

XVI ENCONTRO DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA

Universidade de Fortaleza
17 a 20 de outubro de 2016

Proposta de Aplicação de Resultados de Sondagens com Martelo Leve (DPL) em Projetos de Fundações para Pequenas Cargas

Leila Maria Coelho de Carvalho ^{*1} (IC), Fernando Feitosa Monteiro ² (PG), Yago Machado Pereira de Matos ³ (PG), Marcos Fábio Porto de Aguiar ⁴ (PQ), Francisco Heber Lacerda de Oliveira ⁵ (PQ).

1 Programa de Graduação em Engenharia Civil, Universidade de Fortaleza, Fortaleza-CE;

2 Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil (Geotecnia), Universidade Federal do Ceará, Fortaleza-CE;

3 Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil (Geotecnia), Universidade Federal do Ceará, Fortaleza-CE;

4 Professor de Graduação em Engenharia Civil, Instituto Federal do Ceará, Fortaleza-CE

5 Professor de Graduação em Engenharia Civil, Universidade de Fortaleza, Fortaleza-CE

yago_mpm@hotmail.com

Palavras-chave: Pequenas Edificações, Correlação, SPT, DPL.

Resumo

Em meio aos diversos métodos utilizados no Brasil para determinação da capacidade de carga em fundações, a grande maioria parte do índice de resistência à penetração (N_{spt}). Para pequenas edificações, devido a fatores, geralmente, econômicos, a experiência ou a prática regional costumam prevalecer. Sendo assim, são elaborados, muitas vezes, projetos sem um procedimento de cálculo fundamentado em parâmetros comprovados por ensaios, podendo ocasionar problemas na edificação, como recalques excessivos, ou, até mesmo, comprometer a segurança da estrutura. Dessa forma, técnicas mais simples e de baixo custo, como o DPL (Dynamic Probing Light), podem ser uma opção para situações de pequenas cargas, viabilizando projetos fundamentados em ensaios *in situ*. Essa técnica pode, também, ser uma opção para confirmação de características geotécnicas do subsolo em execução de fundações superficiais. Este trabalho tem o objetivo de correlacionar os parâmetros obtidos por investigações do tipo DPL com sondagens SPT (*Standard Penetration Test*) e verificar a sua eficiência. O DPL é um equipamento manual de pequeno porte que é destinado a sondagens de campo e cuja utilização ainda é recente e inusitada no Brasil. Por meio de resultados de campanhas de sondagens SPT e DPL no campo experimental da Universidade de Fortaleza (UNIFOR), realizou-se a determinação do índice N equivalente. Identificou-se uma correlação com coeficiente de determinação satisfatório entre os parâmetros obtidos nos ensaios SPT e DPL para o terreno em questão, mostrando-se o DPL ser uma alternativa pertinente, em termos técnicos e, possivelmente, econômicos, para projetos de fundações de obras de pequeno porte.

Introdução

Standard Penetration Test (SPT)

Cintra et al. (2013) afirmam que o SPT, sigla inglesa de *Standard Penetration Test*, é o ensaio mais utilizado em projetos de fundações no Brasil e, na maioria das vezes, o único. O SPT reside de uma medida de resistência dinâmica combinada a uma sondagem de simples reconhecimento. O referido ensaio penetrométrico, seguindo ABNT (2001), consiste basicamente na cravação de um amostrador normalizado, por meio de golpes de 65 kgf caindo de uma altura de 75 cm. Anota-se, então, o número de golpes necessários para cravar os 45 cm do amostrador em três contagens parciais para cada 15 cm. Em cada metro de sondagem, portanto, consegue-se obter o índice de resistência à penetração (N_{spt} ou N_{30}) que equivale à soma do número de golpes dos últimos 30 cm de penetração do amostrador.

Cone Penetration Test (CPT)

Ensaio considerado moderno e proveitoso para o projeto de fundações, o CPT deve, nos próximos anos, adquirir uma maior projeção no meio geotécnico por se tratar de uma técnica de execução simples que permite identificar o perfil do subsolo com resultados de excelente qualidade. O ensaio de penetração de

cone elétrico, segundo Cintra et al. (2013), consiste na penetração quase estática de uma ponteira cônica acoplada a um conjunto de hastes, com a monitoração quase contínua da resistência mobilizada, fornecendo medidas da resistência de ponta (q_c) e de atrito lateral (f_s), sendo esta uma vantagem sobre o ensaio SPT, cujos resultados não fazem distinção entre as parcelas de resistência. Essas medidas são utilizadas na estimativa de propriedades de resistência e deformabilidade do solo.

Dynamic Probing Light (DPL)

O ensaio de DPL ou Penetrômetro Dinâmico Leve, especificado na Referência Internacional para Procedimentos de Ensaio para Sondagem Dinâmica (DP) (ISSMFE, 1989), é, de acordo com Passos (2005), um equipamento manual de pequeno porte, projetado para uso em sondagens *in situ* com profundidade máxima de 21 m, e, essencialmente, utilizado em solos não coesivos. Mota (2003) afirma que as características geométricas e o peso do material são especificados por DIN (1991), enquanto ISSMFE (1989) define metodologia do ensaio. Bastante parecido com o SPT, o ensaio de DPL consiste em medir a quantidade de golpes desferidos para cravar uma ponteira em forma de cone por meio da queda livre de um martelo com massa de 10 kg caindo de uma altura de 50 cm. A resistência à penetração (N_{10}) é definida como o número de batidas necessário para conduzir o penetrômetro (cone) ao longo de 10 cm. A Figura 1 esclarece o procedimento.

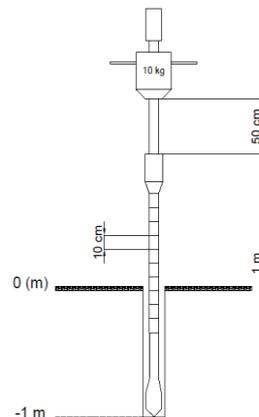


Figura 1. Esquema da sondagem DPL (Matos, 2015).

Além do número de golpes, realiza-se, normalmente a cada metro, a medida do atrito lateral da ponteira cônica, que pode ser obtido através do giro do equipamento. Utiliza-se, assim, um torquímetro para medir os torques máximo ($M_{máx}$) e residual (M_{res}) do ensaio. Como critério de paralisação, Nilsson (2004) sugere que o ensaio deve ser interrompido quando se observar o valor de $N_{10} > 60$ golpes em cinco segmentos sucessivos (50 cm) ou quando $N_{10} > 80$ golpes em três segmentos consecutivos (30 cm) ou quando $N_{10} > 100$ golpes em um segmento (10 cm). Passos (2005) adverte que o fator que limita a cravação do equipamento é a resistência do solo, que estabelece a energia que deve ser aplicada nas hastes. Logo, a energia de um golpe é igual à massa do martelo vezes a aceleração da gravidade multiplicada pela altura de queda ($M \times g \times H$). Esse fato, ainda de acordo com Passos (2005), faz do DPL um ensaio muito adequado para projetos de pequeno e médio porte, servindo de complementação e correlação com outras sondagens. É, portanto, ideal para ser utilizado em locais de difícil acesso, tais como: várzeas, taludes e lugares fechados. Trata-se de um método *in situ* muito econômico e fácil de usar.

Determinação da Estratigrafia do Terreno Utilizando DPL

O DPL, segundo Mota (2003), pode ser classificado, quanto à forma de cravação, entre o CPT (estática) e o SPT (dinâmica), pois, apesar de ser um ensaio dinâmico, a energia aplicada é pequena (10 kg com altura de queda de 50 cm). Devido a essa baixa energia (aproximadamente 50 J) o ensaio pode ser considerado semiestático. A energia aplicada às hastes e o registro contínuo de resultados (a cada 10 cm)

tornam o DPL mais correlacionável com o CPT. A determinação da estratigrafia do terreno pode, então, ser feita de forma indireta pelo método proposto por Robertson e Campanella (1983) para o ensaio de cone, relacionando a razão de atrito (FR) com a resistência de ponta (q_c) e o tipo de solo, como mostra a Figura 2.

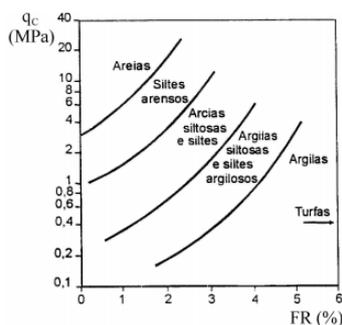


Figura 2. Relação entre razão de atrito, resistência de ponta e tipo de solo (Robertson e Campanella, 1983).

A resistência de ponta, no caso do DPL (q_d), pode ser obtida através da fórmula sugerida por ISSMFE (1989):

$$q_d = \left(\frac{M_m}{M_m + M'} \right) \left(\frac{M_m g h}{A e} \right)$$

Em que M_m e M' são, respectivamente, a massa do martelo e a massa total da composição de hastes, cabeça de bater e haste guia. h é a altura de queda do martelo, e é a penetração média por golpe, A é a área da base do cone e g é a aceleração da gravidade. Considerando a área de contato do cone com o solo (A), o braço de alavanca do cone (l) de, aproximadamente, 18 mm e o momento residual (M_{res}) obtido no ensaio de torquímetro, o atrito lateral (f_s) pode ser estimado pela equação:

$$f_s = \frac{M_{res}}{A l}$$

Finalmente, a razão de atrito (FR) é definida como a relação entre o atrito lateral e a resistência de ponta:

$$FR = \frac{f_s}{q_d}$$

Correlações entre N_{10} e N_{spt}

Considerando a utilização acentuada do SPT para investigar o subsolo e a existência de diversos métodos de dimensionamento de fundações que partem de seus resultados, foram elaboradas algumas proposições que correlacionam os parâmetros obtidos no DPL (N_{10}) e no SPT (N_{spt}). DIN (2003) sugere a seguinte expressão para solos granulares acima do nível d'água quando $3 \leq N_{10} \leq 50$:

$$N_{spt} = 1,4 N_{10}$$

DIN (2003) propõe, também, uma equação para solos finos de baixa e média plasticidade acima do nível d'água quando $2 \leq N_{10} \leq 30$:

$$N_{spt} = 0,6 N_{10}$$

Vale ressaltar que, no Brasil, alguns autores, partindo da realização de investigações com DPL e SPT, desenvolveram correlações entre os resultados desses ensaios para diferentes localidades. Entre eles, destaca-se o estudo feito por Nilsson (2004). Contudo, essas expressões, ainda, são específicas de cada região. Sanchez et al. (2010) abordam uma comparação entre diferentes procedimentos de aplicação dos resultados do DPL para obtenção de correlações com o N_{spt} . Assim, eles determinaram equações distintas utilizando a soma de N_{10} nos 30 cm finais de cada metro e as médias de N_{10} a cada metro e, também, nos últimos 30 cm de cada metro.

Metodologia

O presente trabalho utilizou livros da área de geotecnia, teses, dissertações, artigos científicos e normas técnicas para a realização da revisão bibliográfica. Na sequência, foi feita a caracterização de amostras do

campo experimental da Universidade de Fortaleza (UNIFOR) e o acompanhamento das sondagens SPT. Antes da confecção do equipamento DPL, foi feita a pesquisa de resultados de investigações e trabalhos científicos. As campanhas dos ensaios DPL foram, então, realizadas e os métodos para aplicação do valor índice N equivalente escolhidos. Finalmente, foi verificada a eficiência da sondagem com martelo leve por meio do Método dos Mínimos Quadrados.

Resultados e Discussão

O presente estudo busca correlacionar os parâmetros obtidos por investigações do tipo DPL com sondagens SPT (*Standard Penetration Test*) e verificar a sua eficiência para pequenas edificações. As sondagens foram executadas no campo experimental da Universidade de Fortaleza (UNIFOR) conforme Figura 3.



Figura 3. Localização do campo experimental no campus da UNIFOR.

A disposição dos furos de sondagens, Figura 4, foi feita considerando 3 sondagens SPT executadas até o impenetrável e 6 DPL atingindo, todos, profundidades de 7 m.

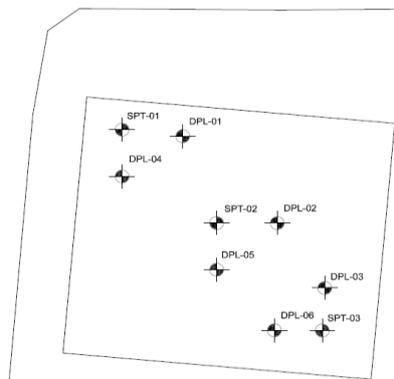


Figura 4. Localização dos furos de sondagens.

Os valores obtidos das campanhas de SPT e DPL são apresentados nas Figuras 5 e 6.

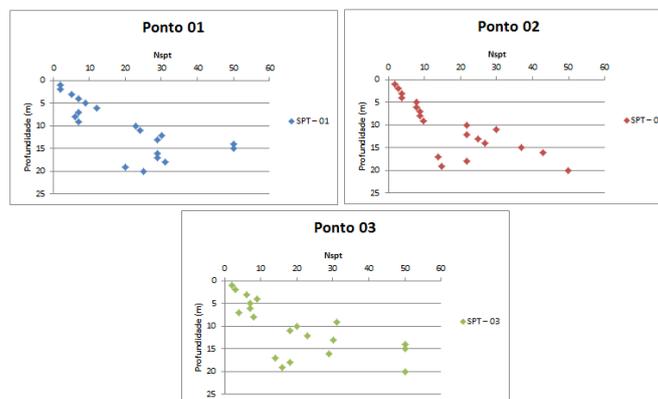


Figura 5. Resumo dos ensaios SPT no campo experimental da UNIFOR.

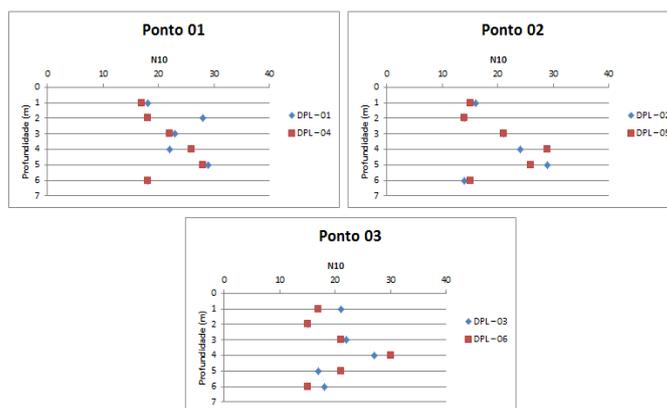


Figura 6. Resumo dos ensaios DPL no campo experimental da UNIFOR.

Partindo dos resultados obtidos nas sondagens SPT e DPL, determinou-se, por regressão linear, a equação que propõe uma correlação geral entre os parâmetros dos dois ensaios. Para isso, os valores N_{spt} foram comparados com a média dos golpes N_{10} na faixa de influência do SPT, ou seja, na cota em que se estima o número de batidas necessário para penetrar os últimos 30 cm do amostrador. Assim, considerou-se a média dessas medidas para cada metro de sondagem. Por exemplo, para um ensaio SPT iniciado na cota de 1 m até a profundidade de 1,45 m, o índice do DPL adotado consiste na média das medidas obtidas nas profundidades de 1,20 m e 1,30 m. Vale ressaltar que, devido à existência de variação de estratigrafia do solo no último metro (6 m) com relação às camadas sobrejacentes, não foram levadas em consideração as médias dessa profundidade na obtenção da expressão. A Tabela 1 esclarece a metodologia adotada.

Tabela 1. Valores de N_{spt} e N_{10} considerados na determinação da correlação geral.

Profundidade (m)	SPT (média)	DPL (média)	Tipo de solo
1	2	17	Areia siltosa
2	3	17	Areia siltosa
3	5	22	Areia siltosa
4	7	26	Areia siltosa
5	8	25	Areia siltosa
6	9	16	Silo argiloso

Com esse conjunto de dados, foi ajustada uma linha de tendência que possibilitou definir o coeficiente de determinação e a equação de correlação geral entre os valores N_{spt} e N_{10} (Figura 7), cuja simplificação fornece a expressão para areias siltosas do campo experimental da UNIFOR:

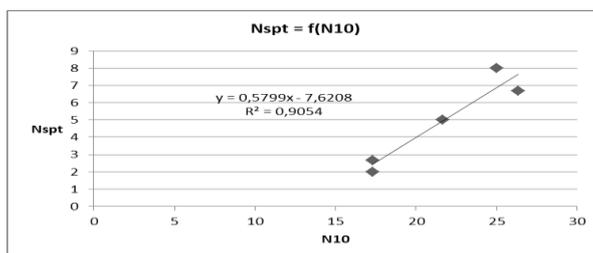


Figura 7. Equação de correlação geral entre N_{spt} e N_{10} .

$$N_{spt} = 0,6N_{10} - 7,6$$

Conclusão

Por meio dos cálculos realizados, identificou-se uma correlação com o coeficiente de determinação satisfatório entre os parâmetros obtidos nos ensaios SPT e DPL para o terreno em questão, mostrando-se o DPL ser uma alternativa pertinente, em termos técnicos e, possivelmente, econômicos, para projetos de fundações de obras de pequeno porte. Contudo, é importante salientar que, apesar de a equação de

correlação geral ter apresentado uma boa estimativa do valor N_{spt} , é necessário cautela na utilização da referida expressão, pois é importante atentar-se para o fato de ela relacionar dois ensaios que foram realizados em períodos diferentes, cujos dispositivos e metodologias de execução não são equivalentes, provavelmente, com eficiências também distintas e que transpõem um material não homogêneo, o solo. Com isso, recomenda-se, para estudos posteriores, a realização de mais ensaios SPT e DPL no campo experimental e em outras localidades para o aprimoramento das fórmulas e das metodologias adotadas neste trabalho. Sugerem-se, ainda, a aplicação do DPL no dimensionamento de fundações e o estudo da viabilidade econômica do referido ensaio.

Referências

- Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2001). *NBR 6484: Solo – Sondagens de simples reconhecimento com SPT – Método de ensaio*. Rio de Janeiro: ABNT.
- Cintra, J. C. A. et al. *Fundações: Ensaios estáticos e dinâmicos*. São Paulo: Oficina de Textos, 2013.
- Deutsches Institut Für Normung. (1991). *DIN 4094: Erkundung und Untersuchung des Baugrunds*. Berlin: Beuth.
- Deutsches Institut Für Normung. (2003). *DIN 1054: Sicherheitsnachweise im Erd- und Grundbau*. Berlin: Beuth.
- International Society For Soil Mechanics And Foundations Engineering. (1989). *Report of the ISSMFE technical committee on penetration testing of soils – TC 16 with reference test procedures: International reference test procedure for dynamic probing (DP)*. Linköping: Swedish Geotechnical Society. 49 p.
- Matos, Y. M. P. (2015). *Verificação da aplicação de sondagens com o Penetrômetro Dinâmico Leve (DPL) em projetos de fundações para pequenas edificações*. 90 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Centro de Ciências Tecnológicas, Universidade de Fortaleza, Fortaleza.
- Mota, N. M. B. (2003). *Ensaio avançados de campo na argila porosa de Brasília: interpretação e aplicação em projetos de fundação*. 335 f. Tese (Doutorado) - Curso de Geotecnia, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, 2003.
- Nilsson, T. U. (2004). Comparações entre DPL NILSSON e SPT. In: GEOSUL 2004, IV SIMPÓSIO DE PRÁTICA DE ENGENHARIA GEOTÉCNICA DA REGIÃO SUL, 4., 2004, Curitiba. *Anais...* . Curitiba. p. 61 - 68.
- Passos, P. G. O. *Melhoramento de solos arenosos com estacas de areia e brita*. (2005). 141 f. Tese (Doutorado) - Curso de Geotecnia, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília.
- Robertson, P. K.; Campanella, R. G. (1983). Interpretation of cone penetration tests. Part I: Sand. *Canadian Geotechnical Journal*. p. 718-733.
- Sanchez, P. F. et al. (2010). Estudo da Viabilidade do Uso do Penetrômetro Dinâmico Leve (DPL) para Projetos de Fundações de Linhas de Transmissão em Solos do Estado do Paraná. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MECÂNICA DOS SOLOS E ENGENHARIA GEOTÉCNICA, 2010, Gramado. *Anais...* . Gramado.p.1-8. Disponível em: <<http://www.cobramseg2014.com.br/anais/2010/arquivos/2010.207.pdf>>. Acesso em: 22 abr. 2016.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará, pelo apoio na confecção do equipamento DPL, à Universidade de Fortaleza por ter cedido o campo experimental para realização dos estudos e à Berater Tecnologia de Solos e Fundações pela realização das sondagens SPT.