

“OBTENDO EXPERIÊNCIA COM O ENSAIO DMT”

Antônio Sérgio Damasco Penna

RESUMO

Com o objetivo de proporcionar o desenvolvimento dessa técnica e adquirir a habilidade necessária para interpretar os resultados dos ensaios “DMT”, neste trabalho, estão apresentados e analisados resultados de ensaios, executados em diferentes condições de subsolo.

Palavras-chave: DMT, parâmetros geotécnicos.

INTRODUÇÃO

A utilização do ensaio DMT vem se tornando freqüente no mundo todo. No Brasil, desde meados da década de 90, esse processo de investigação de campo vem sendo utilizado, em diversas condições geológicas e geotécnicas.

Neste trabalho, estão apresentados resultados obtidos em diferentes condições de terreno, procurando-se destacar os elementos fundamentais de sua interpretação, proporcionando experiência e familiaridade com essa técnica.

Parâmetros intermediários

Com os valores das pressões P_0 e P_1 , medidas no campo, correspondentes ao início e fim da expansão da membrana, em cada estágio da introdução da lâmina no terreno, são definidos três parâmetros, denominados “intermediários”, que representam a base para a interpretação dos resultados desse ensaio.

Índice do material (I_d)

$$I_d = \frac{P_1 - P_0}{P_0 - \mu_0}$$

Esse parâmetro intermediário “ I_d ”, representa uma forma de identificar o comportamento do solo, baseada na amplitude da faixa de diferença entre as pressões “ P_0 ” e “ P_1 ”, em relação à condição de confinamento horizontal efetivo ($P_0 - \mu_0$), ao qual o solo está submetido, “in-situ”.

Nos solos argilosos, a pressão “ P_1 ” é apenas um pouco maior do que a pressão “ P_0 ”, enquanto nos solos arenosos, essa diferença é bem maior.

Dessa forma, a proporção da diferença “ $P_0 - P_1$ ”, em relação à pressão horizontal efetiva ($\sigma'_{ho} = P_0 - \mu_0$), permite determinar o tipo de comportamento do terreno, conforme se observa na figura 1 e na tabela 1.

A amplitude desses valores, é muito grande, variando desde 0,1 até 10, o que permite classificar o comportamento granulométrico do solo ensaiado, a partir desse índice “ I_d ”.

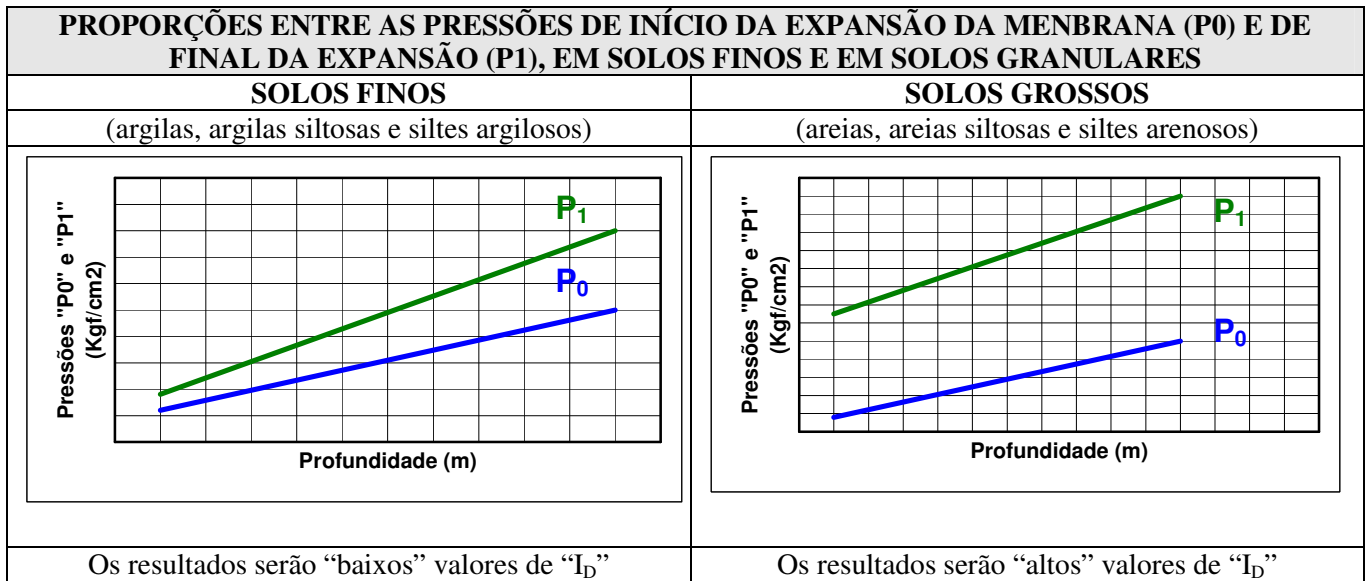


Figura 1 - Comparações de “Id” nos solos finos e grossos

VALORES DO ÍNDICE DO MATERIAL “Id”							
0,1		0,35		0,60		0,90	
1,20		1,80		3,30		10	
Argilas sensíveis e turfas	Argilas puras	Argilas siltosas	Siltes argilosos	Siltes puros	Siltes arenosos	Areias siltosas	Areias puras
ARGILAS			SILTES			AREIAS	
TIPO DE SOLO COM BASE NA OBSERVAÇÃO DO COMPORTAMENTO							

Tabela 1 - Valores limites de “Id”

O determinante dessas diferenças, entre as pressões (P1 - P0), necessárias para deformar o solo em 1,10 mm, na frente da lâmina, em proporção da tensão horizontal efetiva ($\sigma'_{ho} = P_0 - \mu_0$), está ligada ao índice de vazios do solo e por conseqüência à sua compressibilidade, permitindo, dessa maneira, distinguir a granulação do solo, a partir da observação de seu comportamento.

Daí a denominação “comportamento granulométrico”.

Módulo dilatométrico (Ed)

Esse parâmetro intermediário “Ed”, é obtido diretamente das leituras “P0” e “P1”, por uma aplicação da teoria da elasticidade, permitindo a determinação das características de compressibilidade do solo.

De acordo com a teoria da elasticidade, no carregamento de uma área circular flexível, situada na superfície de um semi-espaco de módulo de elasticidade “E” e coeficiente de Poisson “μ”, confinada por uma parede rígida (lâmina), o deslocamento do centro dessa área circular será:

$$\bullet \quad \rho = D \cdot \sigma \cdot \frac{1 - \mu^2}{E} \cdot \frac{2}{\pi} \qquad \bullet \quad \rho = D \cdot \sigma \cdot \frac{1 - \mu^2}{E} \cdot 0,64$$

- onde “D” é o diâmetro da membrana e “σ” é a diferença de pressão aplicada (P1 - P0)
- Para ρ = 1,10 mm; D = 6,0 cm; σ = P1 - P0 (Kgf/cm²) e definindo como módulo dilatométrico “Ed” a

proporção $E_d = \frac{E}{1 - \mu^2}$, resulta: $0,11 = 6,0 \cdot (P_1 - P_0) \cdot \frac{1}{E_d} \cdot 0,64$

$$E_d = 34,7(P_1 - P_0) \text{ (Kgf/cm}^2\text{)}$$

O parâmetro “Ed” representa uma “proporção elástica”, ou seja, exprime a relação entre o módulo de elasticidade do solo (E) e seu coeficiente de Poisson (μ).

$$E_d = \frac{E}{1 - \mu^2}$$

Dessa forma, esse valor está diretamente ligado à compressibilidade do solo. Quanto maior o valor “Ed”, menos compressível é o solo.

Índice de tensão horizontal (K_d)

Esse parâmetro intermediário “ K_d ” é obtido diretamente, a partir da leitura do início da expansão da membrana contra o terreno (P_0) e do conhecimento da coluna hidrostática em campo (μ_0), apoiado na observação do N.A., após a retirada da composição de hastes ou melhor ainda, obtido de uma sondagem à percussão executada nas proximidades.

$$K_d = \frac{P_0 - \mu_0}{\sigma'_{v0}}$$

σ'_{v0} = tensão vertical efetiva
 μ_0 = tensão neutra anterior à inserção da lâmina

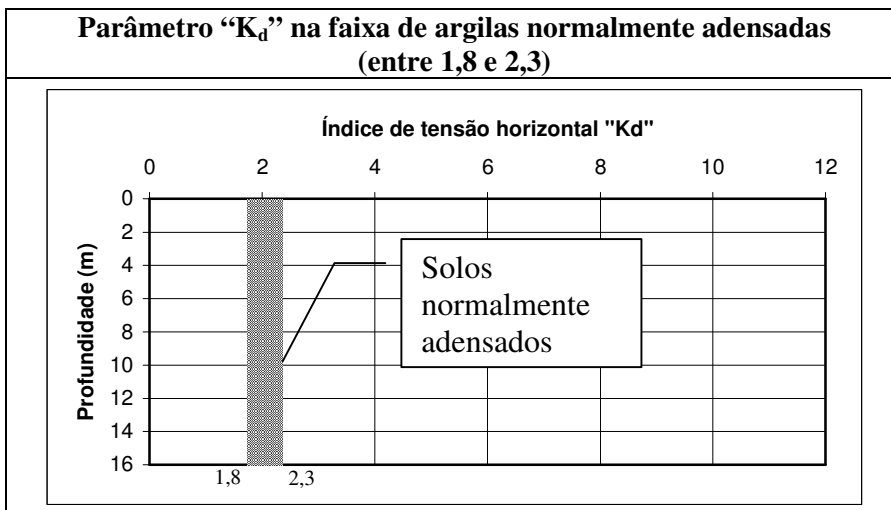
Esse índice, considera a tensão total horizontal “in-situ” (P_0) (transformada em tensão efetiva horizontal “in-situ” (σ'_{HO}), pela subtração da tensão neutra (“ μ_0 ”), relacionada em proporção da tensão vertical efetiva do peso da terra (σ'_{v0}).

Essa relação, é a própria definição do coeficiente de empuxo em repouso $K_0 = (\sigma'_{HO}/\sigma'_{v0})$, mas seu significado, deve ser entendido, apenas, como parâmetro “intermediário” e não como medida direta do coeficiente de empuxo em repouso “ K_0 ”, uma vez que a introdução da lâmina, no terreno, altera, um pouco, a condição do “verdadeiro repouso” do solo.

Esse parâmetro, está associado, também, ao histórico de tensões já aplicadas ao solo e essa é, sua maior aplicação.

As observações de Silvano Marchetti, indicaram que em argilas normalmente adensadas, o valor de “ K_d ” é constante com a profundidade e se situa, muito freqüentemente, entre os valores 1,8 e 2,3, conforme figura 2.

Em argilas sobreadensadas, o valor “ K_d ” é superior a 2,3 e, como ocorre com a razão de sobreadensamento “RSA” (ou “overconsolidation ratio - OCR”), esse valor diminui com o crescer da profundidade.



Esse “adensamento” dos solos, evidenciado no parâmetro “ K_d ” é interessante, também, como ferramenta de controle tecnológico da compactação de aterros, com o estabelecimento de um valor mínimo de aceitação, para o parâmetro “ K_d ”, pode-se aceitar ou rejeitar a compactação de um aterro.

Figura 2 - Faixas de valores de “ K_d ”

ANÁLISES DOS RESULTADOS

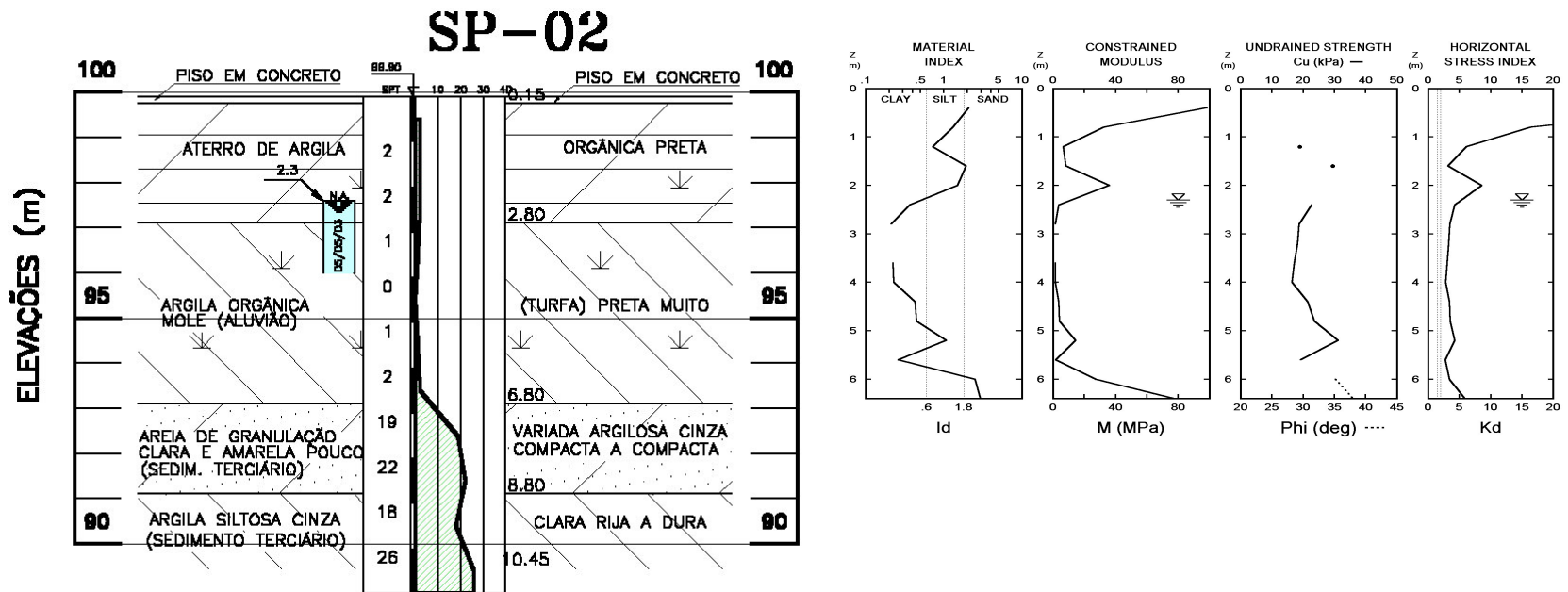
Nas próximas figuras, estão apresentados os resultados de ensaios “DMT” executados em diversos locais, acompanhados das respectivas análises e interpretações.

Área de aluvião quartenário na Grande São Paulo - Município de Guarulhos/SP

Na camada de aterro, até 2,80 m de profundidade, o solo não saturado, apresenta comportamento de silte, em função de “Id” compreendido entre 0,60 e 1,80, com índice de tensão horizontal “Kd” alto, indicando densificação por ressecamento e alguma compactação.

Sob o aterro, a argila orgânica saturada apresenta “Id” inferior a 0,6 indicando comportamento de “argila” enquanto o valor de “Kd” exibe algum pequeno sobreadensamento (valores pouco acima de 2,3, uma vez que a faixa entre 1,8 e 2,3 é dos solos normalmente adensados).

A coesão média desse material (argila orgânica muito mole preta) que seria obtida em condições não drenadas, é da ordem de 16 a 31 KPa (~ 1,6 tf/m² a 3,1 tf/m²) e seu módulo edométrico “M” da ordem de 3,0 MPa (~ 30 Kgf/cm²).



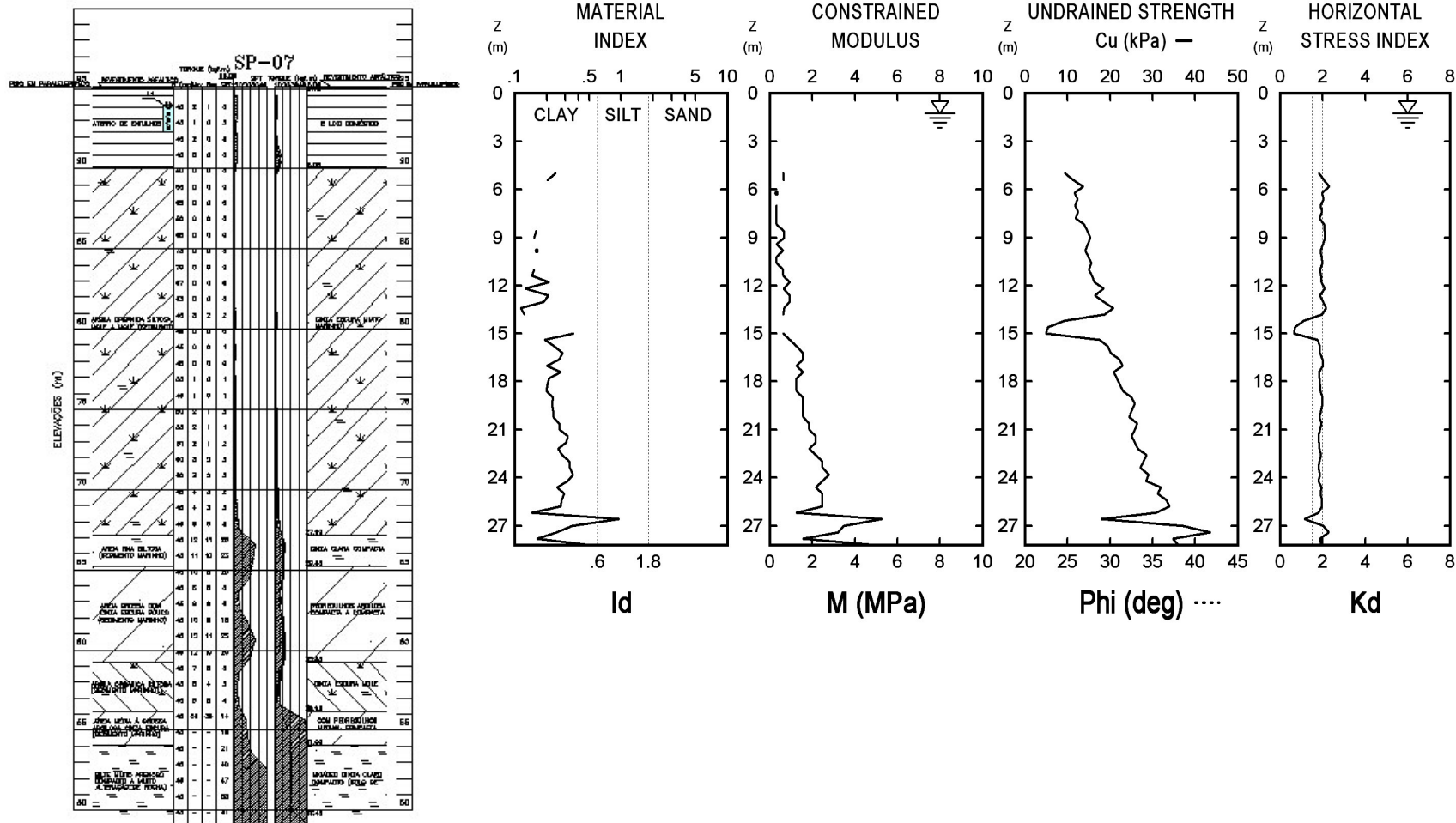
Área de sedimento flúvio lacunar - Alemoa - Santos/SP

Na camada de aterro, até 5,05 m de profundidade, a presença de entulho não permitiu a execução do ensaio.

Na camada de argila muito mole cinza escuro, os valores de “Id” indicam comportamento granulométrico de argila, com valores sempre inferiores a 0,6.

O parâmetro “Kd” exibe valores entre 1,8 e 2,3, típico de argilas normalmente adensadas, o que se explica pela aplicação de camadas de 5,05 m de espessura de aterro, aplicada há cerca de trinta anos atrás.

A coesão em condições não drenadas “Cu” apresenta valores crescentes linearmente com a profundidade, com 12 KPa a 6,20 m de profundidade e 28 KPa a 24,20 m de profundidade (crescimento de 16 KPa em 18 m de profundidade ~ 0,89 KPa/m).



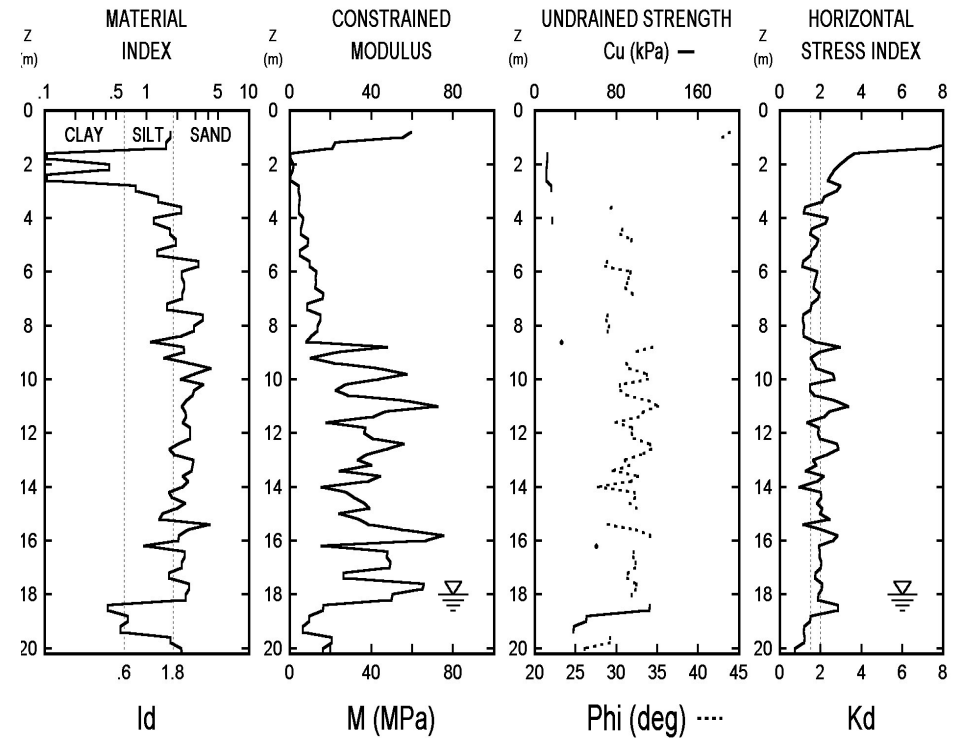
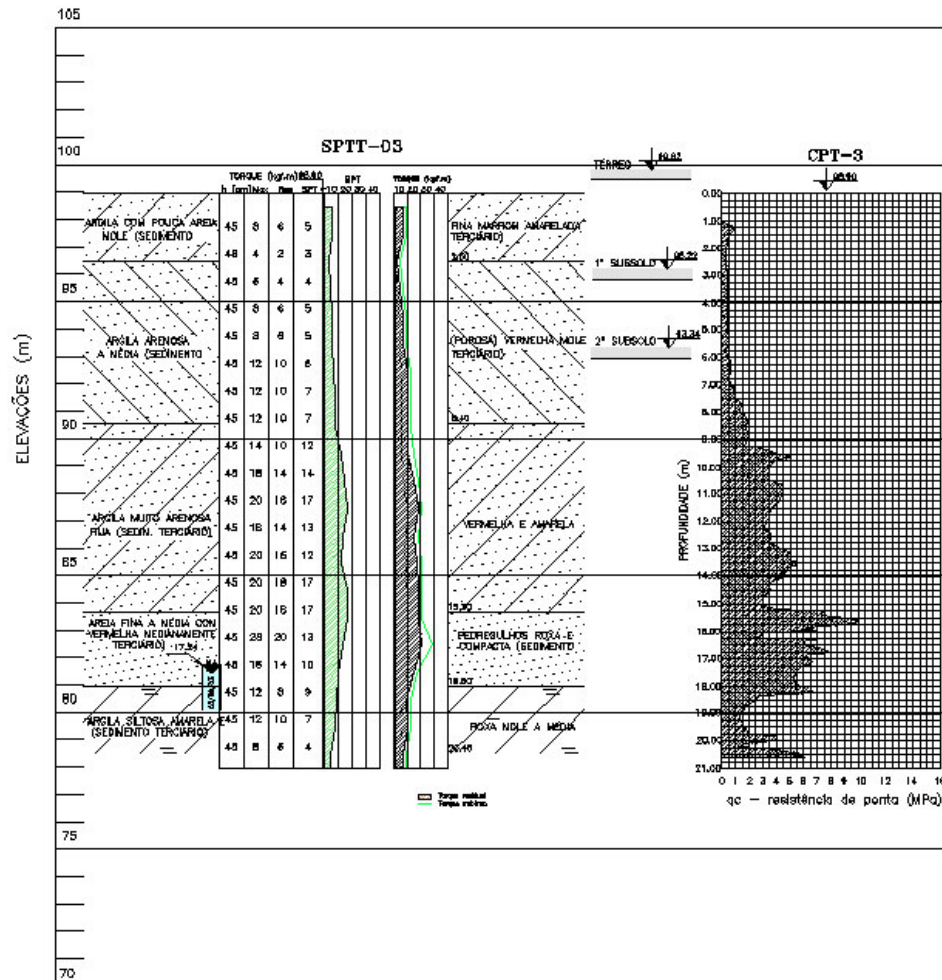
Área de sedimentos terciários de São Paulo - ocorrência de solos arenosos - bairro da Pompéia

No trecho de 8,40 m a 15,30 m de profundidade, o índice “Id” indica classificação de areia siltosa.

O ângulo de atrito “ ϕ ” em condições drenadas, avaliado entre 29° e 34°.

Em se tratando de matriz arenosa, que não se beneficia com o ressecamento, e sendo essa, uma região quase no topo do espigão central da cidade de São Paulo, o índice “Kd” indica valores próximos ou pouco acima dos solos normalmente adensados (Kd entre 1,8 e 2,3).

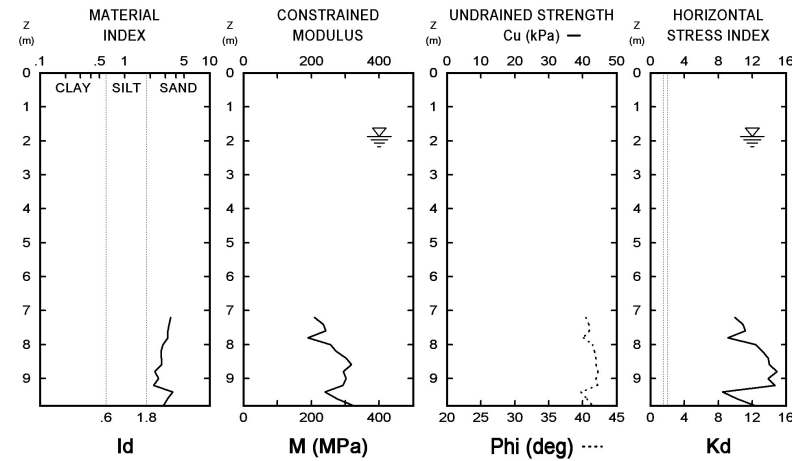
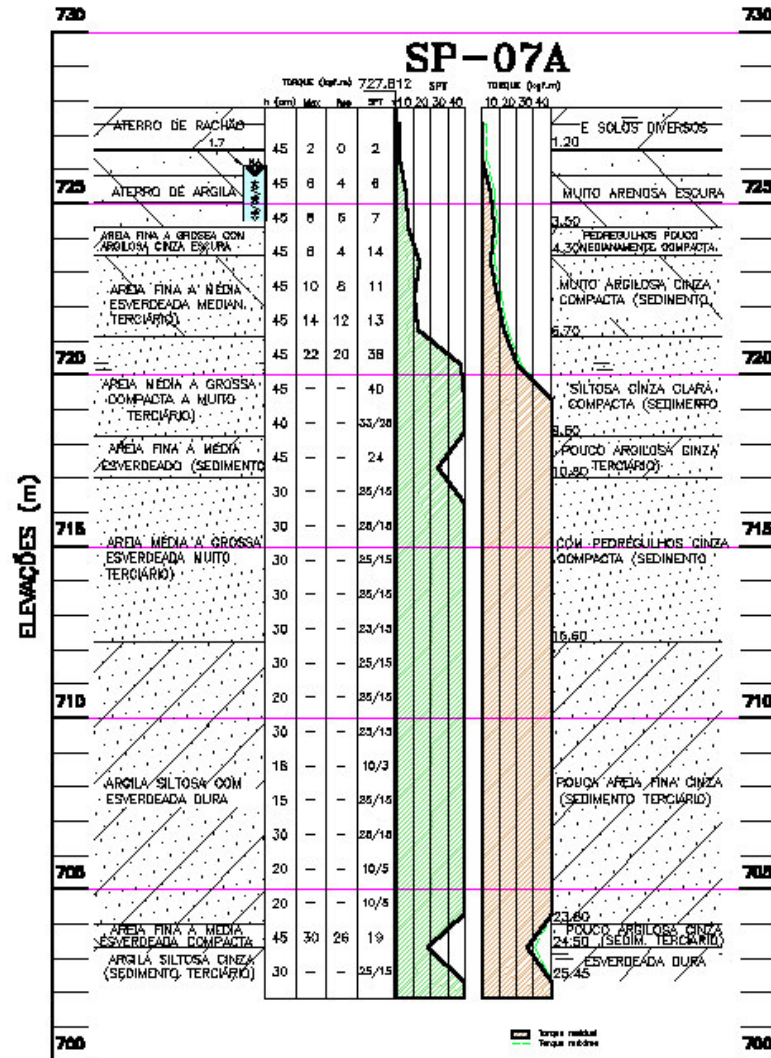
O módulo edométrico “M”, nessa camada, apresenta valores entre 10 MPa e 50 MPa (~ 100 Kgf/cm² e 500 Kgf/cm²).



Área de sedimentos terciários de São Paulo - ocorrência de solos arenosos muito compactos - Rodovia Ayrton Senna

Nessa região, a superfície atual do terreno encontra-se em torno da cota de nível absoluto, acima do mar da ordem de 728 m, portanto a 92,00 m abaixo do espigão da Avenida Paulista (cota ~ 820 m), que representa o nível final de deposição de sedimentos do período terciário.

Os solos arenosos apresentam “Id” acima de 1,8 (comportamento de areias) com ângulo de atrito interno ϕ avaliado em cerca de 42°, índice de tensão horizontal “Kd” da ordem de 12, representando, portanto, areias altamente pré-comprimidas com módulo edométrico “M” da ordem de 250 MPa (~ 2.500 Kgf/cm²).



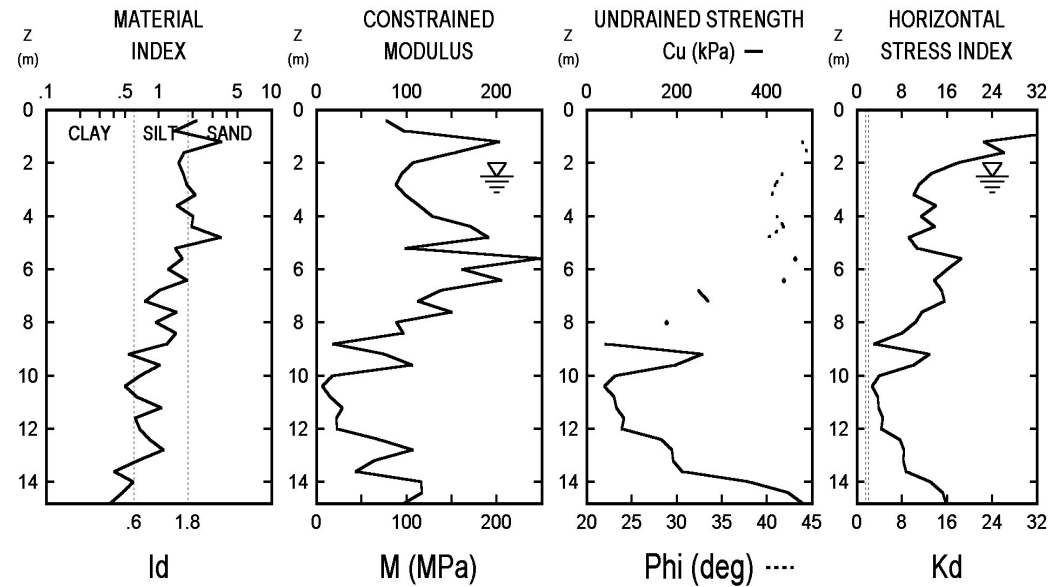
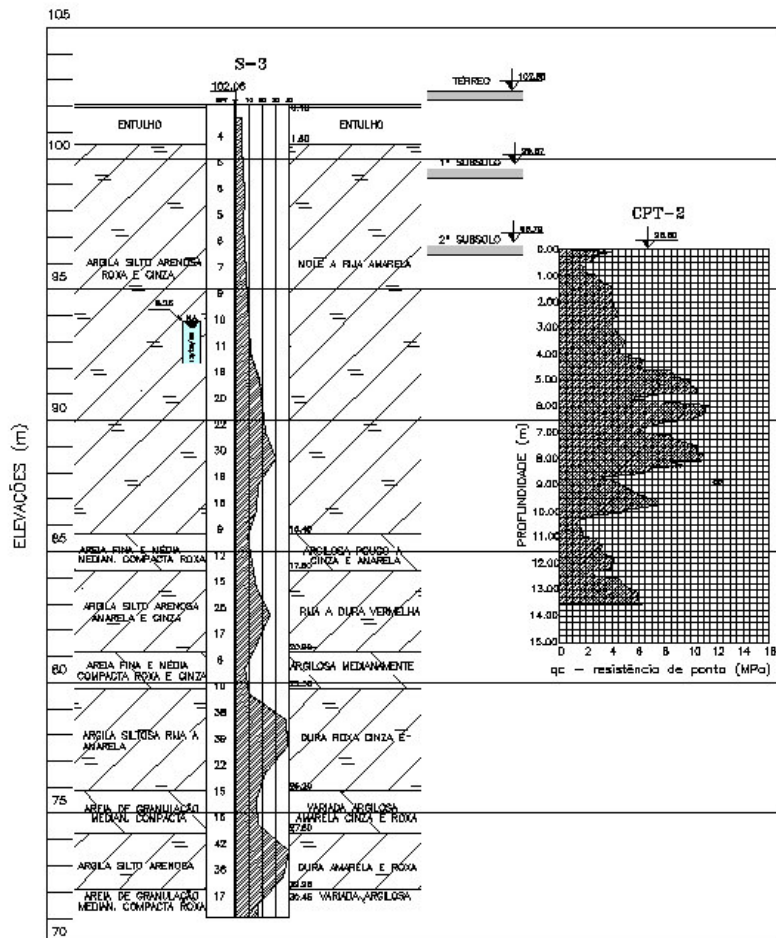
Área de sedimentos terciários de São Paulo - ocorrência de solos argilosos - bairro da Mooca

A camada denominada na classificação táctil-visual da sondagem à percussão, como argila silto arenosa, apresenta “Id” de comportamento granulométrico de silte [intermediário entre os solos muito finos (argilas) e muito grossos (areias)].

O índice “Kd”, mostra até cerca de 8,0 m de profundidade do ensaio “DMT”, solo altamente sobreadensado.

O módulo edométrico “M” até cerca de 8,0 m de profundidade do ensaio “DMT” exibe valores da ordem de 120 MPa (~ 1200 Kgf/cm²).

A coesão em condições não drenadas, nas avaliações em torno de 13,0 m de profundidade do “DMT”, em camada de argila silto arenosa, com “SPT” entre 15 e 25 golpes, exibe valor de 200 KPa (~ 2,0 Kgf/cm²).

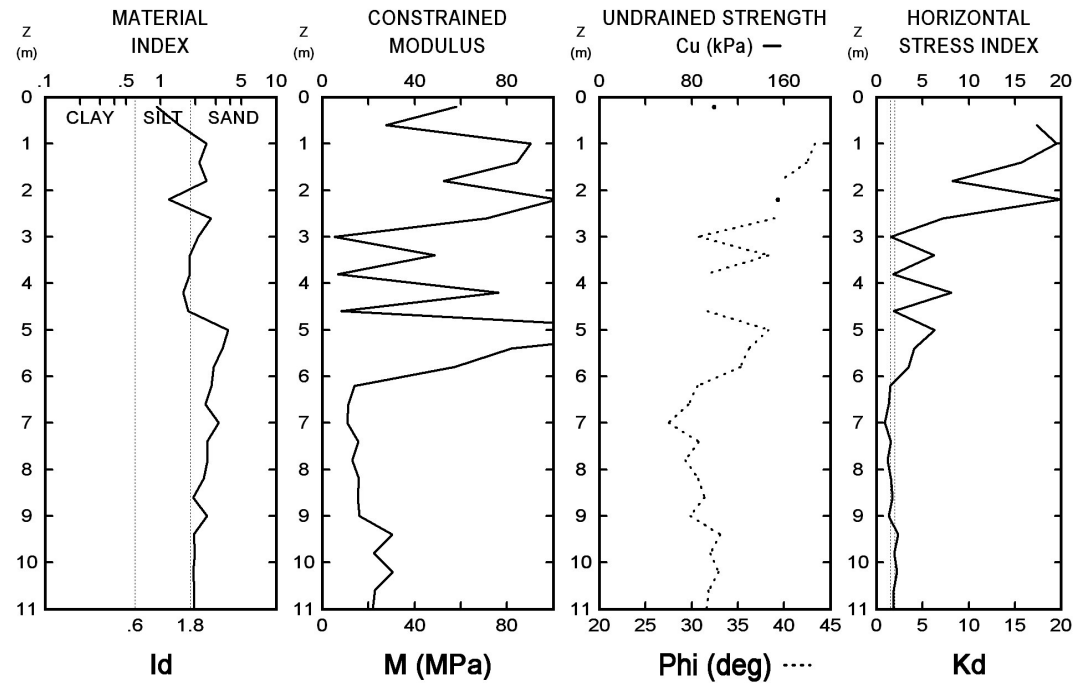
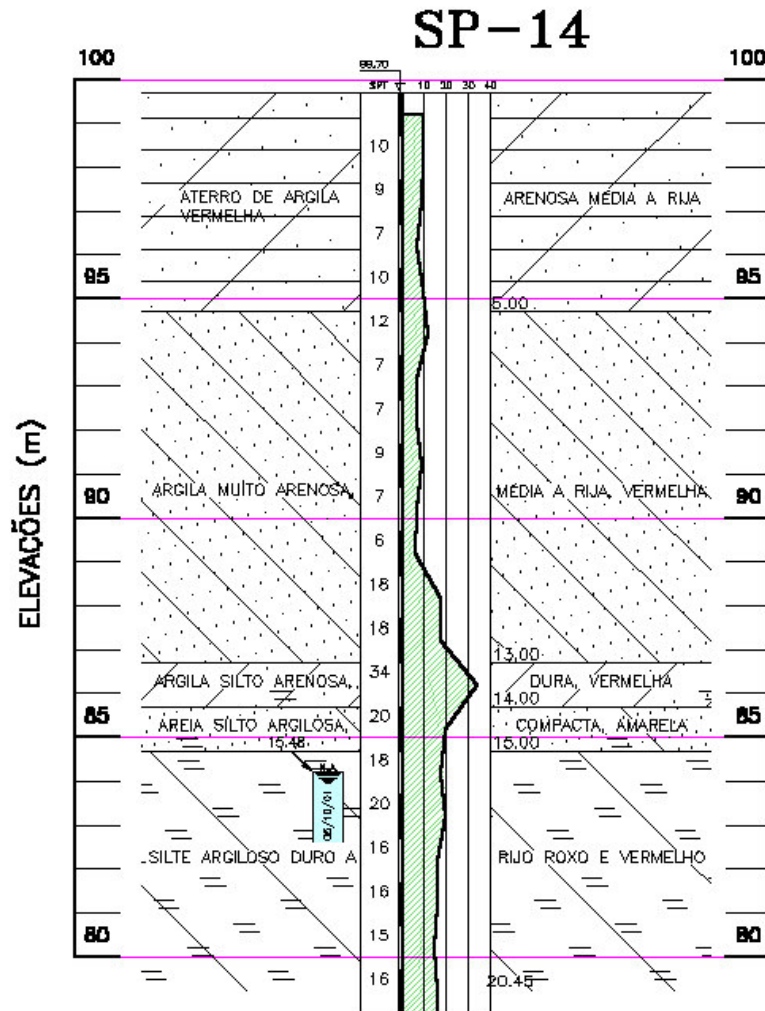


Área de solos de decomposição de arenito - Botucatu/SP

A classificação granulométrica indicada pelo índice “Id” resulta areias siltsas.

Na camada de aterro compactado, executada com o próprio solo local, em camadas, com controle tecnológico, destinada ao reforço do terreno para apoio de pesado equipamento industrial, os valores de “Kd” são altos, indicando esse efeito da compactação no solo natural, abaixo de 5,0 m o valor de “Kd” indica material “normalmente adensado”.

O solo compactado exibe um valor médio de “M” da ordem de 40 MPa (~ 400 Kgf/cm²) enquanto o solo natural exibe cerca de 15 MPa (~ 150 Kgf/cm²).



FAIXAS DE VALORES DO PARÂMETRO “M”

Dos exemplos apresentados neste trabalho, pode-se resumir na figura 3 adiante, as faixas de valores do módulo edométrico “M”, obtidas nos ensaios “DMT”.

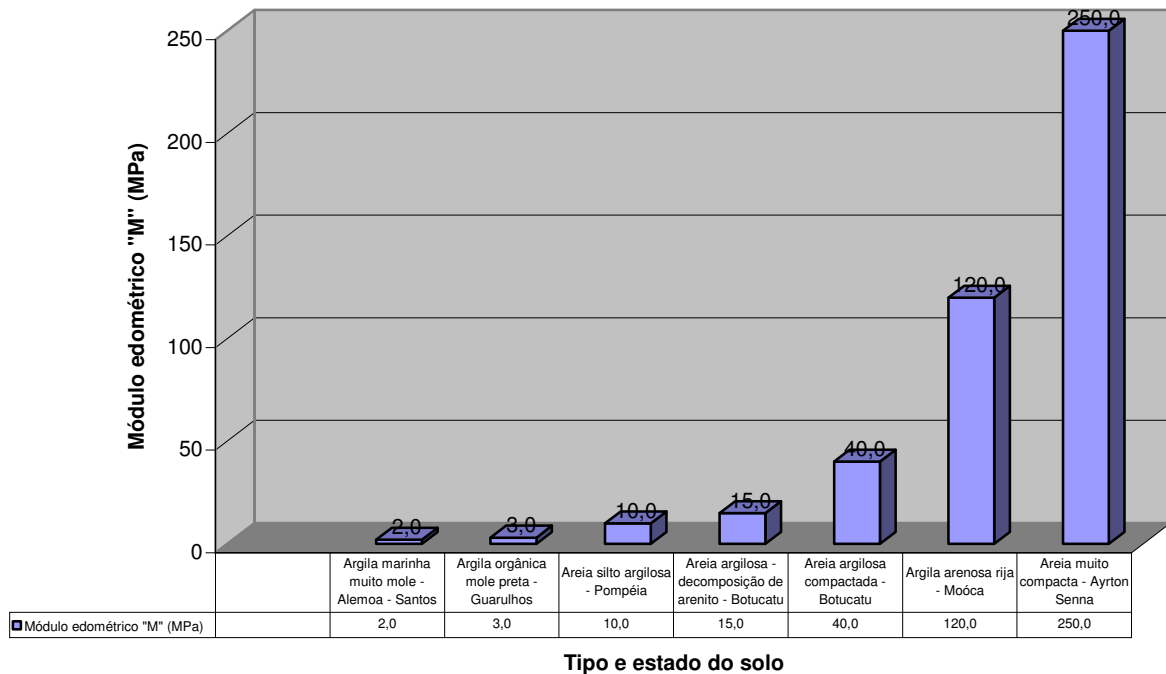


Figura 3 - Valores de “M”

CONCLUSÕES

O uso do ensaio “DMT” proporciona os elementos para que as análises possam ser conduzidas nas bases da Mecânica dos Solos, com recursos que as sondagens convencionais à percussão “SPT”, não podem oferecer, permitindo melhor compreensão do comportamento, do histórico de tensões, das características de deformabilidade e até as avaliações do comportamento de resistência.

Esse ensaio, deve ser usado sempre como complemento, após a execução de sondagem à percussão. Em nenhuma hipótese deverá substituir a sondagem à percussão.