

Análise de Resultados de Sondagens a Percussão, Ensaios Pressiométricos e “Crosshole” e Estimativa do Módulo de Deformabilidade de Solos Arenosos

Marcos Fábio Porto de Aguiar
Engenheiro Civil, IFCE, Fortaleza, Brasil, marcosporto@ifce.edu.br

Rafaela Rodrigues de Almeida
Engenheira Civil, IFCE, Fortaleza, Brasil, rafaela.r.almeida@hotmail.com

Luiz Kauã Grangeiro Barata
Graduando, IFCE, Fortaleza, Brasil, luiz.kaua09@aluno.ifce.edu.br

Marina Albuquerque Porto de Aguiar
Graduanda, IFCE, Fortaleza, Brasil, marina.porto07@aluno.ifce.edu.br

RESUMO: A estimativa do módulo de deformabilidade das camadas de solo é fundamental em obras geotécnicas, especialmente para a previsão de recalques em projetos de fundações, onde os ensaios laboratoriais muitas vezes apresentam limitações práticas. Nesse contexto, é comum na engenharia geotécnica recorrer a dados de ensaios de campo, como sondagens a percussão (SPT), para obter parâmetros de rigidez por meio de correlações empíricas disponíveis na literatura. No entanto, essas correlações podem apresentar variações significativas, o que exige uma análise crítica quanto à acurácia dos resultados e à segurança do projeto. Este estudo investiga a estimativa do módulo de deformabilidade em solos arenosos a partir de dados obtidos por ensaios *in situ*, incluindo o SPT, o ensaio pressiométrico e o *crosshole*, com base em campanhas realizadas no estado do Ceará, Nordeste do Brasil. Os resultados indicaram variações entre os métodos utilizados, mas, em geral, os valores estimados permaneceram dentro dos intervalos reportados na literatura, demonstrando a confiabilidade das metodologias adotadas.

PALAVRAS-CHAVE: Módulo de deformabilidade, solos arenosos, sondagem a percussão, ensaio pressiométrico, ensaios geofísicos.

ABSTRACT: The estimation of Young's modulus of soil layers is fundamental in geotechnical works, especially for the prediction of settlements in foundation projects, where laboratory tests often present practical limitations. In this context, it is common in geotechnical engineering to rely on field test data, such as standard penetration tests (SPT), to obtain stiffness parameters through empirical correlations available in the literature. However, these correlations may show significant variations, requiring a critical analysis regarding the accuracy of the results and the safety of the design. This study investigates the estimation of Young's modulus in sandy soils based on data obtained from *in situ* tests, including SPT, pressiometric, and crosshole tests, based on field campaigns conducted in the state of Ceará, Northeastern Brazil. The results indicated variations among the methods used, but in general, the estimated values remained within the ranges reported in the literature, demonstrating the reliability of the methodologies adopted.

KEYWORDS: Young's modulus, sandy soils, standard penetration test, pressuremeter test, geophysical tests.



1 INTRODUÇÃO

A crescente demanda por estruturas mais robustas e seguras tem impulsionado o avanço de equipamentos e métodos voltados à obtenção de parâmetros geotécnicos com maior acurácia. Nesse contexto, os ensaios *in situ* ganham destaque por sua praticidade e eficiência, estimulando o desenvolvimento de novas técnicas de prospecção do subsolo.

No Brasil, é comum a utilização do ensaio de penetração padrão (SPT) como principal fonte de dados para a estimativa de parâmetros do solo, por meio de correlações empíricas com o índice de resistência à penetração (N_{SPT}). Essa preferência justifica-se pelo baixo custo, simplicidade e ampla difusão do método. No entanto, por se tratar de um ensaio de natureza destrutiva e que envolve grandes deformações, suas correlações nem sempre representam com fidelidade as propriedades reais do solo.

Para suprir essas limitações, especialmente no que se refere a parâmetros dinâmicos, podem ser empregados ensaios laboratoriais, como o triaxial, além de outros ensaios de campo, como o pressiométrico ou os geofísicos (como o ensaio *crosshole*). Esses procedimentos apresentam a vantagem de serem menos invasivos, operando com pequenas deformações e proporcionando resultados mais representativos do comportamento dinâmico do solo.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Ensaio de Penetração Padrão (SPT)

O *Standard Penetration Test* (SPT), conforme a norma brasileira NBR 6484 (ABNT, 2020), é um método de investigação geotécnica amplamente utilizado para a determinação do índice de resistência à penetração do solo. Esse índice corresponde ao número de golpes necessários para cravar os últimos 30 cm de um amostrador padrão, após uma cravação inicial de 15 cm, utilizando um martelo padronizado de 63,5 kg com queda livre de 75 cm.

Apesar de sua ampla aplicação, os resultados do SPT estão sujeitos a variações significativas, uma vez que o desempenho do ensaio pode ser influenciado por diversos fatores operacionais e de execução. Essa variabilidade reforça a importância da padronização dos procedimentos, a fim de reduzir incertezas e melhorar a confiabilidade dos dados obtidos (Schnaid; Odebrecht, 2012).

Entre os principais fatores que afetam o desempenho do SPT, destacam-se: o método de perfuração utilizado; o tipo de fluido estabilizante empregado; a energia efetivamente transmitida ao sistema, que pode variar conforme o mecanismo de levantamento e liberação do martelo; o peso e o tipo de martelo; a presença de cepo de madeira; o uso de válvulas e revestimentos internos no amostrador; além do comprimento, rigidez e qualidade dos acoplamentos das hastes de cravação. A condição da sapata cortante também é um aspecto crítico, uma vez que sua integridade influencia diretamente a penetração e a confiabilidade dos resultados.

2.2 Ensaio Pressiométrico (PMT)

Desenvolvido pelo engenheiro francês Louis Ménard (1933–1978), o pressiômetro foi introduzido no mercado em 1957, marcando um avanço significativo na engenharia geotécnica. Embora o equipamento tenha sido aprimorado ao longo dos anos, seu princípio original permanece baseado na realização de um pré-furo, seguido da expansão radial controlada do solo por meio de uma sonda pressiométrica, conforme ilustrado pela Figura 1, a seguir.



O pressiômetro desenvolvido por Ménard (1975) é composto por três elementos principais: uma sonda pressiométrica, um painel de controle de pressão e volume, e uma fonte de pressão. A sonda, de formato cilíndrico com núcleo metálico, contém três células independentes formadas por membranas de borracha. A célula central, denominada célula de medição, é preenchida com água, enquanto as duas células externas, chamadas de células de guarda, são preenchidas com ar comprimido.

Essas células são capazes de se expandir radialmente, aplicando pressão nas paredes da cavidade. A expansão da célula central induz deslocamentos predominantemente radiais no solo circundante, sendo parcialmente contida pelas células de guarda, o que garante a centralidade da deformação.

Antes da realização do ensaio, faz-se necessária a devida calibração do equipamento. Devido à resistência oferecida pelas membranas de borracha e pelos sistemas de proteção da sonda, a pressão registrada na unidade de controle pode ser superior à pressão efetivamente exercida nas paredes do furo. Normas internacionais, como a ASTM D4719 (ASTM, 1987) e a NF P94-110 (NF, 1991), orientam quanto a esses procedimentos, execução e interpretação dos resultados.

A curva obtida com o ensaio deve ser corrigida a partir dos dados de calibração, subtraindo-se as pressões da curva de referência das pressões medidas. A curva pressiométrica corrigida pode ser dividida em três estágios distintos: (a) o trecho de recompressão, no qual a sonda infla sem contato com o solo; (b) o trecho pseudo-elástico, onde o solo se deforma sob a pressão da sonda; e (c) o trecho plástico, fase de maiores deslocamentos do solo, resultante do incremento de volume na sonda.

O formato da curva pressiométrica é um indicativo direto da qualidade do furo. Somente curvas bem definidas em todos os seus estágios são consideradas adequadas para a interpretação e obtenção confiável de parâmetros geotécnicos (Briaud, 1992).

A análise dessas curvas possibilita a determinação de diferentes parâmetros para cada camada de solo investigada, como o módulo pressiométrico de Ménard (E_M), a pressão limite (p_L) e a pressão de fluência (p_f). O módulo E_M é calculado com base na equação da expansão de uma cavidade cilíndrica infinita em meio elástico, conforme definido no Eurocode EN 1997-2.

Após a correção dos dados de pressão e volume, a curva pressiométrica permite identificar os seguintes pontos característicos, expressos em pares ordenados (Figura 1):

- **Pressão e volume iniciais (p_0 ; V_0):** corresponde à pressão mínima necessária para que a sonda entre em contato com as paredes da cavidade, marcando o início do trecho pseudo-elástico;
- **Pressão e volume de fluência (p_f ; V_f):** definida graficamente, indica o fim do regime elástico e o início do comportamento plástico do solo, com grandes deformações (Briaud, 1992);
- **Pressão e volume limite (p_L ; V_L):** valor correspondente ao ponto em que o volume injetado na sonda atinge o dobro do volume inicial. A partir desse ponto, a curva pressiométrica assume uma inclinação acentuada, teoricamente tendendo ao infinito. Caso esse ponto não seja alcançado experimentalmente, pode ser estimado por extrapolação da curva.

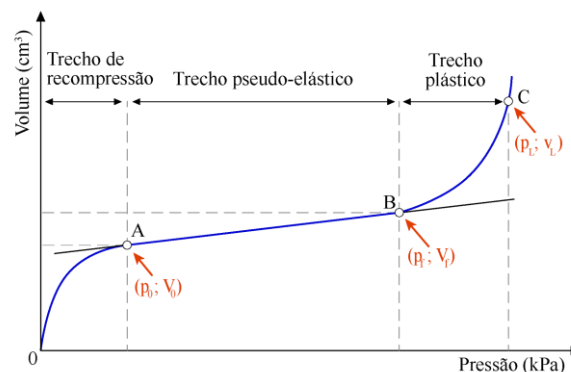


Figura 1. Trechos da curva pressiométrica (Fonte: adaptado de Cestari, 1990).



Durante o ensaio, os incrementos de pressão são aplicados de forma constante, com leituras de volume registradas aos 30 e 60 segundos após cada incremento. A curva de fluência é construída com base na variação de volume entre essas duas leituras (V_{30} e V_{60}), permitindo a identificação dos valores de pressão inicial (p_0) e de fluência (p_f), conforme ilustrado na Figura 2.

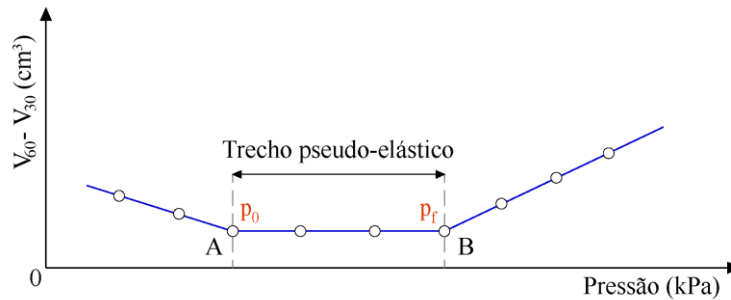


Figura 2. Curva de fluência do ensaio pressiométrico (Fonte: adaptado de Cestari, 1990).

O módulo pressiométrico de Ménard (E_M) é então determinado a partir do trecho pseudo-elástico da curva corrigida, seguindo os procedimentos estabelecidos pela norma francesa EN ISO 22476-4 (NF, 2022), aplicável a pressiómetros com células flexíveis.

2.3 Ensaio *Crosshole* (SCH)

Consiste na geração de ondas sísmicas longitudinais (P, compressão) ou transversais (S, cisalhantes) em um furo de sondagem, com posterior registro da propagação direta dessas ondas até um ou mais furos paralelos, dispostos em intervalos regulares (Figura 3). Para sua execução, são necessários no mínimo dois furos de sondagem, devidamente revestidos com tubos de PVC (policloreto de vinila). O espaço anelar entre o tubo e as paredes do furo deve ser preenchido com calda de cimento, de modo a prevenir colapsos das paredes e garantir um acoplamento eficaz entre o maciço e os sensores (Taioli, 2001).

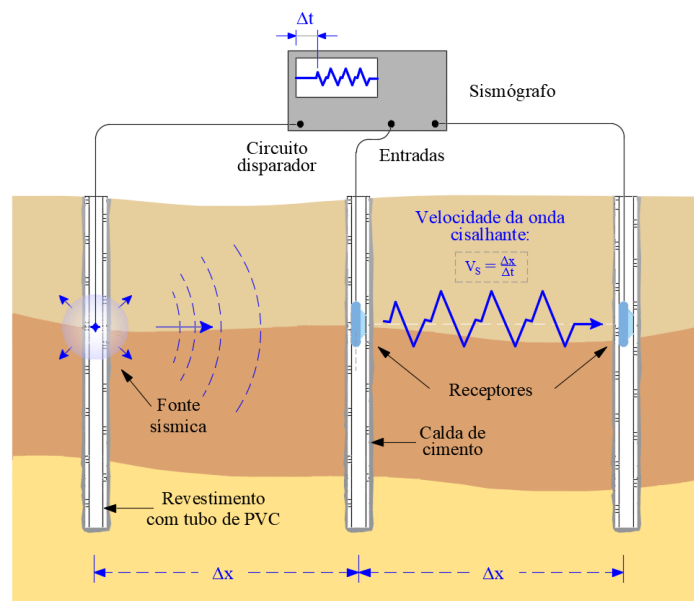


Figura 3. Representação esquemática do ensaio *crosshole*.



O procedimento baseia-se na medição do tempo de propagação das ondas P e S entre a fonte sísmica e os receptores nos furos adjacentes. Para garantir a acurácia, os sensores devem estar na mesma profundidade da fonte, assegurando trajetórias horizontais e diretas. A distância entre os furos deve ser adequada às características geológicas e à profundidade dos estratos, evitando a detecção de ondas refratadas. A norma ASTM D4428 (2007) recomenda que esse espaçamento não ultrapasse 5 metros.

Durante o ensaio, a fonte sísmica instalada em um dos furos emite pulsos que geram ondas sísmicas. Essas ondas são captadas por receptores geofísicos (geofones ou acelerômetros) instalados nos furos adjacentes, sincronizados com um sistema de aquisição de dados que registra a resposta sísmica do meio. A velocidade das ondas é então determinada pela razão entre a distância horizontal entre os furos e o tempo de propagação das ondas.

Dentre os parâmetros determinados a partir do ensaio, destacam-se a velocidade de cisalhamento (V_s), exemplificada na Figura 04, o módulo de cisalhamento máximo (G_0) e o módulo de deformabilidade (E). Esses parâmetros são calculados com base em equações clássicas da teoria da elasticidade, aplicadas ao comportamento dinâmico dos solos.

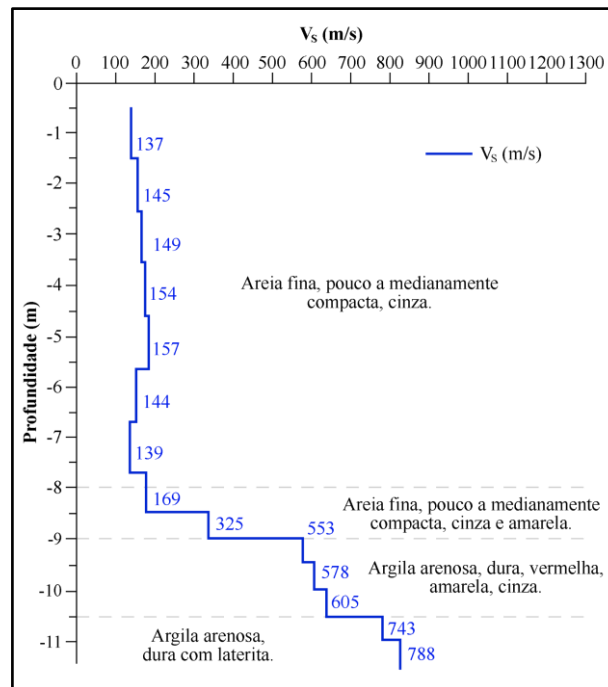


Figura 4. Resumo de resultados do ensaio *crosshole* e classificação das camadas de solo do ensaio SPT (Fonte: adaptado de Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 2019).

2.4 Módulo de Deformabilidade (E)

A rigidez de um material está diretamente associada à sua capacidade de resistir a deformações quando submetido a tensões, sendo quantitativamente expressa pelo módulo de deformabilidade (E). Quanto maior o valor de E , mais rígido é o material, ou seja, menor será a deformação resultante sob uma determinada carga.

Diversos ensaios podem ser empregados para determinar o módulo E . O ensaio triaxial, por exemplo, submete um corpo de prova a cargas aplicadas a uma velocidade controlada até sua ruptura, permitindo a medição direta do módulo. Por outro lado, a avaliação não destrutiva utiliza técnicas alternativas, como a propagação de ondas elásticas ou vibrações sonoras, com base na teoria da elasticidade, permitindo a estimativa do módulo sem comprometer a integridade do material. Em investigações *in situ*, diversos ensaios também possibilitam essa estimativa, como será apresentado a seguir.



- **Ensaio SPT:** por envolver deformações relativamente elevadas no solo, o SPT não permite a determinação direta de parâmetros dinâmicos. No entanto, Décourt (1998) propôs correlações empíricas entre o valor de N_{SPT} e o módulo E , conforme o apresentado na Tabela 1.

Tabela 1. Correlações baseadas no ensaio SPT para estimativa do módulo E (Fonte: Décourt, 1998).

Tipo de solo	Correlação
Areias	$E = 35 \cdot N_{72}$ (kg/cm ²)
Argilas e siltes	$E = 30 \cdot N_{72}$ (kg/cm ²)
Argilas saturadas	$E = 25 \cdot N_{72}$ (kg/cm ²)

- **Ensaio Pressiométrico:** o módulo pressiométrico de Ménard (E_M), obtido a partir da fase pseudo-elástica da curva pressiométrica pode ser convertido no módulo E por meio da aplicação de um fator reológico (α), conforme expressa a Equação 3. Esse fator depende das características do solo e do grau de adensamento, sendo determinado a partir dos parâmetros obtidos no próprio ensaio. A Tabela 2 apresenta os valores de α para diferentes tipos de solo.

$$E = \frac{E_M}{\alpha} \quad (3)$$

Tabela 2. Fator reológico conforme o tipo de solo (Fonte: Ménard, 1975).

Tipo de solo	Argila	Silte	Areia	Areia e pedregulho
Pré-adensada	1	2/3	1/2	1/3
Normalmente consolidado	2/3	1/2	1/3	1/4
Intemperizado ou alterado	1/2	1/2	1/3	1/4

- **Ensaio Crosshole:** a partir das velocidades das ondas cisalhantes, é possível aplicar os conceitos da elasticidade para estimar o módulo E . A equação utilizada relaciona o módulo com a velocidade de cisalhamento (V_s), o peso específico do solo (ρ), a aceleração da gravidade (g) e o coeficiente de Poisson (ν), conforme apresentado na Equação 1.

$$E = 2 \cdot \left(\frac{V_s^2 \cdot \rho}{g \cdot 1000} \right) \cdot (1 + \nu) \quad (1)$$

3 ESTUDO DE CASO

Para este estudo, foram analisadas três diferentes obras, localizadas em diferentes cidades do estado do Ceará, região Nordeste do Brasil. A primeira obra, denominada Local 01, situa-se no município de Trairi e compreende três áreas distintas: SAP, SC e SJ. Já os locais 02 e 03 correspondem a edifícios residenciais localizados nos bairros Meireles e Mucuripe, respectivamente, na cidade de Fortaleza.

3.1 Local 01



Como parte da investigação geotécnica no Local 01, subdividido em três áreas distintas, foram executadas sondagens mistas e ensaios pressiométricos em cada região de interesse. Os ensaios PMT foram realizados nos mesmos furos das sondagens SPT, permitindo a correlação direta entre os dados obtidos em cada profundidade. A Tabela 3 apresenta esses resultados, incluindo valores de N_{SPT} , classificação das camadas de solo, pressão de fluência (p_f), pressão limite (p_L) e módulo pressiométrico (E_M).

Tabela 3. Resumo dos parâmetros obtidos com as sondagens SPT e ensaios PMT.

Área	Ensaio SPT / PMT	Profundidade (m)	Sondagem SPT		Ensaio pressiométrico		
			N_{SPT}	Classificação	p_f (MPa)	p_L (MPa)	E_M (MPa)
SAP	SP-04 / EP-04	3,00	13	Areia	0,40	1,82	14,70
		5,00	44		0,46	2,72	22,80
		7,00	43		0,74	2,12	21,40
		10,00	32		0,36	0,79	6,60
SC	SP-01 / EP-01	3,00	5	Areia	0,17	0,36	2,10
		5,00	8		0,29	0,54	4,60
		7,00	5		0,24	0,53	4,10
		10,00	7		0,48	0,76	6,40
	SP-06 / EP-06	3,00	7	Areia	0,15	0,40	12,60
		5,00	18		0,37	1,17	16,90
		7,00	23		0,70	1,84	17,30
		10,00	33		0,63	1,85	21,10
SJ	SM-01 / EP-01	3,00	30	Areia	0,71	1,69	12,30
		5,00	37		0,83	1,20	14,20
		7,00	38		1,36	2,86	17,90
		10,00	22		0,39	2,01	17,40
	SP-02 / EP-02	3,00	20	Areia	0,78	1,30	13,90
		5,00	36		0,74	2,19	15,20
		7,00	53		0,87	2,79	26,20
		10,00	24		1,75	1,75	25,00

3.2 Local 02

No Local 02, foram executadas sondagens SPT e ensaios crosshole no mesmo furo, permitindo a comparação direta entre os métodos. O SPT identificou camadas de areia com diferentes níveis de compactação e nível de água entre 2,80 m e 3,50 m de profundidade. A Tabela 4 a seguir apresenta os resultados médios de N_{SPT} e V_s para as faixas analisadas, enquanto os valores de peso específico (ρ) foram determinados em ensaios de laboratório.

Tabela 4. Resumo dos valores utilizados para os cálculos das estimativas.

Ensaio SPT / Crosshole	Profundidade (m)	Sondagem SPT		Ensaio <i>crosshole</i>	
		N_{SPT}	Classificação	ρ (kN/m ³)	V_s (m/s)
SP-01 / SCH-01	5,00	17	Areia	18	165,50
	7,00	24		21	510,50
	15,00	38		21	667,82



3.3 Local 03

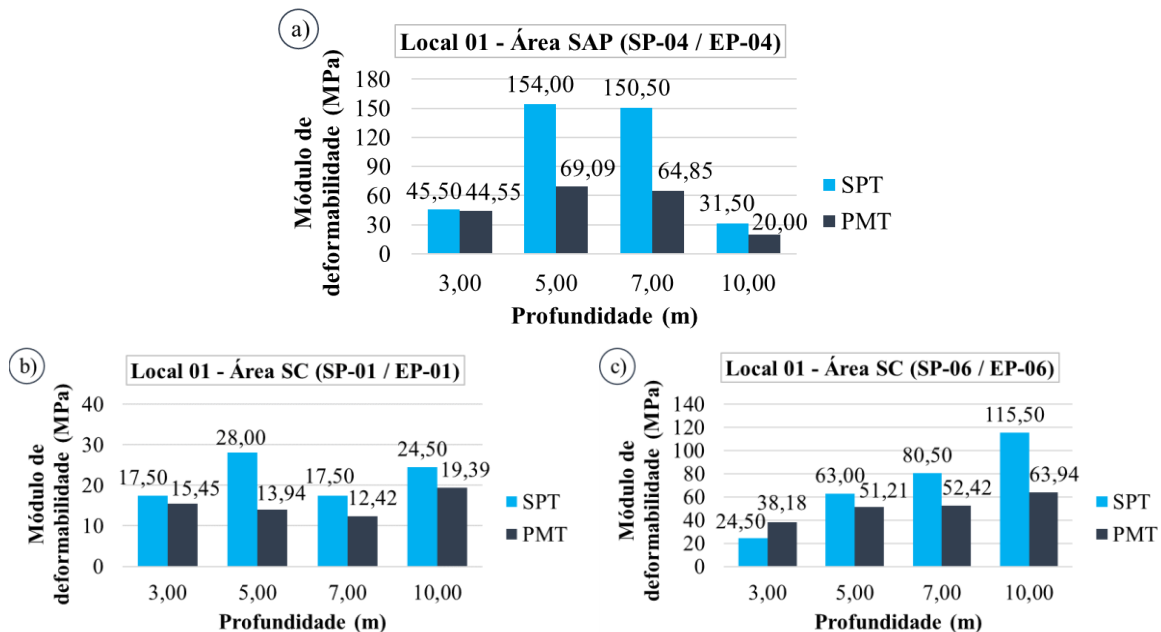
No Local 03, foram realizadas sondagens mistas e ensaios *crosshole*. As investigações revelaram camadas de areia com diferentes compacidades e, em profundidades maiores, a presença de arenito argiloso do Grupo Barreiras. O nível de água foi observado entre 0,30 m e 0,40 m, enquanto os valores de peso específico (ρ) foram determinados em ensaios de laboratório.

Tabela 5. Resumo dos valores utilizados para os cálculos das estimativas.

Ensaio SPT / <i>Crosshole</i>	Profundidade (m)	Sondagem SPT		Ensaio <i>crosshole</i>	
		N _{SPT}	Classificação	ρ (kN/m ³)	V _s (m/s)
	5,00	10		17,50	158,00
SPT-T / CH-04	7,00	10	Areia	17,50	160,00
	10,00	18		20,20	577,00

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados foram obtidos por meio de diferentes métodos de estimativa do módulo de deformabilidade, com base nos ensaios SPT, PMT e *crosshole*. As estimativas seguiram correlações de Décourt (1996), a abordagem de Ménard (1975) e equações da teoria da elasticidade, respectivamente. A Figura 5 compara os valores de SPT e PMT no Local 01, utilizando dados do mesmo furo de sondagem, o que permite uma comparação direta entre os métodos.



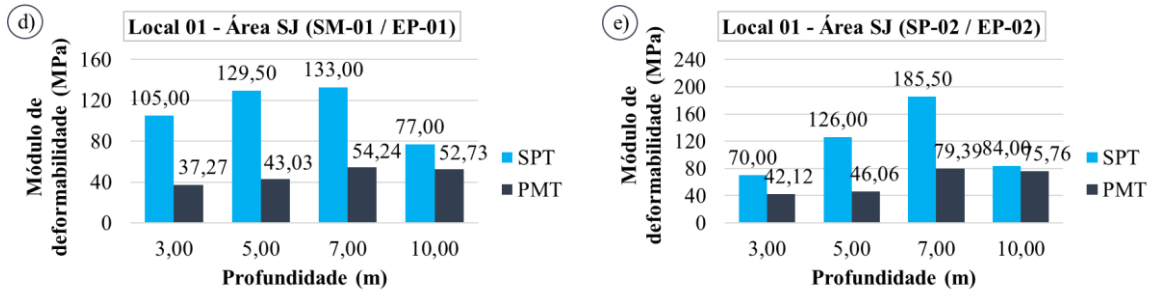


Figura 5. Resultados dos ensaios realizados no Local 01, com as seguintes áreas e identificações: a) Área SAP: SP-04 / EP-04; b) Área SC: SP-01 / EP-01; c) Área SC: SP-06 / EP-06; d) Área SJ: SM-01 / EP-01; e) Área SJ: SP-02 / EP-02.

A partir dos valores obtidos, foi possível ajustar uma linha de tendência relacionando o módulo de deformabilidade E_{SPT} (sondagens SPT) com o módulo E_{PMT} (ensaio pressiométrico). Com base nesse ajuste, obteve-se uma equação de correlação empírica entre essas duas variáveis, conforme apresentado na Figura X.

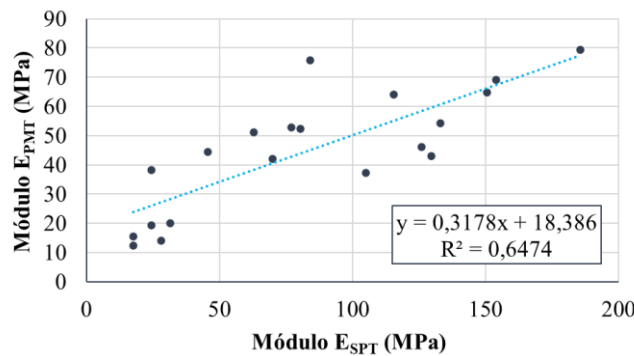


Figura 6. Gráfico do módulo de deformabilidade pelo ensaio pressiométrico versus SPT.

A comparação entre os valores obtidos pelos ensaios SPT e *crosshole* nos Locais 02 e 03 evidenciou variações significativas nos módulos E estimados, especialmente em solos associados à Formação Barreiras.

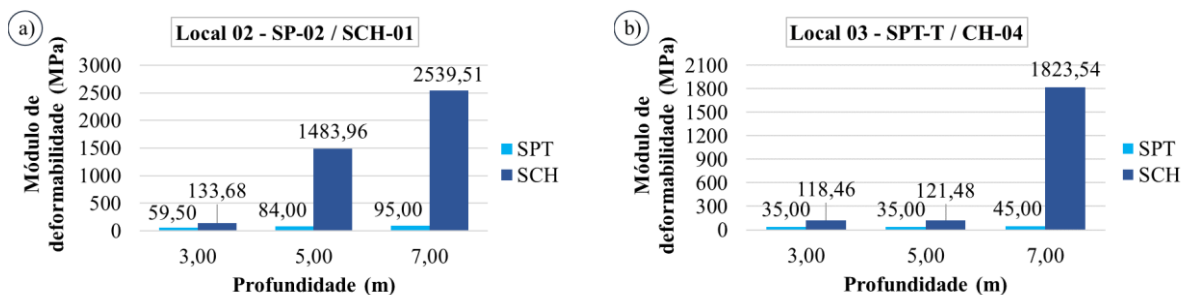


Figura 7. Resultados dos ensaios realizados nos locais 02 e 03, com as seguintes áreas e identificações: a) Local 02 - SP-02 / SCH-01; b) Local 03 - SPT-T / CH-04.

5. CONCLUSÕES

Este trabalho teve como objetivo estimar e comparar o módulo de deformabilidade de solos arenosos por meio de três tipos de ensaios de campo: SPT, pressiométrico e *crosshole*. As comparações, realizadas para um mesmo tipo de solo e profundidade, revelaram variações expressivas entre os métodos. No Local 01, as



diferenças entre os módulos obtidos pelo SPT e pelo ensaio pressiométrico variaram de 2,14% a 200,95%. Nos Locais 02 e 03, as variações entre os resultados do SPT e dos ensaios geofísicos foram ainda mais amplas, atingindo até 1.379,54%, especialmente em camadas lateríticas da Formação Barreiras. Essas discrepâncias se devem, em parte, à baixa resistência à penetração observada no SPT em contraste com as altas velocidades sísmicas registradas nos ensaios geofísicos.

De modo geral, os valores do módulo E estimados pelos ensaios pressiométrico e *crosshole* mantiveram-se dentro das faixas comumente reportadas na literatura. Em contraste, alguns resultados obtidos por meio do SPT ultrapassaram esses limites. Por fim, as correlações entre os métodos SPT e PMT revelaram pouca consistência, evidenciada por um baixo coeficiente de determinação (R^2).

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo apoio e suporte financeiro por meio da concessão de bolsas de iniciação científica. Agradecem, também, ao Grupo de Pesquisa em Geotecnia e Infraestrutura de Transportes (GPGE) do Instituto Federal do Ceará (IFCE) - *Campus Fortaleza*, pelo suporte técnico prestado ao desenvolvimento deste trabalho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- American Society for Testing and Materials (ASTM). **ASTM D4428/D4428M – 07**: Standard Test Methods for Crosshole Seismic Testing. West Conshohocken, PA: ASTM International, 2007.
- American Society for Testing and Materials. **ASTM D4719-87**: Standard Test Method for Pressuremeter Testing in Soils. Annual Book of ASTM Standards, 1987.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. **ABNT NBR 6484**: Sondagens de Simple Reconhecimento com SPT – Método de Ensaio. Rio de Janeiro: ABNT, 2020.
- Association Française de Normalisation (AFNOR). Reconnaissance et essais géotechniques – Essais en place – Partie 4: Essai au dilatomètre de type Ménard (ISO 22476-4:2012). **NF EN ISO 22476-4**. Paris: AFNOR, 2022.
- Briaud, J. L. **The Pressuremeter**. Rotterdam: Trans Tech Publications, A.A. Balkema, 1992.
- Décourt, L. Análise e projeto de fundações profundas: Estacas. In: HACHICH et al. (ed.). **Fundações: Teoria e prática**. São Paulo: Pini, 1998. Cap. 8.1, p. 265-301.
- European Committee for Standardization (CEN). Eurocode 7: Geotechnical design – Part 2: Ground investigation and testing. **EN 1997-2:2007**. Brussels: CEN, 2007.
- Hughes, J.; Whittle, R. **High Resolution Pressuremeters and Geotechnical Engineering: The Measurement of Small Things**. Boca Raton: CRC Press, 2022.
- Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT). **Relatório de ensaio crosshole**. São Paulo, 2019. (Relatório técnico).
- Ménard, L. The Ménard Pressuremeter, Interpretation and Application of Pressuremeter Test Results to Foundation Design. General Memorandum, **Sols Soils**, 1975.
- Norme Française. Essai Pressiométrique Ménard: **NF P94-110**. Paris, 1991.
- Schnaid, F.; Odebrecht, E. **Ensaio de Campo e suas aplicações à Engenharia de Fundações**. 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2012.
- Taioli, F. **Avaliação de propriedades elásticas dinâmicas de materiais geológicos da RMSP**. Tese (Livro-Docência) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999.

