

DPL sísmico na investigação de um perfil de solo tropical

Luis Pedro Rojas Herrera

Mestrando, Universidade do Estadual Paulista, Unesp, Bauru - SP – Brasil. luis.rojas@unesp.br

Caio Henrique de Castro Almeida

Mestre, Universidade de São Paulo, USP, São Carlos – SP – Brasil, caiocastro.almeida@usp.br

Breno Padovezi Rocha

Professor, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo, IFSP, Ilha Solteira - SP - Brasil. breno.rocha@ifsp.edu.br

Heraldo Luiz Giacheti

Professor, Universidade do Estadual Paulista, Unesp, Bauru - SP – Brasil. h.giacheti@unesp.br

RESUMO: A investigação do subsolo tem por objetivo a definição do perfil estratigráfico e de parâmetros mecânicos e hidráulicos das camadas de interesse. Os ensaios de campo apresentam-se como interessantes por possibilitam a estimativa de parâmetros do solo no local de projeto, menor custo, rápida execução, bem como a avaliação de grandes volumes de solo. Dentre os ensaios de campo, destaca-se o Penetrômetro Dinâmico Leve (DPL), equipamento compacto e sensível à pequenas variações que ocorrem ao longo do perfil devida sua baixa energia de cravação. Esse fator, combinado a sua repetibilidade, permite empregá-lo na caracterização preliminar de solos tropicais. Este artigo apresenta e discute resultados de ensaios DPL realizados no Campo Experimental da Unesp de Bauru. Também apresenta os perfis de velocidade de onda cisalhante (V_s) determinados durante a realização desses ensaios por meio da incorporação da técnica *down-hole* utilizando um transdutor sísmico na ponteira do equipamento. Os resultados obtidos mostram que os valores de resistência de ponta do DPL (q_p) interpretados a partir da abordagem racional foram equivalentes aos valores de resistência de ponta do CPT (q_c). Além disso, os valores de V_s medidos com o DPL sísmico (SDPL) estão de acordo aqueles determinados pelo *cross-hole*, SDMT e SCPT realizados no local. Avaliou-se a presença de microestrutura (cimentação e envelhecimento) por meio da relação G_0/q_c a partir dos valores de q_p e do módulo de cisalhamento máximo (G_0) calculado a partir de V_s , conforme discutido na literatura.

PALAVRAS-CHAVE: Investigação do subsolo, DPL, Interpretação racional, Sísmica, Solos tropicais, Módulo de cisalhamento máximo.

ABSTRACT: The objective of site investigation is to define the stratigraphic profile and mechanical and hydraulic parameters of the layers of interest. In situ tests are interesting because they allow for the estimation of soil parameters at the project site, lower costs, quick execution, as well as the evaluation of large volumes of soil. Among all tests, the Dynamic Penetrometer Light (DPL) proves to be an interesting alternative, due to its compact equipment and sensitive to the small variations that occur along the profile due to its low penetration energy. This factor, combined with its repeatability, allows it to be used in the preliminary characterization of tropical soils. This article presents and discusses the results of DPL tests carried out at Unesp's Experimental Field in Bauru. It also presents the shear wave velocity profiles (V_s) determined during the tests by incorporating the down-hole technique using a seismic transducer on the tip of the equipment. The results obtained show that the DPL tip resistance values (q_p) interpreted using the rational interpretation were equivalent to the CPT tip resistance values (q_c). In addition, the V_s values measured with the seismic DPL (SDPL) are similar with the cross-hole, SDMT and SCPT seismic tests carried out on site. The presence of microstructure (cementation and ageing) present in tropical soils was assessed using the G_0/q_c ratio based on the q_p values and the maximum shear modulus (G_0) calculated from V_s , as discussed in the literature.

KEYWORDS: Site investigation, DPL, Rational interpretation, Seismic, Tropical soils, Maximum shear modulus.

1 INTRODUÇÃO

A investigação do subsolo é uma etapa de extrema importância em projetos geotécnicos no geral. Através dela é possível a definição do perfil estratigráfico do local investigado, identificando os horizontes do perfil, suas espessuras e diferentes tipos de solo, além da posição do nível d'água e os parâmetros mecânicos e hidráulicos das camadas de interesse, o que pode ser feito a partir de ensaios de campo ou de laboratório. A utilização de ensaios de campo mostra-se como uma interessante alternativa, pois possibilitam a determinação do perfil do subsolo e a estimativa de parâmetros mecânicos de cada camada (GIACHETTI; QUEIROZ, 2004). Além disso, apresentam menor custo, rápida execução, bem como a avaliação de maiores volumes de solo.

A utilização de ensaios de campo no Brasil é bastante usual, com técnicas bem difundidas e resultados obtidos sendo base para estimativa de parâmetros de projeto de fundações e obras de terra (SCHNAID; ODEBRECHT, 2012). Nesse sentido, a utilização do Penetrômetro Dinâmico Leve (DPL) se mostra interessante, uma vez que é um ensaio com equipamento compacto e de simples execução, similar ao SPT, que apresenta como resultado um índice de penetração, N_{10} , similar ao N_{SPT} , e que caso interpretado racionalmente (LOBO, 2005; ODEBRECHT et al., 2005; IBAÑÉZ et al., 2012; BASTOS, 2016; ALMEIDA, 2023) apresenta uma resistência de ponta (q_p) análoga a do CPT.

Ainda, pode-se associar ao equipamento do DPL um transdutor sísmico do tipo acelerômetro de alta sensibilidade na ponteira para determinação da velocidade de propagação de ondas S (V_s) e um adaptador para conexão do sistema de aquisição de dados. O sistema desenvolvido para realização do ensaio DPL Sísmico (SDPL) encontra-se mais bem detalhado em Almeida (2023). Rocha et al. (2023) ressaltam que como ensaios híbridos, como SDMT, SCPT e SDPL, possibilitam a determinação de mais de um parâmetro no mesmo ensaio, correlações entre parâmetros independentes (G_0/q_c , G_0/M_{DMT} , G_0/E_D , G_0/q_p) têm sido formuladas para avaliação da presença de materiais não convencionais.

Este trabalho avaliou o uso do DPL sísmico na investigação do subsolo e comparou seus resultados com os de ensaios CPT a partir da interpretação racional. Avaliou-se também a incorporação da técnica *down-hole* para determinação da velocidade de propagação de ondas S, comparando-as com valores de referência no local estudado, para avaliação da presença de microestrutura (cimentação e envelhecimento) a partir da relação G_0/q_p .

2 DPL

O ensaio de penetração com o DPL é um ensaio quase contínuo, sem coleta de amostra, que visa a obtenção de parâmetros de resistência e deformação do solo, bem como a determinação de seu perfil, com base nas mudanças do comportamento, com execução similar ao SPT.

O ensaio consiste na cravação dinâmica no solo de uma ponteira cônica de 10 cm² de área, com angulação do ápice de 60° a 90°, registrando o número de golpes para o avanço de 10 cm (N_{10}), normalizado pela ISO 22476-2:2005 (2011), sem restrições quanto sua profundidade. Borowczyk e Frankowski (1981) propuseram o conceito de profundidade crítica, no qual a influência do atrito entre solo e hastes compromete a qualidade dos dados, sendo que na maioria dos casos, esse atrito pode ser ignorado até 10 m de profundidade (SANGLERAT, 1972). Bastos (2016) afirma que o comportamento de ponteiros com os ângulos citados se sobrepõe, podendo assumir ponteiros de 60° para manter a geometria igual das ponteiros do CPT.

Uma grande vantagem do ensaio é sua acessibilidade, uma vez que pode ser realizado em áreas de difícil acesso, graças a sua configuração compacta (CUNHA; NILSSON, 2003). É um equipamento de simples operação e que permite um registro contínuo, com dados do subsolo a cada 10 cm, mesmo que haja pouco espaço operacional (BASTOS, 2016). Recentemente, autores vem incorporando conceitos de energia na interpretação racional do ensaio (LOBO, 2005; ODEBRECHT et al., 2005; IBAÑÉZ et al., 2012; BASTOS, 2016; ALMEIDA, 2023).

O equipamento DPL utilizado foi o modelo DPL-T_SM-v1.2.0, fabricado pela SOLOMAP, seguindo as especificações da EN ISO 22476-2:2005+A1 (2011), com levantamento e acionamento manual do martelo. A eficiência média do martelo utilizado, importante na interpretação racional do ensaio, foi medida de acordo com Bastos (2016). Almeida (2023) verificou que, para o equipamento utilizados, o valor da eficiência foi de aproximadamente 70%.

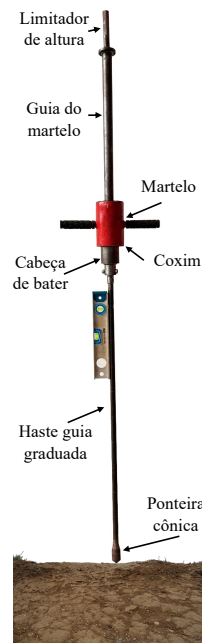


Figura 1. Equipamento DPL utilizado.

2.1 Interpretação Racional

A interpretação racional do ensaio consiste na consideração da energia efetivamente transferida em um ensaio dinâmico, resultando na obtenção de uma resistência de ponta unitária, q_p , e um atrito lateral unitário, τ_l , através de conceitos de propagações de ondas mecânicas e trabalho realizado pelo penetrômetro dinâmico considerado, descritos por Lobo (2005), Odebrecht et al. (2005) e Ibañez et al. (2012).

O cálculo leva em consideração a eficiência do sistema e do martelo, parâmetros geométricos das hastes, como seus comprimentos, além da massa das hastes e do martelo, com sua metodologia, proposta inicialmente para o SPT e adaptada para o DPL, mais bem detalhada em Lobo (2005), Odebrecht et al. (2005), Ibañez et al. (2012), Bastos (2016) e Almeida (2023), sendo resumidamente apresentada a seguir. O método inclui a divisão da força dinâmica (F_d) em duas partes, uma representando a contribuição lateral ($F_{d,l}$) e uma representando a força dinâmica da ponteira ($F_{d,p}$):

$$F_d = F_{d,l} + F_{d,p} \quad (1)$$

A força dinâmica média é dada como sendo:

$$F_d = \frac{E_{\text{ponteira}}}{e} \quad (2)$$

sendo: E_{ponteira} representando a energia entregue à ponteira (J); e o avanço do penetrômetro por golpe (m). A energia E_{ponteira} pode ser determinada teoricamente, utilizando conceitos de energia potencial total de um sistema, ou medida utilizando instrumentação do equipamento (LOBO, 2005; ODEBRECHT et al., 2005; BASTOS, 2016).

A partir de parâmetros estimados médios, formulações teóricas de capacidade de carga e expansão de cavidade esféricas, Lobo (2005) verificou que aproximadamente 70% da força dinâmica é fruto da mobilização da parcela de ponta, sendo que a resistência de ponta unitária pode ser calculada de acordo com a Equação 3, com a_p sendo a área da ponteira. A resistência de ponta unitária obtida a partir da interpretação racional do DPL mostrou-se análoga aos valores da resistência de ponta obtidos pelo ensaio CPT (q_c), conforme observado em Bastos (2016) e Almeida (2023). Lobo (2005) ainda propõe a metodologia para cálculo da resistência lateral unitária, função da força dinâmica lateral, que não foi abordada neste trabalho.

$$q_p = \frac{F_{d,p}}{a_p} = \frac{0,7 \times F_d}{a_p} \quad (3)$$

2.2 SDPL

A determinação da velocidade de propagação das ondas S a partir do DPL proposta por Almeida (2023) foi possível, a partir da incorporação de um transdutor sísmico do tipo acelerômetro de alta sensibilidade ICP da marca PCB Piezotronics. O modelo do transdutor foi o 333B32, com sensibilidade de 100 mV/g, faixa de medição de ± 50 g, largura de banda de 0,5 Hz a 3.000,0 Hz. O cabo utilizado também é da marca PCB Piezotronics, modelo 003C.

Uma nova ponteira, desenvolvida por Almeida (2023), foi utilizada para encaixe do transdutor sísmico, sendo dividida em duas peças, sendo uma responsável por fixar o transdutor sísmico dentro da ponteira, e a outra responsável por conectar a primeira às hastes guia. O *trigger* utilizado é um sensor de impacto da marca Murata Electronics, modelo PKS1-4A10, com uma sensibilidade de 40 mV/g.

Os registros do acelerômetro e do *trigger* foram captados por um amplificador de sinais modelo HBM MX410. Este equipamento conta com quatro canais de aquisição, taxa de amostragem por canal de até 100.000 amostras por segundo, largura de banda de 40 kHz e uma grande vantagem é sua compatibilidade com sensores do tipo ICP (HBM, 2020). Ainda, o amplificador conta com uma saída para a conexão de um sistema de aterramento, reduzindo o aparecimento de perturbações no sinal devido a interferências eletromagnéticas (HBM, 2020). Para a visualização e interpretação dos registros do HBM MX410 foi utilizado o *software* CatmanEasy AP versão 3.5. O sistema encontra-se mais bem detalhado em Almeida (2023).

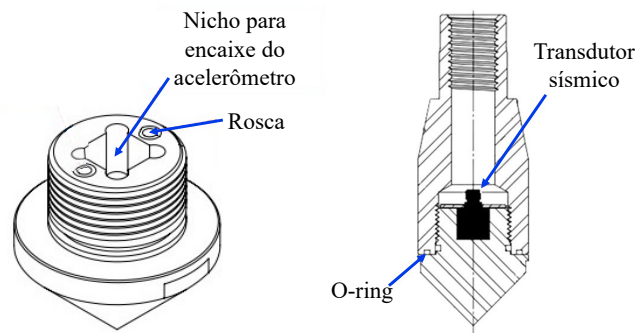


Figura 2. Esquema da ponteira sísmica para ensaio SDPL (adaptado de ALMEIDA, 2023).

3 IDENTIFICAÇÃO DE GEOMATERIAIS NÃO CONVENCIONAIS

Geomateriais não convencionais, como solos residuais, solos não saturados, solos colapsíveis e rejeitos, são aqueles que apresentam um comportamento peculiar em virtude de seus processos geológicos relacionados à sua origem (morfogênese e pedogênese). Rocha et al. (2023) ressaltam que a ligação entre partículas (cimentação) e a estrutura, a natureza coesiva-friccional, a sucção do solo e anisotropia derivada de estruturas reliquias regem o comportamento mecânico destes materiais. Sendo assim, métodos clássicos de interpretação de ensaios de campo podem não se mostrar adequados e conduzem a previsões de comportamento irreais, uma vez que foram propostos desenvolvidos a partir de estudos em materiais que não apresentavam presença de microestrutura (SCHNAID et al., 2004; SCHNAID, YU, 2007).

A utilização de ensaios híbridos, tais como SCPT, SDMT e SDPL, possibilitam a determinação de mais de um parâmetro no mesmo ensaio, o que proporciona a formulação de correlações entre parâmetros independentes (G_0/q_c , G_0/M_{DMT} , G_0/E_D , G_0/q_p) para avaliação da presença de materiais não convencionais. A razão entre o módulo de cisalhamento máximo do solo (G_0) e um parâmetro tensão-deformação-resistência de campo, como q_c , q_p e/ou M_{DMT} , podem ser utilizados para identificar microestrutura presente no solo. A razão aumenta com cimentação e envelhecimento, principalmente devido ao maior efeito desses parâmetros no índice G_0 quando comparado ao efeito nos parâmetros de tensão-deformação-resistência.

Schnaid et al. (2004) propuseram um ábaco com fronteiras para classificação de geomateriais não convencionais, relacionando a razão G_0/q_c com o índice q_{c1} , resistência normalizada adimensional do cone, definida segundo Equação 4. Conforme observado por Almeida (2023), a resistência unitária do DPL é análoga à resistência de ponta do CPT, possibilitando a utilização da metodologia proposta por Schnaid et al. (2004) para avaliação da presença de microestrutura utilizando os dados obtidos no ensaio DPL.

$$q_{c1} = \frac{q_c}{p_a} \cdot \sqrt{\frac{p_a}{\sigma'_v}} \quad (4)$$

sendo: p_a a pressão atmosférica e σ'_v a tensão vertical efetiva.

4 LOCAL ESTUDADO E ENSAIOS REALIZADOS

Os ensaios DPL e *down-hole* foram executados no Campo Experimental da Unesp – Bauru, local com uma extensa base de dados de ensaios de campo (em especial, CPT) e dados de ensaios *cross-hole* e *down-hole* (em especial, SDMT) utilizados como referência para os valores obtidos.

O solo que ocorre no campo experimental de Bauru é constituído por uma areia fina a média pouco argilosa, porosa, colapsível, com sua compactidade aumentando com a profundidade. Esta camada de areia fina resulta da decomposição do Arenito Bauru, apresentando comportamento laterítico até cerca de 13 m de profundidade e não laterítico a partir dessa profundidade, sendo caracterizado por De Mío (2005) como sendo formado por um depósito de material arenoso de origem coluvionar muito poroso e colapsível e submetido ao processo de intemperismo tropical.

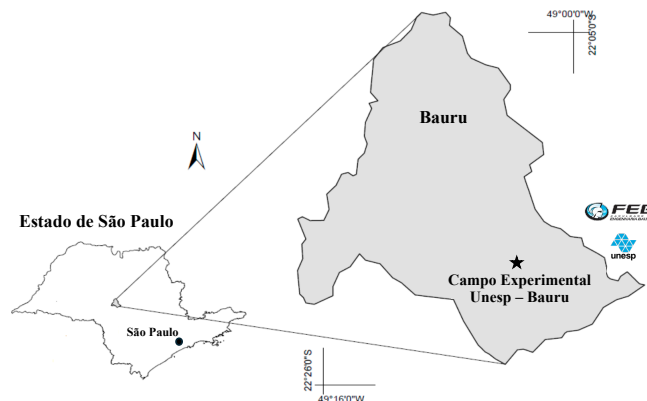


Figura 3. Localização da cidade de Bauru e do Campo Experimental da Unesp – Bauru.

Foram realizados três ensaios DPL no Campo Experimental estudado, sendo um deles com determinação da velocidade de onda cisalhante V_s , em uma área bem caracterizada por ensaios CPT, permitindo a comparação de q_p interpretado racionalmente com q_c , ensaios *cross-hole*, realizados por Giacheti (2001), e ensaios *down-hole* como SDMT, realizados por Rocha (2018) para comparação perfis de V_s obtidos nos ensaios SDPL com os valores de referência. Ainda, foram incorporados na análise resultados de 3 ensaios SDPL realizados por Almeida (2023).

5 RESULTADOS

5.1 DPL e Interpretação Racional

Foram realizados três ensaios DPL e quatro ensaios CPT até 7 m no Campo Experimental estudado entre outubro e novembro/2023. Verifica-se que os ensaios apresentaram um mesmo comportamento para área, o que fica claro ao observar os baixos valores de desvio padrão obtidos.

A partir da interpretação racional do ensaio foi possível determinar a resistência de ponta unitária do ensaio DPL, q_p , e a partir da média dos ensaios CPT, comparar as resistências de ponta dos dois ensaios. Os perfis apresentaram uma tendência de mesmo comportamento, crescente ao longo da profundidade, com baixa dispersão. Verificou-se que os valores médios de q_p e q_c para o local estudado são análogos, com um valor médio para a diferença relativa apresentando-se na faixa de 15%.

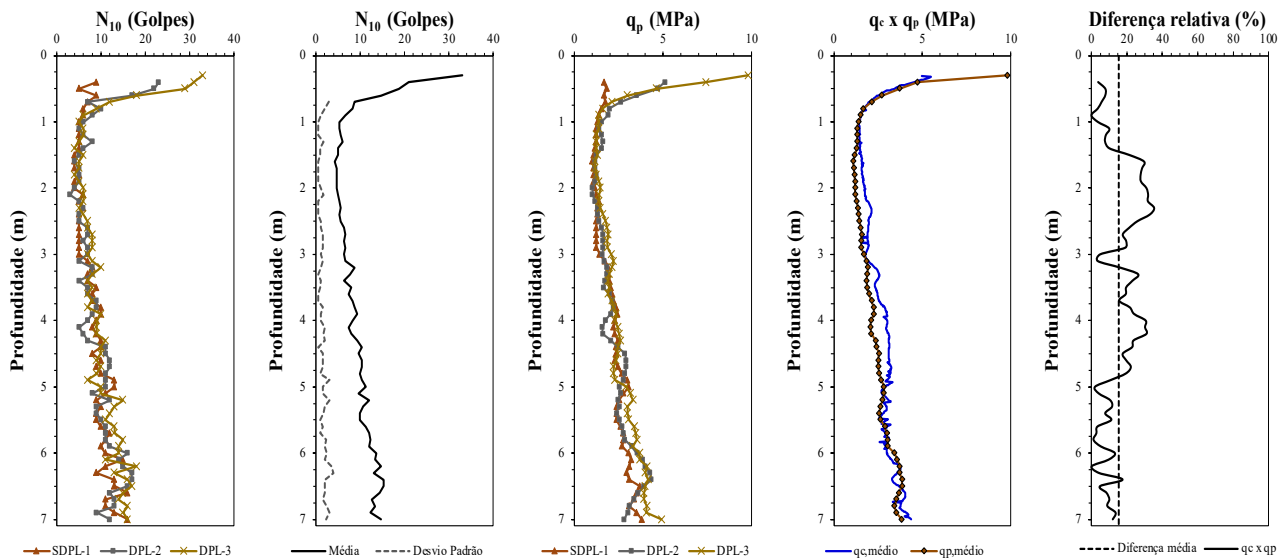


Figura 4. Perfis de N_{10} e q_p , com comparação de $q_{p,médio}$ com $q_{c,médio}$ de ensaios CPT próximos ao local.

5.2 SDPL e Comparação com Valores de Referência

Foi realizado um ensaio SDPL (SDPL-1) e, para comparação com valores de referência no local, foram incorporados resultados de três ensaios (SDPL-A1, A2 e A3) realizados por Almeida (2023) até 8 m de profundidade. Ainda, como valor de referência, foram realizados 2 ensaios SCPT, além de serem considerados resultados do ensaio *cross-hole* realizados por Giacheti (2001) e 4 ensaios SDMT realizados por Rocha (2018). Os valores da velocidade da onda cisalhante, V_s , foram determinados espaçados a cada 0,5 m.

A média dos ensaios SDPL apresentou baixos valores de desvio padrão, com um acréscimo gradual a partir de 4 m. O valor médio de V_s obtido pelos ensaios SDPL foi comparado com valores de referência apresentaram uma diferença relativa de 7,57% quando comparados com os *cross-hole* (CH), 10,45% quando comparados aos SDMT e 7,07% quando comparados aos SCPT.

Ainda, verifica-se que para o SDPL-1, para 6,25 m de profundidade, o valor da velocidade de V_s apresentou-se abaixo da tendência esperada, o que pode estar associado com alguma falha na aquisição de dados na profundidade ou até mesmo com alguma irregularidade na camada estudada, uma vez que a resistência de ponta q_p na profundidade de 6,30 m foi relativamente inferior as demais para o SDPL-1, conforme verificado na Figura 4.

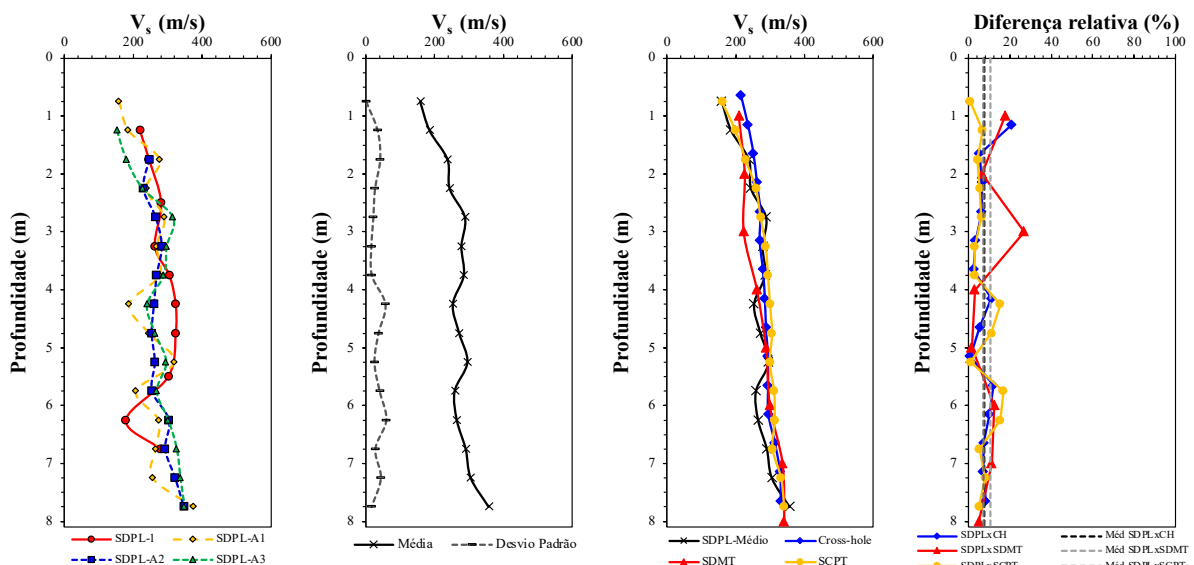


Figura 5. Perfis de V_s e comparação com valores de referência.

5.3 Identificação da Presença de Microestrutura

A partir da interpretação racional (Figura 4) e dos dados dos SDPL (Figura 5), foi possível utilizar o ábaco proposto por Schnaid et al. (2004) para identificação de microestrutura no solo estudado, admitindo que a resistência de ponta do ensaio DPL interpretada racionalmente é análoga à resistência de ponta do CPT. As equações dos limites das áreas do gráfico encontram-se mais bem descritas em Schnaid et al. (2004).

Para a determinação de G_0/q_p , e da resistência de ponta normalizada q_{p1} , segundo Equação 4, foram adotadas médias dos valores imediatamente superior e inferior à profundidade na qual foi determinada a velocidade da onda S. Analisando a Figura 6, foi possível verificar que a partir da análise com dados do SDPL pode-se avaliar a presença de microestrutura no material, com os dados indicando para o local estudado um comportamento de geomaterial cimentado, ou seja, não convencional. O par q_{p1} e G_0/q_p para o SDPL-1 correspondente à profundidade de 6,25 m apresentou-se na faixa de areias não cimentadas não envelhecidas, o que está associado ao baixo valor de V_s observado nesse ponto. Esse ponto, no entanto, pode ser interpretado como não representativo do ensaio, sendo que está associado a um valor de V_s muito inferior aos demais.

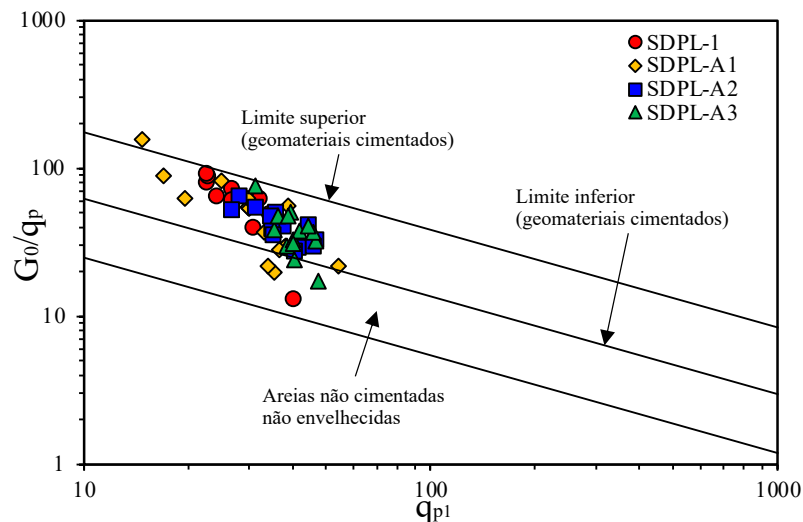


Figura 6. Relação G_0 e q_p a partir de ensaios SDPL para avaliação do comportamento do material.

6 CONCLUSÕES

Este trabalho avaliou a utilização do SDPL na investigação e caracterização de um perfil de solo tropical. Verificou-se que por meio da interpretação racional, a resistência de ponta do ensaio DPL é análoga a resistência de ponta do CPT e que os valores de V_s obtidos pelo SDPL apresentaram-se próximos aos valores de referência para o local estudado.

A partir da interpretação racional e utilizando o modelo proposto por Schnaid et al. (2004), foi possível verificar a presença de microestrutura, caracterizando esse material como não convencionais. Essa metodologia de investigação de solos tropicais deve ser empregada na fase inicial da investigação do subsolo, especialmente quando há dificuldade na coleta de amostras e realização de ensaios de laboratório.

A relação de um parâmetro de rigidez elástica (G_0) com um parâmetro de resistência (q_p , interpretado racionalmente) se mostra interessante na caracterização de solos tropicais. Sendo assim, destaca-se que a realização de mais ensaios SDPL é necessária para ajustar essa abordagem e incorporar a técnica para investigação de solos tropicais.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo – FAPESP pela bolsa concedida ao primeiro autor (Processo 2023/01882-9) e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES pela bolsa concedida ao segundo autor (Processo 88887.482769/2020-00).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Almeida, C. H. C. (2023) *Ensaio com Penetrômetro Dinâmico Leve Sísmico (S-DPL) em Solo Não Saturado: Execução e Interpretação*. Dissertação de Mestrado, Universidade de São Paulo, USP de São Carlos, Brasil.
- Bastos, N. J. (2016) *Interpretação racional do ensaio DPL*. Dissertação de Mestrado. Faculdade de Engenharia de Bauru - FEB/UNESP. Bauru. 172f.
- Borowczyk, M., Frankopwski, Z. (1981) *Dynamic and static sounding interpretation*. Proc. 10th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Stockholm. 8 p.
- Cunha, R. P., Nilsson, T. (2003) *Advantages and Equations for Pile Design in Brazil via DPL Tests*. 2nd International Conference on Geotechnical Site Characterization. Porto, Portugal.
- De Mio G. (2005) *Geological conditioning aspects for piezocone test interpretation for stratigraphical logging in geotechnical and geo-environmental site investigation*. (PhD Thesis). São Paulo, Brazil: University of São Paulo.
- EN ISO 22476-2:2005. (2011) *Geotechnical investigation and testing, Field testing, Part 2: Dynamic probing*.
- Giacheti, H. L. (2001) *Os ensaios de campo na investigação do subsolo: Estudo e considerações quanto à aplicação em solos tropicais*. 2001. Livre-docência – Faculdade de Engenharia, UNESP, Bauru, 327 p.
- Giacheti, H. L., Queiroz, R. C. (2004) *O Ensaio De Piezocone E De Minicone Na Investigação Do Subsolo: Alguns Exemplos De Aplicação*. Geociências, v. 23, p. 89-103.
- HBM. (2020) *Quantum X MX410*. Disponível em: [https://www.hbm.com/pt/2133/quantumx-mx410b-amplificador-altamente-dinamico-de-4-canais/?product_type_no=Módulo DAQ para Medições Altamente Dinâmicas](https://www.hbm.com/pt/2133/quantumx-mx410b-amplificador-altamente-dinamico-de-4-canais/?product_type_no=Módulo%20DAQ%20para%20Mediç%C3%B5es%20Altamente%20Din%C3%A2micas). Acesso em 15 de março de 2023.
- Ibáñez, S. J., Sagaseta, C., & López, V. (2012). *Measuring energy in dynamic probing*. Proc. 4th International Conference on Geotechnical and Geophysical Site Characterization, Porto de Galinhas. 399–404.
- Lobo, B. O. (2005) *Método de Previsão de Capacidade de Carga de Estacas: Aplicação dos Conceitos de Energia do Ensaio SPT*. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Brasil.
- Odebrecht, E., Schnaid, F., Rocha, M. M., Bernardes, G. P. (2005) *Energy Efficiency for Standard Penetrations Tests*. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering. 131: p.1252-1263.
- Rocha, B.P. (2018) *Caracterização geotécnica de solos tropicais não saturados por meio de ensaios de campo*. São Carlos, SP: EESC-USP, 272p.
- Rocha, B. P., Herrera, L. P. R., Rodrigues, R. A., Giacheti, H. L. (2023) *Identificação de Solos Colapsíveis por Meio de Ensaio SCPT e SDMT*. In: Seminário de Engenharia de Fundações e Geotecnia, 2023, São Paulo-SP. SEFE 10. São Paulo - SP: QE Eventos Especiais, p. 1-9.
- Sanglerat, G. (1972) *The Penetrometer and Soil Exploration*. Elsevier Publishing Company.
- Schnaid, F., Lehane, B. M. & Fahey, M. (2004) *In situ test characterisation of unusual soils*. Keynote Lecture. Proc. 2nd Int. Conf. Geotech. Geophys. Site Characterisation, Porto 1, p. 49–74.
- Schnaid, F., Yu, H. S. (2007) *Interpretation of the seismic cone test in granular soils*. Geotechnique, v. 57, n. 3, p. 265-272.
- Schnaid, F., Odebrecht, E. (2012) *Ensaio de Campo e suas Aplicações à Engenharia de Fundações - 2a ed., 2a Edição*, Editora: Oficina de Textos, 223 p.