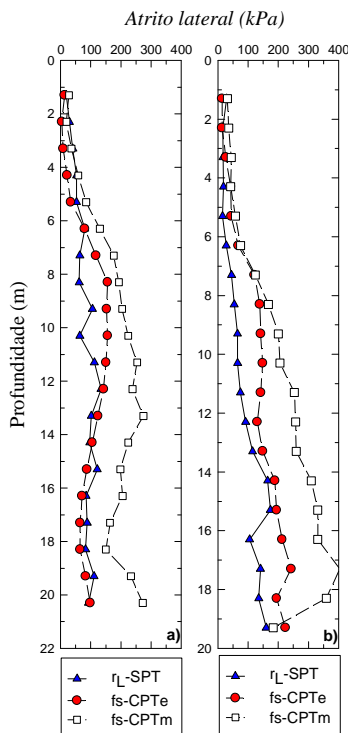


Figura 6: Valores do atrito na parede externa do amostrador SPT e atrito lateral medidos em ensaios de Cone Elétrico e Mecânico para os campos experimentais: (a) Unicamp, em Campinas, e (b) USP, em São Carlos.

SPT SÍSMICO

A velocidade de propagação da onda cisalhante (V_s), e consequentemente o módulo de cisalhamento máximo (G_o), é considerado um parâmetro fundamental do solo para a avaliação do comportamento de fundações e obras de terra quando sujeitas a solicitações dinâmicas (terremotos, vibrações de máquinas, ondas, explosões). Este parâmetro (G_o) pode ser determinado em laboratório através de ensaios de coluna ressonante por exemplo, ou em campo, por meio de ensaio cross-hole e down-hole.

Em projetos de fundações submetidas a solicitações dinâmicas são realizados frequentemente ensaios SPT para a determinação do perfil estratigráfico, nível d'água e o valor de N_{SPT} e ensaios sísmicos cross-hole ou down-hole para a determinação dos parâmetros dinâmicos. Deste modo, seria interessante determinar o G_o em conjunto com o N_{SPT} .

Bang e Kim [6] e Pedrini [19] demonstraram a possibilidade de se incorporar a medida da velocidade de ondas cisalhantes ao ensaio SPT, através da utilização da técnica *up-hole*, o denominado SPT sísmico (S-SPT). Este ensaio possibilita a definição do perfil estratigráfico, estimar parâmetros geotécnicos e determinar do módulo de cisalhamento máximo (G_o) em um único ensaio.

Para a realização do ensaio utiliza-se o mesmo equipamento do ensaio SPT, incorporando geofones instalados em caixas apropriadas na superfície, um sistema de aquisição de dados, sistema de acionamento (*trigger*) e fonte sísmica. Na Figura 7 tem-se uma representação esquemática do ensaio S-SPT.

Como fonte sísmica, seguindo as recomendações de Pedrini [19], utilizou-se um martelo de mão de aproximadamente 2 kg. O sistema de gatilho (*trigger*) é acionado no momento do golpe desse martelo na cabeça de bater do ensaio SPT. Para o registro dos sinais das ondas propagadas são instaladas seis caixas fixas em superfície contendo dois geofones cada, espaçadas de dois em dois metros, um orientado para captar os sinais na direção vertical e outra na direção horizontal. Para o acionamento do *trigger*, registro das ondas S, processamento dos sinais e determinação das velocidades foi desenvolvido um software em plataforma Labview e Matlab por Pedrini [19].

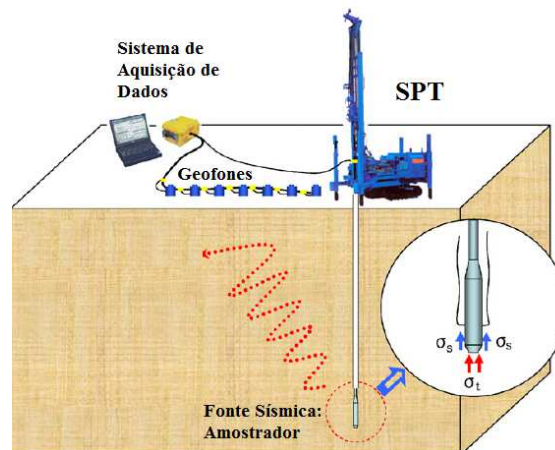


Figura 7: Representação esquemática do ensaio S-SPT (Bang e Kim [6])

Um ensaio S-SPT foi realizado no campo experimental da Escola de Engenharia da USP de São Carlos visando avaliar o emprego da técnica do S-SPT e determinar o perfil de velocidade de onda cisalhante (V_s), e consequentemente G_o [20]. A Figura 8.a apresenta os sinais registrados, a cada metro, pelo geofone horizontal localizado a 12 metros do furo de sondagem, com o ponto característico da curva utilizados na determinação do tempo de chegada da onda S. Na Figura 8.b são apresentados os resultados de um S-SPT, ou seja o perfil de N_{SPT} e da velocidade V_s média e módulo G_o de metro em metro.

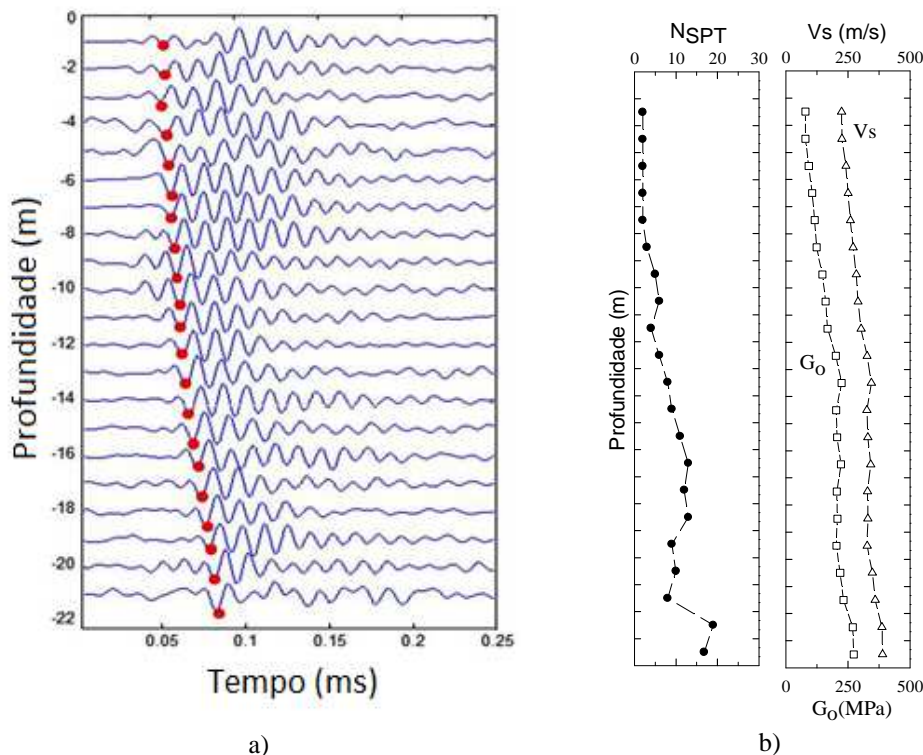


Figura 8: (a) Sinais sísmicos registrados, a cada metro, pelo geofone horizontal localizado a 12 metros do furo de sondagem; b) Valores de Nspt, Vs e G_o vs profundidade na USP – São Carlos (Rocha [20]).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Dentre os diversos ensaios de campo disponíveis comercialmente, a Sondagem de Simples Reconhecimento com SPT tem sido empregado em todo o mundo, em especial no Brasil, devido a sua simplicidade, experiência, robustez e rapidez na determinação de perfis estratigráficos, da posição do nível d'água e caracterização geomecânica dos solos. Entretanto, sua utilização para definição de parâmetros de projeto é criticada devido a diversos fatores que afetam o resultado desse ensaio como equipamentos, procedimentos e condições do solo.

O conhecimento da eficiência dos diferentes equipamentos utilizados nas sondagens SPT, da avaliação do efeito da condição não saturada e da medida do embuchamento possibilitam uma análise mais racional dos resultados do ensaio SPT. Além disso, a combinação da geofísica no ensaio S-SPT permite a determinação de um parâmetro para uso em projetos geotécnicos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] - American Society for Testing and Materials (ASTM). D4633-10: standard test method for energy measurement for dynamic penetrometers, West Conshohocken, PA, United States, 2010, 7p.
- [2] - Associação brasileira de normas técnicas (ABNT), NBR 6484 – Solo: sondagem de simples reconhecimento com SPT – Método de ensaio, 2001, 17 p, Rio de Janeiro.
- [3] - Aoki, N. & Cintra, J. C. A. (2000). The application of energy Conservation Hamilton's Principle to The Determination of Energy Efficiency in SPT Tests. In: International Conference On The Application Of Stress Wave Theory To Piles, 6, São Paulo, vol, 1, p 457-460.
- [4] - Aoki, N.; Esquivel, E. R.; Neves, L. F. S.; Cintra, J. C. A. (2007). The Impact Efficiency Obtained from Static Load Test Performed on The SPT Sampler, Soils and Foundation, v, 47, n, 6, p, 1045-1052.
- [5] - Aoki, N. (2012). Princípio de Hamilton aplicado ao Ensaio SPT. Seminário de fundações com solicitações dinâmicas. Universidade Federal Fluminense, Niterói.
- [6] - Bang, E. S. & Kim, D.S. (2007) Evaluation of shear wave velocity profile using SPT based up-hole method, Soil Dynamics and Earthquake Eng. 27, p.741-758.

- [7] - Belincanta, A. (1998) “Avaliação de Fatores Intervenientes no Índice de Resistência à Penetração do SPT”, Tese de Doutorado, EESC/USP.
- [8] - Belincanta, A. (1985) “Energia dinâmica no SPT – resultados de uma investigação teórico experimental”. Dissertação de Mestrado. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo/SP.
- [9] - Blight, G.E. (1997). Interactions between the atmosphere and the Earth. *Géotechnique*, 47, no. 4, 715-767 (Rankine Lecture).
- [10] - Blight, G.E. (2010). Soil heat and evaporation from soil. In: *Fifth International Conference on Unsaturated Soils, 2010, Barcelona/Spain. Proceedings of the Fifth International Conference on Unsaturated Soils*. London: Taylor & Francis Group, 2010. p. 1115-1119.
- [11] - Cui, Y.J., Lu, Y.F., Delage, P. and Riffard, M. (2005). Field simulation of in situ water content and temperature changes due to ground-atmospheric interactions. *Géotechnique*, 55, no. 7, 557-567.
- [12] - Danziger, B. R.; Velloso, D. A. (1986) Correlações entre SPT e os resultados dos ensaios de penetração contínua. VIII Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia de Fundações, Porto Alegre, p. 103-113
- [13] - Décourt, L. (1989) “The Standard Penetration Test”. State of the Art Report. *Anais do XII ICSMFE, Vol. IV*, pp. 2405 – 2416, Rio de Janeiro.
- [14] - De Mio, G. (2005) “Condicionantes geológicos na interpretação de ensaios de piezocone para identificação estratigráfica na investigação geotécnica e geoambiental”. Tese de Doutorado, EESC/USP.
- [15] - Lobo, B. O. (2009). “Mecanismo de penetração dinâmica em solos granulares”. Tese de Doutorado, UFRGS.
- [16] - Lukiantchuki, J. A. (2012). “Interpretação de resultados do ensaio SPT com base em instrumentação dinâmica”. Tese de Doutorado, EESC/USP.
- [17] - Moraes, T. S. O. (2014). “Interpretação racional de resultados de ensaios SPT com base em conceitos de energia”. Dissertação de Mestrado, EESC/USP.
- [18] - Odebrecht, E. (2003) “Medidas de Energia no Ensaio SPT”, Tese de Doutorado, UFRGS.
- [19] - Pedrini, R. A. A. (2012). “Desenvolvimento de sistema para realização de sísmica up-hole em conjunto com sondagem SPT”. Dissertação de Mestrado, FEB/UNESP
- [20] - Rocha, B. P. (2013) “Emprego do ensaio SPT sísmico na investigação de solos tropicais” Dissertação de Mestrado, EESC/USP
- [21] - Schmertmann, J. H. & Palácios, A. (1979). Energy dynamics of SPT. *Journal of the Geotechnical Engineering Division – ASCE*, v. 105, n. GT8, p. 909-926.
- [22] - Schnaid, F. (2000). Ensaio de campo e suas aplicações à engenharia de fundações. *Oficina de Textos*. São Paulo. Cap.2, p. 9 – 39.
- [23] - Vilar, O. M. (1979) “Estudo da Compressão Unidirecional do Sedimento Moderno (Solo Superficial) da Cidade de São Carlos-SP”, Dissertação de Mestrado, EESC/USP