

Avaliação Através de Bender Elements da Qualidade de Amostras de um Solo Muito Mole com Diferentes Amostradores

Graziella Maria Faquim Jannuzzi

Universidade Federal do Rio de Janeiro, UFRJ, Rio de Janeiro, Brasil, jannuzzi@coc.ufrj.br

Fernando Artur Brasil Danziger

COPPE e Escola Politécnica, UFRJ, Rio de Janeiro, Brasil, danziger@coc.ufrj.br

Ian Schumann Marques Martins

COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, Brasil, ian@coc.ufrj.br

RESUMO: Os critérios existentes para a avaliação da qualidade de amostras, em ensaios de laboratório, são em sua grande maioria qualitativos. Um critério quantitativo que tem sido largamente empregado na literatura internacional foi proposto por Lunne *et al.* (1997), baseado no valor de $\Delta e/e_0$. Este critério teve modificações propostas em seus limites, para atender ao caso de argilas moles brasileiras, por Coutinho (2007) e Andrade (2009). A principal desvantagem desse critério é a necessidade de realização do ensaio para se verificar a qualidade da amostra. Recentemente, bender elements piezocerâmicos têm sido empregados para se avaliar a qualidade da amostra antes da realização do ensaio pretendido. O bender element é um transdutor eletromecânico capaz de converter energia mecânica (movimento) em energia elétrica e vice-versa. Este dispositivo é utilizado em cada extremidade de um corpo de prova, sendo em uma extremidade usado para gerar um pulso de onda cisalhante - que se propaga ao longo do comprimento do corpo de prova - e outro elemento usado para captar as ondas geradas, determinando-se assim o tempo de chegada da onda do outro lado do corpo de prova. O tempo de viagem ao longo do corpo de prova produz uma medida direta da velocidade da onda cisalhante, v_s . Este valor é comparado com o proveniente de ensaio de campo. No presente trabalho foi utilizado o dilatômetro sísmico (SDMT), para se obter o v_s de campo. Com a finalidade de se verificar a qualidade da amostra obtida por diferentes tipos de amostradores com o intuito de se conhecer qual amostrador é capaz de fornecer uma amostra de melhor qualidade, empregou-se quatro tipos de amostradores: tubo PVC parede grossa, tubo de latão parede fina com e sem folga interna e o novo amostrador desenvolvido pela COPPE/UFRJ. Os resultados obtidos são discutidos e analisados no presente trabalho

PALAVRAS-CHAVE: argila mole, qualidade de amostra, bender element.

1 INTRODUÇÃO

A verificação da qualidade da amostra é uma prática usual, todavia os critérios existentes para a avaliação da qualidade de corpos de prova (inadequadamente designados como critérios de avaliação da amostra) em ensaios de laboratório são, em sua grande maioria, qualitativos, sendo talvez o mais comum a simples observação da curva índice de vazios,

e, versus log da tensão vertical efetiva, σ'_v , em ensaios de adensamento. Um critério quantitativo que tem sido largamente empregado na literatura internacional foi proposto por Lunne *et al.* (1997), baseado no valor de $\Delta e/e_0$. Recentemente, bender elements piezocerâmicos têm sido empregados para se avaliar a qualidade do corpo de prova antes da realização do ensaio pretendido. O presente trabalho descreve o emprego de bender

elements com essa finalidade. Tal pesquisa inclui o desenvolvimento de um novo amostrador para solos moles (Jannuzzi, 2013).

O solo a ser ensaiado é a argila mole do campo experimental de Sarapuí II, onde algumas pesquisas têm sido desenvolvidas desde o início da década passada (e.g., Alves, 2004; Francisco, 2004; Alves *et al.*, 2009; Jannuzzi, 2009; Porto *et al.*, 2010; Jannuzzi, 2013; Jannuzzi *et al.*, 2015).

2 CRITÉRIOS EXISTENTES PARA VERIFICAR A QUALIDADE DA AMOSTRA

2.1 Generalidades

Mesmo que não houvesse nenhum dos efeitos de distorção, tais como: distorção por extensão devida ao alívio da tensão vertical total pela abertura do furo para amostragem; distorção dos elementos do solo amostrado junto à parede interna do amostrador durante sua cravação; distorção dos elementos do solo junto à parede interna do amostrador durante a extração da amostra, no laboratório, haveria uma variação do estado de tensões entre a amostra no campo e no laboratório, antes do ensaio. O processo de amostragem em que só existissem alterações relacionadas à variação no estado de tensões é denominado de amostragem perfeita (e.g., Ladd e Lambe, 1963).

2.2 Critérios com base na curva de adensamento

No caso de ensaios de adensamento o amolgamento manifesta-se no aspecto da curva índice de vazios versus tensão vertical efetiva (e.g., Coutinho, 1976). O efeito desse amolgamento não é, entretanto, quantificado, ou, em outras palavras, não se conhece nenhuma proposta que quantifique o grau de amolgamento a partir da curva como um todo. Por outro lado, a verificação do grau de amolgamento, ainda que qualitativa, apresenta um segundo inconveniente, que é a necessidade de realização do ensaio para que se saiba se a amostra (na realidade, o corpo de prova) é ou não de boa qualidade.

Um critério quantitativo que tem sido largamente empregado na literatura internacional foi proposto por Lunne *et al.* (1997).

Aqueles autores basearam-se no valor de $\Delta e/e_0$, onde Δe é a diferença observada no ensaio entre o índice de vazios inicial da amostra e_0 e o índice de vazios associado à tensão vertical efetiva sob a qual a amostra se encontrava submetida no campo. A tabela 1 apresenta a classificação proposta por Lunne *et al.* (1997).

Tabela 1 - Classificação da qualidade da amostra (Lunne *et al.*, 1997).

OCR	$\Delta e/e_0$			
	Muito boa a excelente	Boa a regular	Pobre	Muito pobre
1-2	<0,04	0,04-0,07	0,07-0,14	>0,14
2-4	<0,03	0,03-0,05	0,05-0,10	>0,10

Com base nos resultados de ensaios em argilas moles brasileiras, Coutinho (2007) propôs alterações nos limites da tabela de Lunne *et al.* (1997), tornando o critério menos rigoroso (ver tabela 2).

Tabela 2 - Classificação da qualidade da amostra (Coutinho, 2007).

OCR	$\Delta e/e_0$			
	Muito boa a excelente	Boa a regular	Pobre	Muito pobre
1-2,5	<0,05	0,05-0,08	0,08-0,14	>0,14

As argilas ensaiadas por Coutinho (2007) possuem OCR entre 1 e 2,5. Andrade (2009) sugeriu uma modificação da proposta de Coutinho (2007) - definindo melhor os intervalos -, a qual está apresentada na tabela 3. Finalizando o presente item, cabe salientar que existem outros critérios para verificação da qualidade do corpo de prova (ver, por exemplo, Ladd e DeGroot, 2003).

Tabela 3 - Classificação da qualidade da amostra (Andrade, 2009).

OCR	$\Delta e/e_0$					
	Muito boa a excelente	Muito boa a boa	Boa a regular	Regular a pobre	Pobre a muito pobre	Muito pobre
1-2,5	<0,05	0,05-0,065	0,065-0,08	0,08-0,11	0,11-0,14	>0,14

2.3 Averificação da qualidade da amostra através de bender element

2.3.1 Generalidades

Segundo Dyvik e Madshus (1985), equipamentos para geração de ondas de compressão (P) especialmente através de amostras de rochas por elementos piezoelétricos ou similares existem há anos. O problema com o uso desta técnica em solos saturados é que as medidas são controladas pelo fluido dos poros do corpo de prova que tem alta velocidade da onda de compressão. Processamento avançado e análise dos resultados podem remover o efeito do fluido nos poros mas, em geral, esta técnica é considerada de utilidade marginal em prover informações acuradas sobre o esqueleto do solo.

Este problema é superado quando se mede a velocidade da onda cisalhante (S), ao invés da velocidade da onda de compressão, uma vez que as ondas cisalhantes não são influenciadas pela presença da água nos poros. Os primeiros trabalhos envolvendo transdutores para gerar e receber ondas cisalhantes numa amostra de solo utilizaram placa cisalhante de cristal de quartzo ou cerâmica piezoelétrica. Existem várias desvantagens com este tipo de transdutor, sendo o principal problema a grande incompatibilidade entre as características de impedância do elemento e do solo. Em outras palavras, o movimento mecânico que é transferido do elemento ao solo é pequeno porque o elemento apresenta um pequeno movimento com elevada força e o solo apresenta um grande movimento com uma pequena força (Shirley e Hampton, 1978, citados por Dyvik e Madshus, 1985).

Segundo Landon (2004), bender elements são usados para medir a velocidade da onda cisalhante nos solos, em pequenas deformações, de forma não destrutiva, como uma alternativa para o tradicional ensaio de coluna ressonante.

Segundo Dyvik e Madshus (1985), o bender element de piezocerâmica é um transdutor eletro-mecânico capaz de converter energia mecânica (movimento) em energia elétrica e vice-versa. Este dispositivo é utilizado em cada extremidade de uma amostra de solo, sendo em

uma extremidade usado para gerar um pulso de onda cisalhante - que se propaga ao longo do comprimento da amostra - e outro elemento usado para determinar o tempo de chegada da onda cisalhante do outro lado da amostra. O tempo de viagem ao longo do comprimento conhecido da amostra produz uma medida direta da velocidade da onda cisalhante, v_s , ou seja:

$$v_s = \frac{L_t}{T_t} \quad (1)$$

onde: L_t = comprimento de percurso da onda cisalhante; T_t = tempo de percurso da onda cisalhante.

O módulo cisalhante ($G_{m\acute{a}x}$) é determinado pela expressão (2), admitindo-se o meio elástico (ver por exemplo Timoshenko e Goodier, 1970)

$$G_{m\acute{a}x} = \rho(v_s)^2 \quad (2)$$

onde: ρ = massa específica do solo

Martins (2011) critica essa determinação de $G_{m\acute{a}x}$, considerando que o solo tem comportamento visco-elástico e não elástico.

Segundo Dyvik e Madshus (1985), $G_{m\acute{a}x}$ é um importante parâmetro para variadas aplicações geotécnicas, inclusive para indicar perturbação da amostra comparando-se valores de campo e de laboratório.

Cabe lembrar que essa última aplicação – a ser empregada no presente trabalho – não necessita da hipótese elástica, uma vez que podem ser comparados os valores de v_s (de campo e de laboratório) e não os valores de $G_{m\acute{a}x}$.

Os bender elements podem ser incorporados em diferentes tipos de ensaio de laboratório, tais como DSS (direct simple shear ou ensaio de cisalhamento simples), triaxiais e adensamento. Isto traz as seguintes vantagens (Dyvik e Madshus, 1985): i) a qualidade de cada corpo de prova individual nestes diferentes ensaios pode ser avaliada; ii) $G_{m\acute{a}x}$ e outros parâmetros geotécnicos do ensaio (i.e., módulo cisalhante para maiores deformações do ensaio triaxial ou DSS) podem ser determinados e comparados para o mesmo corpo de prova. A

única desvantagem desta nova técnica é que não existe um método direto ou conveniente para determinar G para altos níveis de deformação.

2.3.2 Primeiros trabalhos usando o bender element piezocerâmico

Os problemas com o elemento de placa cisalhante foram superados com o uso do bender element de piezoceâmica (Shirley, 1978, Shirley e Hampton, 1978). O bender element é uma placa cujo bordo penetra no corpo de prova, ficando assim em balanço em relação à parte fixada no equipamento.

De acordo com Dyvik e Madshus (1985), Schulthesis (1981, 1981a e 1983) e Hamdi e Taylor-Smith (1982) usaram bender elements montados em diversos equipamentos de laboratório para medir a velocidade da onda cisalhante em corpos de prova de solo. O objetivo deste estudo era aperfeiçoar as técnicas de preparação e instalação de bender elements em equipamentos de ensaios geotécnicos e comparar diretamente os resultados com valores de ensaio de coluna ressonante.

3 SISTEMA UTILIZADO PELA COPPE/UFRJ

3.1 Generalidades

Para a pesquisa realizada na COPPE/UFRJ, por Jannuzzi (2013), foi fornecida pela UMass em Amherst uma base onde são instalados os bender elements, na qual corpos de prova são posicionados. Aquela universidade também forneceu os bender elements.

Uma vez que se desejava ter o sistema da COPPE/UFRJ tão próximo quanto possível do sistema da UMass (a respeito do qual já existe experiência), procurou-se adquirir os mesmos osciloscópio e gerador de função. Entretanto, ambos já se encontravam fora de produção. Foram então adquiridos equipamentos similares. O osciloscópio adquirido foi o PicoScope 4227 e o gerador de função foi o Fluke 271.

A montagem e os equipamentos são similares àqueles apresentados por Dyvik e

Madshus (1985) e Pennington *et al.* (2001). A figura 1 apresenta a montagem do equipamento.

Os ensaios com bender element são conduzidos com um gerador de função, um osciloscópio digital e lap top.

Todos os ensaios de bender elements realizados na UMass consistem de uma simples onda senoidal com uma frequência numa faixa de 500 Hz a 7 kHz. Embora ondas quadradas tenham sido usadas anteriormente (e.g., Dyvik and Madshus, 1985), pesquisas subseqüentes (e.g., Pennington, 1999) têm mostrado que ondas senoidais funcionam melhor para sinais de entrada. A diferença em tempo entre transmitir e receber sinais é medido e usado para determinar a velocidade da onda cisalhante.

No presente trabalho, o elemento transmissor foi ativado transmitindo-se uma onda senoidal de 20 V e frequência de 4 kHz, e ambas as ondas transmitida e recebida foram gravadas.

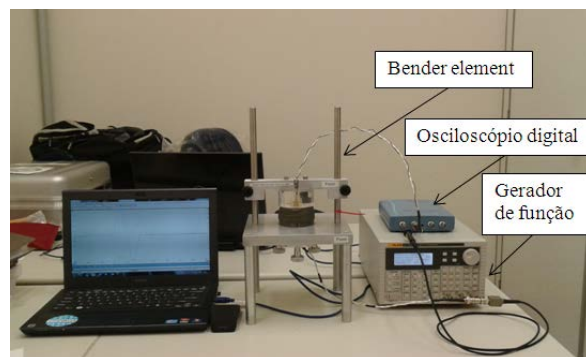


Figura 1 – Equipamento de ensaio com bender element da COPPE/UFRJ: laptop, osciloscópio digital e gerador de função.

3.2 Calibração

Deve-se salientar a importância da calibração dos “bender elements” que são calibrados aos pares –transmissor e receptor –, a fim de se identificar: (i) a polarização, ou seja: se positivo, aumento inicial na onda senoidal; se negativo, um decréscimo e (ii) o tempo de atraso do sistema. Os “bender elements” foram colocados juntos ponta com ponta (ver figura 2), de modo a se definir o seu comportamento sem corpo de prova de solo.

Na calibração do bender element, o tempo de atraso do sistema para o par de “bender elements” é identificado como a diferença de

tempo entre a onda transmitida e a recebida, que é denominado de t_c . O tempo de atraso é da ordem de 6 a 9 μs , conforme pode ser visto na figura 3, que deve ser subtraído do intervalo de tempo entre os tempos iniciais das ondas emitida e recebida de todos os ensaios para a obtenção da velocidade da onda cisalhante. Recomenda-se realizar a calibração antes de cada ensaio, empregando-se a voltagem e a frequência a serem utilizadas no mesmo.

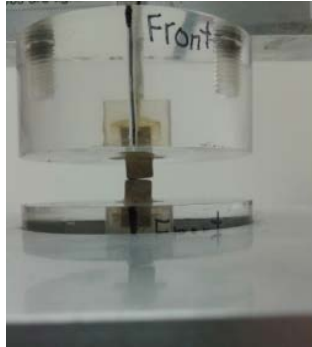


Figura 2 – Elementos transmissor e receptor ponta com ponta (Jannuzzi, 2013).

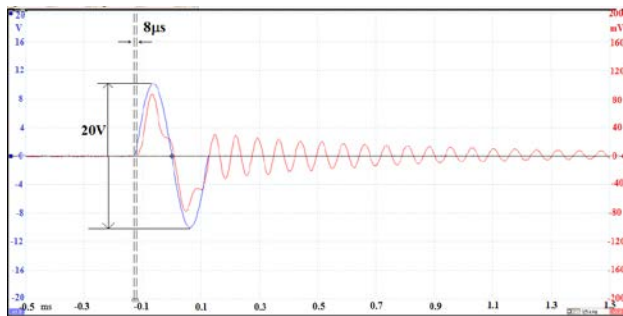


Figura 3 – Calibração dos “bender elements” utilizados na presente pesquisa (Jannuzzi, 2013). Eixo x (tempo em ms) eixo y em azul (V) e em vermelho (mV).

4 VALORES DE LABORATÓRIO VERSUS VALORES DE CAMPO

Não existem ainda teorias que façam uma análise comparativa entre valores medidos em campo (submetidos, portanto, ao estado de tensões in situ) e medidos em laboratório (sem qualquer tensão total externa, representando a amostragem perfeita). As abordagens existentes, ainda incipientes, são empíricas, e uma proposta de avaliação da qualidade da amostra correlacionando o critério de Lunne *et al.* (1997) com a relação entre v_s de campo e de laboratório, para a Boston Blue Clay (BBC), foi

apresentada recentemente por Landon *et al.* (2007), ver tabela 4.

Tabela 4. Classificação da qualidade da amostra para BBC baseada na velocidade da onda cisalhante normalizada (adaptada de Landon *et al.*, 2007).

Classificação da qualidade da amostra	$\Delta e/e_0$ para OCR<2 (Lunne <i>et al.</i> , 1997)	$V_s \text{ lab}/V_s \text{ campo}$
Muito boa a excelente	<0,04	>0,6
Regular a boa	0,04-0,07	0,35-0,60
Muito pobre a pobre	>0,14 e 0,07-0,14	<0,35

A velocidade da onda cisalhante obtida em laboratório será comparada com valores obtidos em campo, provenientes de ensaios de dilatômetro sísmico (SDMT), ver figura 4. A vantagem da medida da velocidade da onda cisalhante no SDMT em relação à maioria dos ensaios de piezocone sísmico (SCPTU) é que no SDMT existem dois geofones, possibilitando maior acurácia nos resultados (ver figura 5).



Figura 4 – Equipamento de realização de ensaio de dilatômetro com módulo sísmico da COPPE/UFRJ.

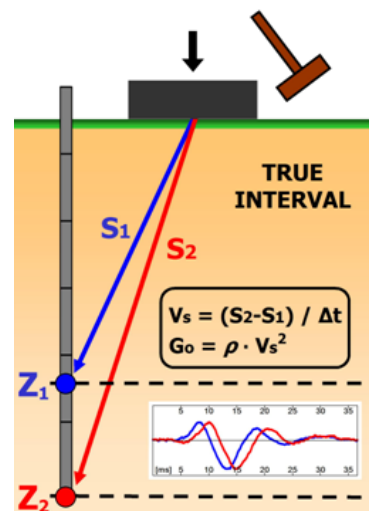


Figura 5 – Esquema de realização de ensaio sísmico (website de Marchetti, 2011).

5 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

5.1 Ensaios de adensamento

As amostras com os diferentes tipos de amostradores foram coletadas no depósito de solo mole de Sarapuí II, no qual também se realizou o ensaio de SDMT, ver Jannuzzi (2013).

Pode-se verificar através das curvas de adensamento σ'_v versus ε_v (%), para as profundidades de 3 m e 6 m, figuras 6 e 7 respectivamente, que as amostras coletadas com o novo amostrador foram de melhor qualidade, seguindo dos amostradores sem e com folga interna e por último do amostrador PVC parede grossa.

Em todos os critérios analisados: Lunne *et al.* (1997), Coutinho (2007), Andrade (2009); os corpos de prova indeformados foram classificados como de excelente qualidade inclusive para o amostrador parede grossa de PVC, o que se mostrou surpreendente.

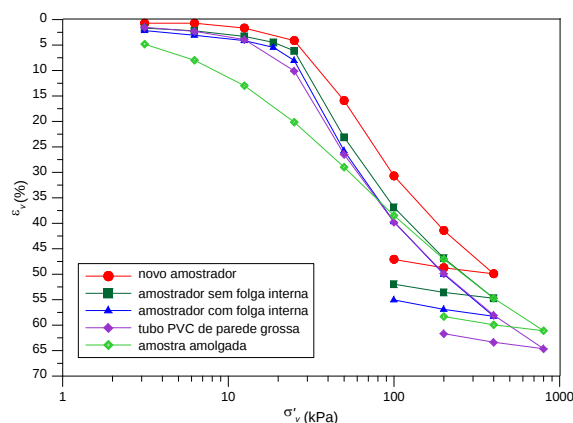


Figura 6 - Comparação de amostras provenientes de diferentes amostradores na prof. nominal de 3 m.

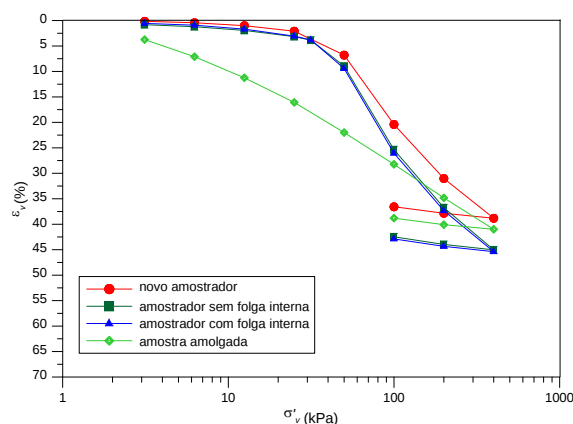


Figura 7 - Comparação de amostras provenientes de diferentes amostradores na prof. nominal de 6 m.

5.2 Ensaios empregando “bender elements”

Foram realizadas determinações de velocidade de propagação da onda cisalhante em duas condições, indeformada e completamente amolgada. Em todos os casos foram empregados, assim como nas calibrações ponta com ponta, uma onda senoidal de 20 V e frequência de 4 kHz.

Curvas típicas correspondentes a esses dois casos são apresentadas, respectivamente, nas figuras 7 e 8. A curva azul em ambas as figuras é relativa à onda senoidal gerada, e as curvas vermelhas são as ondas recebidas. Os segmentos de reta tracejados mais à esquerda em cada figura são associados aos pontos considerados como o início de subida de cada onda emitida, e os segmentos de reta mais à direita aos pontos considerados como o início de subida de cada onda recebida. A diferença de tempo correspondente a esses dois segmentos de reta – representativos dos “inícios” das curvas – subtraindo-se o valor de t_c é utilizada para o cálculo da velocidade de propagação da onda cisalhante, v_s , a qual está indicada na legenda de cada figura.

A diferença entre as velocidades de propagação da onda cisalhante é muito significativa, de 50,2 m/s no caso do corpo de prova indeformado para 21,1 m/s no caso da amostra completamente amolgada, evidenciando-se a importância da estrutura do solo influenciando aquela velocidade.

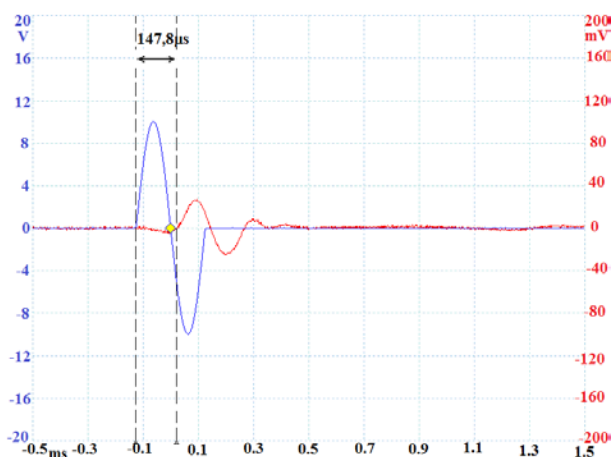


Figura 7 – Determinação de v_s corpo de prova na condição indeformada em anel de adensamento. Novo amostrador, profundidade 6,62 m, $v_s = 50,2$ m/s.

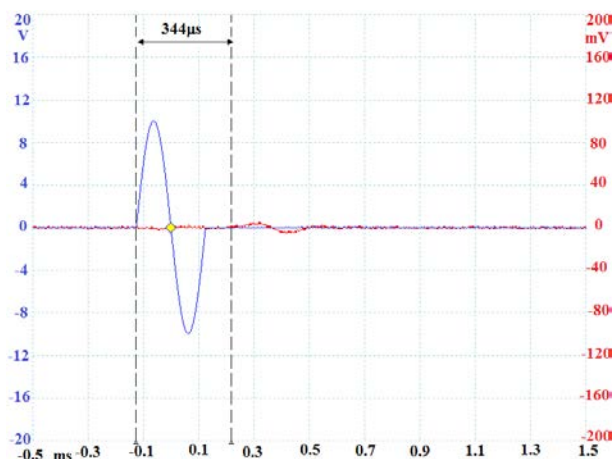


Figura 8 – Determinação de v_s no corpo de prova na condição amolgada em anel de adensamento. Novo amostrador, profundidade 6,58 m, $v_s=21,1$ m/s.

As velocidades de propagação da onda cisalhante, dos diversos amostradores, traçadas versus profundidade são apresentadas na figura 9 juntamente com as obtidas do ensaio de dilatômetro sísmico. Pode-se observar que a diferença entre as condições indeformada e completamente amolgada foi sempre muito significativa. A velocidade da onda cisalhante é maior nos corpos de prova indeformadas do que nos amolgados. Pode-se observar também que as velocidades dos corpos de prova relativos aos amostradores com e sem folga interna não apresentaram diferença capaz de ser notada, ou seja, se encontram na margem de erro da interpretação associada. Já as amostras com o novo amostrador forneceram velocidades um pouco maiores que as demais amostras.

No que diz respeito aos corpos de prova indeformados, verifica-se que v_s é maior nas amostras obtidas com o novo amostrador da COPPE/UFRJ do que com os demais utilizados. No que concerne aos corpos de prova completamente amolgados, o valor de v_s dos diferentes amostradores são praticamente os mesmos. Verifica-se um comportamento surpreendente para as amostras retiradas com tubo de PVC parede grossa, que resultaram em amostras de excelente qualidade, para maiores informações ver Jannuzzi *et al.* (2013). Ao se comparar os valores de v_s obtidos no campo através do dilatômetro sísmico com o de laboratório obtido com os bender elements verifica-se que os corpos de prova moldados com amostras indeformadas ficaram muito

próximos do valor de campo o que prova não só a qualidade da amostra e procedimentos de amostragem e armazenamento como um todo, mas também, a qualidade da moldagem dos corpos de prova. Pelo critério de Landon *et al.* (2007) todas as amostras indeformadas foram classificadas com de excelente qualidade.

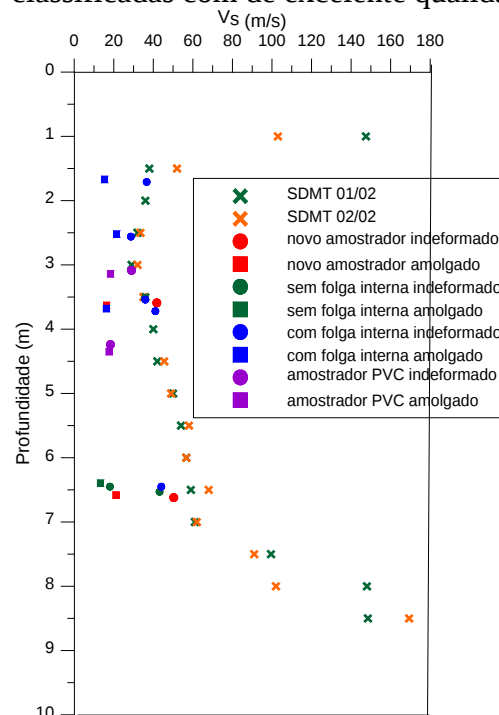


Figura 9 - Valores de v_s obtidos em anel de adensamento, condição indeformada e amolgada, comparados com velocidade de campo em ensaio de dilatômetro sísmico.

4 CONCLUSÕES

Em ambos os critérios analisados, de Lunne *et al.* (1997), Coutinho (2007), Andrade (2009) e Landon *et al.* (2007) os corpos de prova indeformados forneceram amostras de excelente qualidade inclusive para o amostrador parede grossa de PVC, o que se mostrou surpreendente.

Pode-se verificar que a propagação da onda cisalhante nas amostras indeformada e completamente amolgada foi sempre muito significativa. Pode-se observar também que as velocidades dos corpos de prova relativos aos amostradores com e sem folga interna não apresentaram diferença capaz de ser notada, ou seja, se encontram na margem de erro da interpretação associada. Já as amostras com o novo amostrador forneceram velocidades um pouco maiores que as demais amostras. Pode verificar tanto pelo aspecto da curva $\sigma'_v \times \varepsilon_v$ (%),

quando pela velocidade de propagação da onda cisalhante que as amostras coletadas com o novo amostrador da COPPE/UFRJ são de melhor qualidade.

AGRADECIMENTOS

Ao professor Don DeGroot, da Universidade de Massachusett, em Amherst, que forneceu o equipamento de medida da velocidade de onda cisalhante em laboratório e participou de discussões sobre a pesquisa. Ao CNPq e à CAPES/FAPERJ pela bolsa de doutorado e pós-doutorado do primeiro autor.

REFERÊNCIAS

- Alves, A.M.L. (2004). *A Influência da Viscosidade do Solo e do Tempo após a Cravação na Interação Dinâmica Estaca-solo em Argilas*. Tese de D.Sc., COPPE/UFRJ.
- Alves, A.M.L., Lopes, F.R., Randolph, M.F. e Danziger, B.R. (2009). Investigations on the Dynamic Behavior of a Small-Diameter Pile Driven in Soft Clay. *Canadian Geotec Journal*, Vol. 46 (12), p.1418-1430.
- Andrade, M.E.S. (2009). *Contribuição ao Estudo das Argilas Moles da Cidade de Santos*. Dissertação de M.Sc., COPPE/UFRJ.
- Coutinho, R.Q. (1976). *Características de Adensamento com Drenagem Radial de uma Argila Mole da Baixada Fluminense*. Dissertação de M.Sc., COPPE/UFRJ.
- Coutinho, R.Q. (2007). Characterization and Engineering Properties of Recife Soft Clays-Brazil. *Charact. and Eng. Properties of Natural Soils*, Taylor and Francis – Balkema, Vol. 3, p. 2049-2100.
- Dyvik, R. and Madshus, C. (1985). Lab Measurements of G_{max} Using Bender Elements. *Advances in the Art of Test Soils under Cyclic Conditions*, ASCE, p. 86-196.
- Francisco, G.M. (2004). *Estudo dos Efeitos do Tempo em Estacas de Fundação em Solos Argilosos*. Tese de D.Sc., COPPE/UFRJ.
- Hamdi, F. and Taylor-Smith, D. (1982). The Influence of Permeability on Compressional Wave Velocity in Marine Sediments. *Geophysical Prospecting* Vol. 30, p. 622-640.
- Jannuzzi, G. M. F., Danziger, F. A. B., Martins, I. S. M. (2015). Geological-geotechnical characterization of Sarapuí II clay. *Engineering Geology*, Vol. 190, pp. 77-86.
- Jannuzzi, G.M.F. (2013) Inovadoras, modernas e tradicionais metodologias para a caracterização geológico-geotécnica da Argila Mole de Sarapuí II. Tese de D.Sc., COPPE/UFRJ.
- Jannuzzi, G.M.F., Danziger, F.A.B., Martins, I.S.M. (2013) Surprising Soil Behaviour in Soil Sampling. *Soils and Rocks*, vol. 36, n. 3, pp. 265-274
- Jannuzzi, G.M.F. (2009). *Caracterização do Depósito de Solo Mole de Sarapuí II através de Ensaio de Campo*. Dissertação de M.Sc., COPPE/UFRJ.
- Ladd, C.C., and Degroot, D.J. (2003). Recommended Practice for Soft Ground Site Characterization: Arthur Casagrande Lecture. *12th PCSMGE*, Boston, p. 3-57.
- Ladd, C.C. and Lambe, T.W. (1963). The Strength of Undisturbed Clay Determined from Undrained Tests. *Proc., Symp. on Laboratory Shear Testing of Soils, Ottawa, ASTM Spec. Tech. Publ. 361*, p. 342-371.
- Landon, M.M. (2004). *Field Quantification of Sample Disturbance of a Marine clay Using Bender Elements*. Tese de M.Sc, University of Massachusetts, Amherst.
- Landon, M.M., DeGroot, D.J. and Sheahan, T.C. (2007). Nondestructive Sample Quality Assessment of a Soft Clay Using Shear Wave Velocity. *J. Geotech. and Geoenv. Engng.*, ASCE, Vol. 133 (4), p. 424-432.
- Lunne, T., Berre, T. and Strandvik, S., (1997). Sample Disturbance Effects in Soft Low Plastic Norwegian Clay. *Recent Developments in Soil and Pavement Mechanics*, Balkema, Rotterdam, p. 81-102.
- Martins, I. S. M. (2011). Comunicação pessoal.
- Marchetti, (2011) website.
- Pennington, D.S. (1999). *The Anisotropic Small Strain Stiffness of Cambridge Gault Clay*. Ph.D. Thesis, University of Bristol.
- Pennington, D.S., Nash, D.F.T., and Lings, M.L. (2001). Horizontally Mounted Bender Elements for Measuring Anisotropic Shear Moduli in Triaxial Clay Specimens. *GeotecTest Journal, GTJODJ*, Vol. 24 (2), p.133-144.
- Porto, E.C., Medeiros Junior, C.J., Henriques Junior, P.R.D., Foppa, D., Ferreira, A.C.P., Costa, R.G.B., Fernandes, J.V.V., Danziger, F.A.B., Jannuzzi, G.M.F., Guimarães, G.V.M., Silva Junior, S.P. e Alves, A.M.L. (2010). The Development of the Torpedo-Piezococone. *Proc., 29th International Conf. on Ocean, Offshore and Arctic Engineering*, Shanghai, Paper OMAE2010-20820.
- Shirley, D. J. (1978). An Improved Shear Wave Transducer. *Journal of the Acoustical Society of America*, Vol. 63 (5), p. 1643-1645.
- Shirley, D.J. and L.D. Hampton, (1978). Shear-Wave Measurements in Laboratory Sediments. *Journal of the Acoustical Society of America*, Vol. 63 (2), p. 607-613.
- Schulthesis, P. J. (1983). The Influence of Packing Structure and Effective Stress on v_s , v_p and the Calculated Dynamic and Static Moduli in Sediments. *Acoustics and Sea-Bed, Conf. Proc.*, p. 19-27.
- Schulthesis, P.J. (1981) Simultaneous Measurements of P&S wave velocities during conventional laboratory soil testing procedures. *Marine Geotechnology*, Vol. 4 (4), p. 343-367.
- Schulthesis, P. J. (1981 a). Development of Seismic Shear Wave Devices. *Marine Science Laboratories*, Gwynedd, U.K. Report.
- Timoshenko, S.P. e Goodier, J.N. (1970). *Theory of Elasticity*. Internacional Student Edition. McGraw Hill Kogakusha, Ltd. 3ªed. p. 567.