

# XXII Encontro de Iniciação à Pesquisa

Universidade de Fortaleza  
17 à 21 de Outubro de 2016

**Estudo da Correlação entre DPL e SPT para Camada de Areia em Depósito Eólico de Fortaleza** Samuel Castro Prado<sup>1\*</sup> (IC), Érica Soares Feitosa Rodrigues<sup>2</sup> (IC), Giullia Carolina de Melo Mendes<sup>3</sup> (IC), Marcos Fábio Porto de Aguiar<sup>4</sup> (PQ).

1. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia – PIBITI/CNPq.
  2. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia – Curso Engenharia Civil
  3. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia – Curso Engenharia Civil
  4. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia – Curso Engenharia Civil
- samuelcastroprado@hotmail.com

Palavras-chave: DPL. SPT. Investigação do subsolo. Correlação entre DPL e SPT.

## 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 ( $N_{SPT}$  ou  $N_{30}$ ). Para o caso de pequenas edificações, devido a fatores, geralmente, econômicos e culturais, a experiência ou a prática regional costumam prevalecer. O desprezo à realização de investigação do subsolo pode vir a acarretar 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 ensaio com DPL (*Dynamic Probing Light*), equipamento manual de pequeno porte que é destinado a sondagens de campo e cuja utilização ainda é recente e inusitada no Brasil, 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. Partindo de investigações com o DPL e o SPT, este trabalho tem o objetivo de realizar o estudo e propor uma correlação entre os parâmetros obtidos com os ensaios de SPT ( $N_{30}$ ) e DPL ( $N_{10}$ ) para camada de areia em depósito eólico, em Fortaleza, Ceará. Identificou-se uma correlação satisfatória entre os parâmetros analisados, considerando o melhor ajuste da linha de tendência obtida em relação à nuvem de pontos, amparada, ainda, no valor satisfatório do índice de correlação ou determinação ( $R^2$ ).

## Introdução

### Importância da Investigação do Subsolo

Para que o processo de construção de uma edificação seja considerado seguro, inúmeros fatores devem ser considerados, como aspectos estruturais responsáveis pela estabilidade e sustentação da edificação e, conseqüentemente, pela integridade dos seres humanos que dessa edificação fazem uso. Sendo assim, conceitos e métodos de engenharia são aplicados ainda na fase de projetos para garantir um resultado satisfatório.

Nesse contexto, constitui-se de extrema importância a execução de investigações do subsolo, como forma de conhecer e determinar parâmetros que fornecerão uma perspectiva do comportamento que o solo apresentará ao receber os esforços vindos da edificação.

O solo, segundo Cintra (2013), pode ser considerado, diferentemente do concreto e do aço, um material natural, sem controle para atender às características especificadas e que, assim, pode apresentar variedade de composição e em seu comportamento quando submetido a cargas.

Levando em consideração a complexidade apresentada pelo solo, Terzaghi e Peck (1967) advertem que um projeto de fundação não pode ser feito de maneira satisfatória sem que o projetista tenha, ao menos, um conhecimento razoavelmente preciso das propriedades dos solos envolvidos. O conhecimento

das condições do subsolo em um terreno é requisito para um projeto econômico dos elementos de fundação.

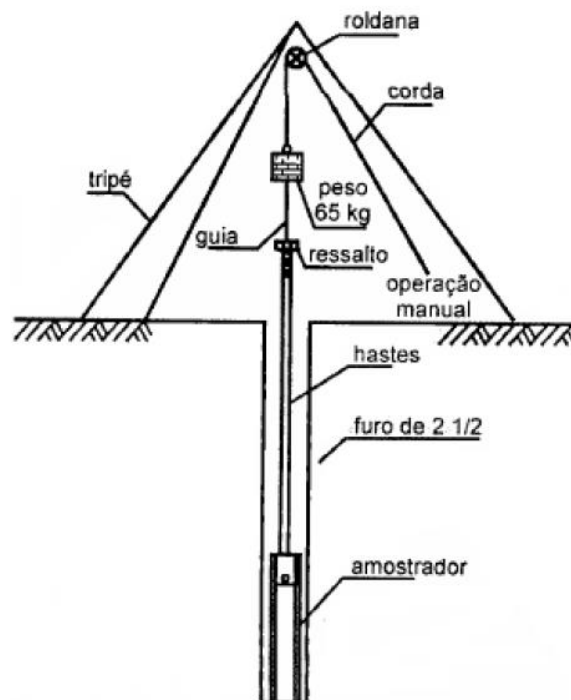
Do ponto de vista econômico, Bowles (1996) sugere que a realização de processos de investigação do subsolo evita gastos adicionais à construção, uma vez que o projetista terá informações suficientes para a correta elaboração do projeto, adequando-o ao tipo de solo específico, evitando, assim, gastos decorrentes da descoberta tardia de que a fundação, já executada ou em processo de execução, encontra-se com as configurações incompatíveis com as necessidades.

Bowles (1996) sugere que para a implantação de uma nova obra, a investigação, geralmente, deve fornecer informações para determinar o tipo de fundação a ser adotada, informações que possibilitem que o consultor geotécnico faça uma recomendação sobre a carga admissível da fundação, identificação de possíveis problemas relativos à propriedade vizinha, ensaios de laboratório suficientes para realizar previsões de recalque, localização do nível do lençol freático, identificação de problemas ambientais e suas soluções, entre outros.

### **Standard Penetration Test (SPT)**

Cintra et al. (2013) sugere que o *Standart Penetration Test* (SPT) é o ensaio mais utilizado em projetos de fundação do Brasil e, por muitas vezes, o único a ser realizado. Segundo ele, o SPT é um ensaio de penetração dinâmica que consiste, basicamente, de três etapas: perfuração, amostragem; e ensaio penetrométrico. As etapas de amostragem e de ensaio penetrométrico são realizadas simultaneamente, enquanto a perfuração é alternada com as outras duas etapas em cada metro de sondagem.

De acordo com ABNT (2001), o ensaio consiste basicamente na cravação de um amostrador padronizado, por meio de golpes de 65 kgf caindo de uma altura de 75 cm. Registra-se 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 (Figura 1). Ao realizar-se o ensaio SPT, busca-se determinar as camadas de solo em suas respectivas profundidades, a posição do nível d'água e os índices de resistência à penetração a cada metro.



**Figura 1:** Metodologia do Ensaio SPT (SCHNAID, 2000).

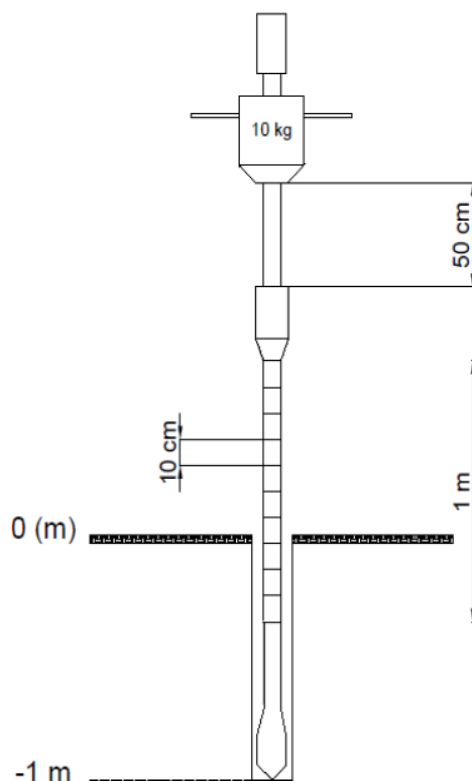
### ***Dynamic Probing Light (DPL)***

O ensaio DPL (*Dynamic Probing Light*), ou Penetrômetro Dinâmico Leve, é, de acordo com Passos (2005), um equipamento manual de pequeno porte, projetado para uso em sondagens *in situ* que é, essencialmente, utilizado em solos não coesivos.

Semelhante ao SPT, o ensaio de DPL consiste em registrar a quantidade de golpes aplicados 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 penetrar o cone (penetrômetro) ao longo de 10 cm.

Mota (2003) afirma que as características geométricas e o peso do material são especificados por DIN (1991), enquanto ISSMFE (1989) define metodologia do ensaio.

Os ensaios, segundo Nilsson (2011), devem ser iniciados pela realização de um furo de diâmetro 15 cm a uma profundidade de 30 cm. Feito o furo, insere-se uma haste, com a ponteira montada, na plataforma niveladora, pondo, em seguida, este conjunto no furo, com a ponteira posicionada verticalmente em relação ao solo. Após o posicionamento adequado de uma haste com a ponteira montada, a plataforma e a haste são niveladas. Parte-se, na sequência, para a execução, parafusando o conjunto batente/guia na haste com o auxílio de operários. O martelo é levantado e deixado cair livremente 50 cm – esse procedimento é repetido enquanto as hastes descem, até que a parte inferior do batente esteja a 10 cm da plataforma niveladora cilíndrica. A quantidade de golpes necessária para a penetração de cada 10 cm da haste é registrada. Remove-se o martelo e o batente é desparafusado. Logo em seguida, há a opção de, com auxílio de um torquímetro, obter o momento de torque máximo e residual entre a ponteira e o solo. O ensaio continua no mesmo ciclo, acrescentando uma nova haste, batente e guia e martelo, repetindo o procedimento de penetração. A figura 2 apresenta a disposição do equipamento.



**Figura 2:** Esquema da sondagem DPL (MATOS, 2015).

Realizado o ensaio, obtém-se, entre outros, a quantidade de golpes necessária para a cravação de 10 cm da haste – a resistência à penetração ( $N_{10}$ ). Uma vez que este procedimento de sondagem não utiliza água para a penetração, é possível verificar, ainda, de forma clara o nível da água na retirada das hastes.

### **Correlações entre $N_{10}$ e $N_{30}$**

Tendo em vista a supremacia da utilização do SPT como forma de investigação do subsolo perante às outras sondagens, bem como a diversidade de métodos de dimensionamento de fundações que partem de seus resultados, algumas propostas de correlação entre os resultados obtidos com o ensaio com o DPL ( $N_{10}$ ) e com o SPT ( $N_{30}$ ) foram realizadas.

DIN (2003) sugere a seguinte correlação para solos granulares acima do nível d'água quando  $3 \leq N_{10} \leq 50$ :

$$N_{30} = 1,4N_{10} \quad (1)$$

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

$$N_{30} = 0,6N_{10} \quad (2)$$

Matos (2015), para areias siltosas, com ensaio realizado no campo experimental da Universidade de Fortaleza (UNIFOR), chegou à seguinte correlação:

$$N_{30} = 0,6N_{10} - 7,6 \quad (3)$$

Sanchez et al. (2010), correlacionou  $N_{30}$  e  $N_{10}$ , de três maneiras distintas, encontrando as respectivas correlações para solo arenoso:

- Correlação entre  $N_{30}$  e a média entre os todos os valores de  $N_{10}$  obtidos em cada metro:

$$N_{30} = 0,5933N_{10} + 0,3755 \quad (4)$$

- Correlação entre  $N_{30}$  e a média entre os valores de  $N_{10}$  obtidos nos últimos 30 cm de cada metro:

$$N_{30} = 0,6062N_{10} + 0,3644 \quad (5)$$

- Correlação entre  $N_{30}$  e a soma dos valores de  $N_{10}$  obtidos na penetração dos últimos 30 cm da haste em cada metro:

$$N_{30} = 0,1972N_{10} + 1,6854 \quad (6)$$

Nilsson (2004) também apresenta uma quantidade considerável de correlações entre os parâmetros advindos do SPT e do DPL, porém essas expressões se caracterizam como específicas de cada região onde o ensaio foi realizado.

## **Metodologia**

Foram realizados 3 ensaios SPT e a mesma quantidade de ensaios DPL, estes dispostos ao lado dos furos para sondagem SPT, em camada de areia de depósito eólico localizado no nordeste da cidade de Fortaleza.

Partindo dos resultados obtidos nas sondagens SPT e DPL, determinou-se, por regressão linear simples, a equação que propõe uma correlação entre os parâmetros dos dois ensaios.

Para isso, os valores de  $N_{30}$  obtidos foram comparados com a média dos golpes  $N_{10}$  na faixa de influência do SPT, ou seja, no comprimento em que se estima o número de batidas necessário para penetrar os últimos 30 cm do amostrador. Dessa forma, considerou-se a média dessas medidas para cada metro de sondagem. Por exemplo, supondo a realização de um ensaio SPT iniciado na cota de 1 m até a profundidade de 1,45 m, o valor de  $N_{10}$  a ser considerado para a correlação será a média das medidas obtidas nas profundidades de 1,20 m e 1,30 m.

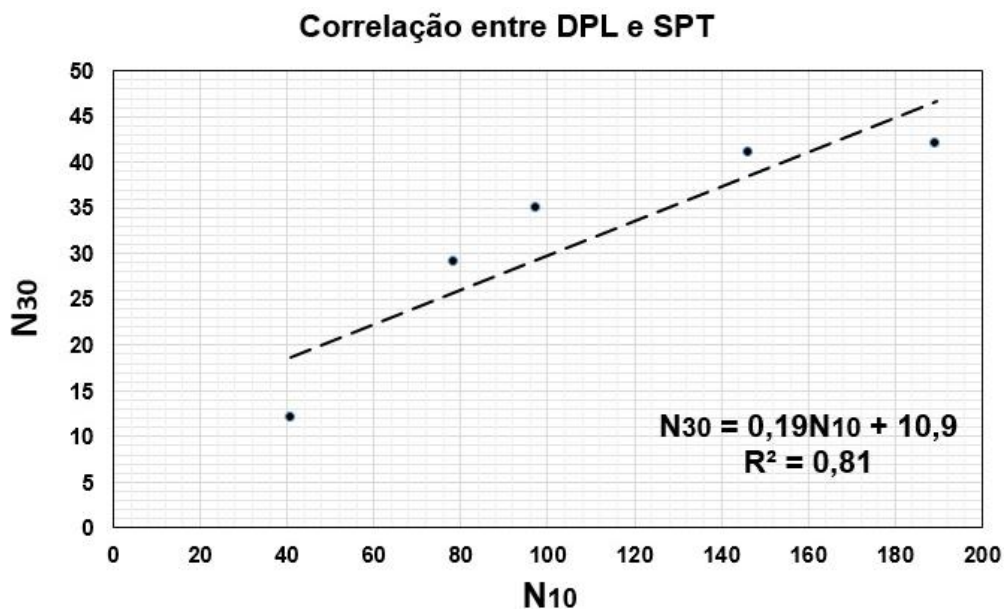
## Resultados e Discussão

Para a determinação da correlação entre os parâmetros obtidos com o ensaio DPL e SPT, levou-se em consideração os valores da Tabela 1, apresentados a seguir.

**Tabela 1:** Valores de  $N_{30}$  e  $N_{10}$  considerados na determinação da correlação.

Profundidade (m)	$N_{30}$	$N_{10}$ MÉDIO	Tipo de Solo
1	7	41	Areia fina
2	15	79	Areia siltosa
3	34	98	Areia siltosa
4	11	147	Areia siltosa
5	8	190	Areia siltosa

Com esse conjunto de dados, elaborou-se uma linha de tendência que possibilitou definir o coeficiente de determinação ( $R^2$ ) e a equação de correlação entre os valores  $N_{30}$  e  $N_{10}$  (Figura 3).



**Figura 3:** Equação da correlação entre  $N_{30}$  e  $N_{10}$ .

Para a determinação da equação de correlação a ser considerada, destacou-se o melhor ajuste da linha de tendência em relação à nuvem de pontos obtidas a partir do ensaio, amparando-se, ainda, no coeficiente de determinação satisfatório encontrado ( $R^2 = 0,81$ ).

## Conclusão

Identificou-se uma correlação satisfatória entre os parâmetros obtidos nos ensaios SPT e DPL para o tipo de solo analisado, com um coeficiente de determinação pertinente ( $R^2 = 0,81$ ), mostrando-se que o DPL pode ser considerado uma alternativa pertinente, em termos técnicos e, possivelmente, econômicos, para projetos de fundações de obras de pequeno porte.

Sugere-se estudos posteriores sobre a viabilidade econômica do ensaio DPL.

## Referências

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

BOWLES, J. E. **Foundation analysis and design**. New York: McGraw-Hill, 1996.

CINTRA, J. C. A. et al. **Fundações: Ensaio estáticos e dinâmicos**. São Paulo: Oficina de Textos, 2013.

DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG. **DIN 4094: Erkundung und Untersuchung des Baugrunds**. Berlin: Beuth, 1991.

DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG. **DIN 1054: Sicherheitsnachweise im Erd- und Grundbau**. Berlin: Beuth, 2003.

INTERNATIONAL SOCIETY FOR SOIL MECHANICS AND FOUNDATIONS ENGINEERING. **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, 1989. 49 p.

MATOS, Y.M.C. **Verificação da Aplicação de Sondagens com o Penetrômetro Dinâmico Leve (DPL) em Projetos de Fundações para Pequenas Edificações**. 2015. 76 f. Monografia (Bacharelado em Engenharia Civil). Universidade de Fortaleza, Fortaleza. 2015.

MOTA, N. M. B. **Ensaio avançados de campo na argila porosa de Brasília: interpretação e aplicação em projetos de fundação**. 2003. 335 f. Tese (Doutorado) - Curso de Geotecnia, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, 2003.

NILSSON, T. U. **Comparações entre DPL NILSSON e SPT**. In: GEOSUL 2004, IV SIMPÓSIO DE PRÁTICA DE ENGENHARIA GEOTÉCNICA DA REGIÃO SUL, 4., 2004, Curitiba. **Anais...** Curitiba, 2004. p. 61 - 68.

NILSSON, T. U. **Penetrômetros Dinâmicos em Projetos Rodoviários**. 13º CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA E AMBIENTAL, 4., 2011, São Paulo. **Anais...** São Paulo, 2011.

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, 2005.

SCHNAID, F.. **Ensaio de campo e suas aplicações à engenharia de fundações**. São Paulo: Oficina de Textos, 2000.

SANCHEZ, P. F. et al. **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, 2010. p. 1 - 8. Disponível em: <<http://www.cobramseg2014.com.br/anais/2010/arquivos/2010.207.pdf>>. Acesso em: 22 set. 2015.

## **Agradecimentos**

Agradece-se ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela bolsa do autor<sup>1</sup>.