

COMPARAÇÃO ENTRE RESULTADOS DE ENSAIOS DE PIEZOCONO SÍSMICO E CROSS-HOLE. Thiago da Mota Ramos, Heraldo Luiz Giacheti, Bruna Ferraz Alvez – Engenharia Civil – Departamento de Engenharia Civil – Faculdade de Engenharia de Bauru – Campus de Bauru.

Os parâmetros dinâmicos do solo são utilizados para avaliar o comportamento do mesmo sob solicitações dinâmicas, tais como plataformas *off-shore*, fundações de usinas nucleares, terremotos e instalações de máquinas vibratórias.

Um dos ensaios de campo desenvolvidos com esse intuito é o ensaio de penetração de cone (CPT – Cone Penetration Test). Os avanços da eletrônica e a rápida evolução da informática permitiram o projeto e a construção de novas ferramentas para a obtenção de parâmetros do solo, mais apropriados, menores, mais robustos e mais econômicos.

O ensaio de piezocone sísmico (SCPTU) é um destes ensaios dentro da tecnologia de piezocone, onde são acoplados ao instrumento de piezocone sensores sísmicos, como geofones ou acelerômetros, utilizados para a captação de ondas sísmicas geradas por uma fonte. Este ensaio é também classificado como um ensaio geofísico de campo, pois fornece dados para obtenção de parâmetros dinâmicos do solo onde a investigação foi executada.

O principal objetivo desse trabalho foi avaliar o desempenho de um sistema desenvolvido para realização de ensaios de piezocone sísmico (SCPTU). Assim, são apresentados registros sísmicos utilizando esse sistema, obtidos dentro de furos dos ensaios *cross-hole*, no campo experimental da Universidade de Campinas, e comparados os valores de velocidade de ondas cisalhantes realizadas nesses mesmos furos usando o *cross-hole* e o sistema para ensaios SCPTU.

O ensaio sísmico *down-hole* é uma das técnicas utilizadas para a obtenção de parâmetros dinâmicos do solo e vem sendo largamente utilizada pela sua facilidade de execução, rapidez e baixo custo quando comparado aos outros tipos de ensaios sísmicos.

Sua execução envolve basicamente três etapas: medida do tempo de chegada das ondas P e/ou S, determinação da velocidade da onda S (V_s) e/ou P (V_p) em cada profundidade de ensaio e cálculo do módulo de cisalhamento máximo (G_0) e/ou módulo de deformabilidade (E), para cada uma dessas profundidades.

O procedimento em campo é feito inserindo-se em um furo uma ponteira contendo um sensor (geofone) para a captação de ondas sísmicas geradas por uma fonte na superfície.

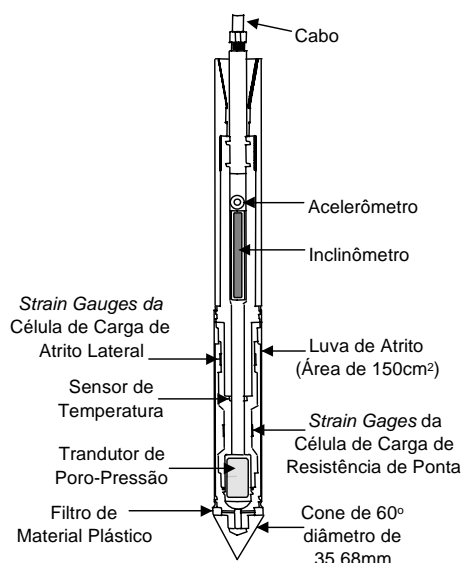


Figura 1: Piezocone sísmico, SCPTU (Davies & Campanella, 1995).

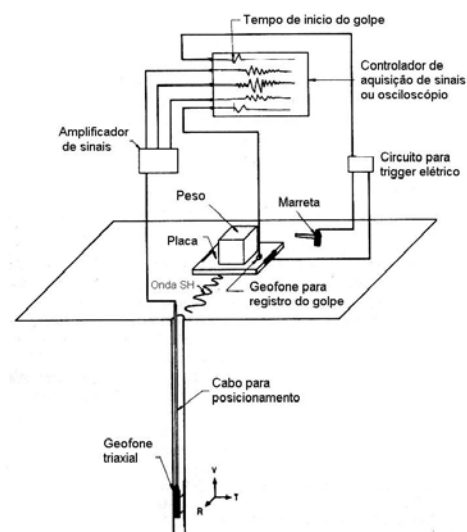


Figura 2: Esquema do ensaio Down-hole (Dourado, 1994)

Geralmente uma placa metálica é utilizada como fonte. Esta é afixada ao solo próximo ao furo e golpeada por um martelo para a geração de uma onda sísmica. Na placa há um dispositivo de contato que envia um sinal para o sismógrafo no instante em que a marreta toca sua superfície. À partir daí o sismógrafo começa a registrar as ondas captadas pelos geofones.

A etapa mais importante da interpretação do *down-hole* é a medida precisa do tempo de chegada da onda S e P. Por essa razão, o procedimento, normalmente adotado no campo, é obter quatro registros de ondas para cada profundidade de interesse: dois golpeando de um lado da fonte e dois golpeando do outro. Utiliza-se, assim, o recurso da inversão da polaridade e a superposição dos registros.

No ensaio cross-hole os receptores devem ser do tipo triaxial com as componentes dispostas ortogonalmente entre si (duas horizontais e uma vertical). As ondas P provocam vibração das partículas na mesma direção de propagação da onda e, desta forma, quando transmitidas diretamente entre fonte e receptor, são captadas com maior energia nas componentes horizontais. Por outro lado, as ondas S, com partículas vibrando ortogonalmente à direção de propagação da onda, são captadas com maior energia pela componente vertical (Giacheti, 2005).

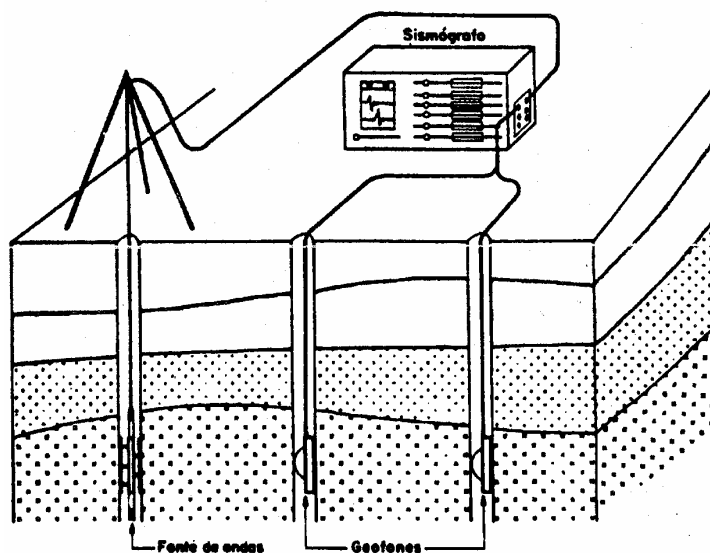


Figura 3: Representação esquemática do ensaio sísmico cross-hole (Dourado, 1994).

A velocidade da onda é determinada pela distância entre a haste geradora de ondas e o geofone, dividido pelo tempo de chegada até o geofone. São determinadas as velocidades de onda em intervalos fixos de profundidade. Desta forma, constrói-se o perfil do solo.

Esta técnica possui boa precisão, mas tem o inconveniente de requerer dois ou três furos de sondagem (Giacheti, 2005).

Os ensaios aqui analisados foram realizados no campo experimental da Universidade de Campinas, onde ocorre um solo constituído por uma argila siltosa até aproximadamente 6 metros de profundidade seguida por um silte argiloso residual de diabásio até em torno de 16 m, sendo separados por uma concreção em de aproximadamente 0,50 metro.

Os ensaios *cross-hole* realizados no campo experimental da Unicamp utilizaram um conjunto de equipamentos composto das seguintes partes: sismógrafo digital de 24 canais para armazenar os dados; uma fonte geradora de ondas sísmicas para furo de sondagem; dois geofones triaxiais para captação de ondas elásticas.

Para permitir a realização de uma sondagem SCPTU desenvolveu-se um sistema composto das seguintes partes: dispositivo gerador de ondas; piezocone com geofones incorporado; sistema de aquisição de dados, software para aquisição e tratamento dos sinais.

Na figura 4 são apresentados os resultados de dois ensaios SCPT realizados, distantes não mais de 3 m um do outro. Nela pode-se observar que os valores de resistência de ponta (q_c), atrito lateral (f_s) e razão de atrito (R_f) determinados em cada ensaio praticamente se sobrepõem, o que indica a presença de um perfil mais homogêneo nos dois locais ensaiados. Nessa figura têm-se ainda os valores de V_s determinados nesses ensaios e aqueles determinados em ensaios *cross-hole* mostrando que eles são consistentes e serão discutidos a seguir.

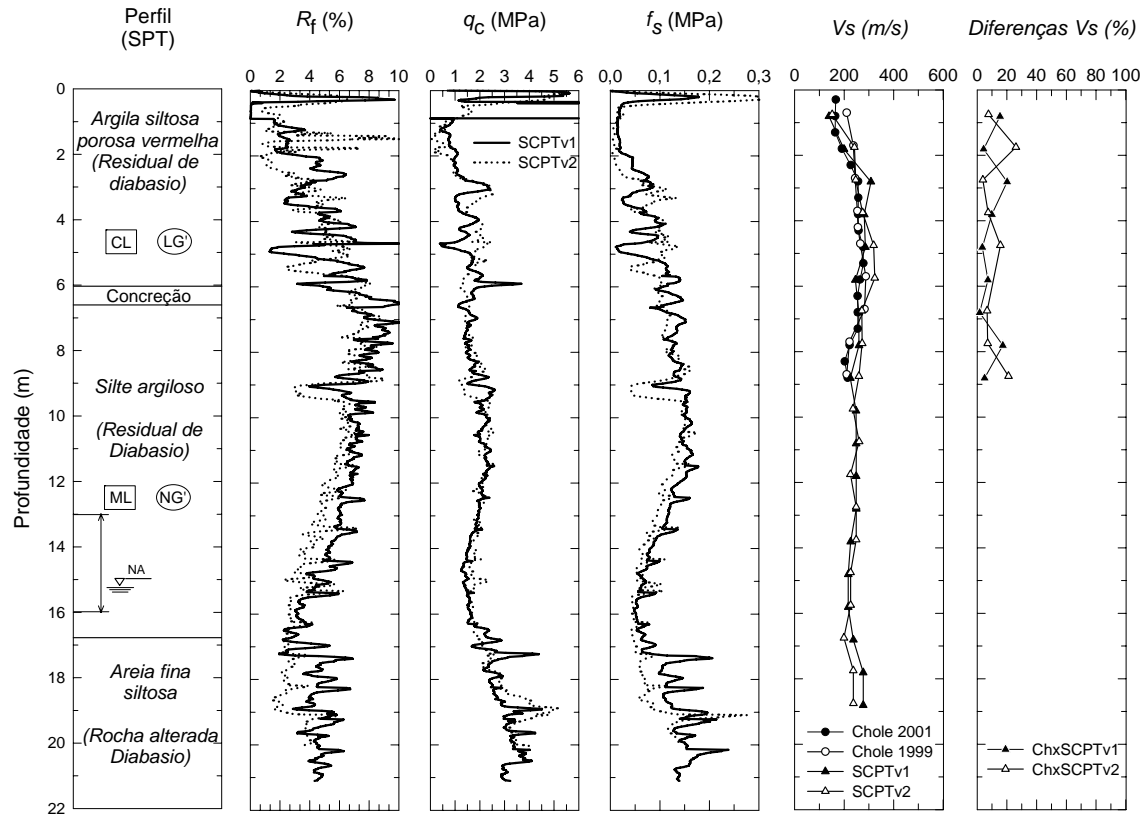


Figura 4: Resultados dos ensaios SCPT realizados no Campo Experimental da Unicamp-Campinas, destacando os valores de V_s determinados com os ensaios *down-hole* e comparação com os resultados de *cross-hole*.

Na Figura 5 tem-se representado os valores das velocidades de onda S determinadas nos ensaios SCPT utilizando a técnica *down-hole* com aquelas determinadas pela técnica *cross-hole*. Observa-se, nessa figura, que os valores de V_s determinados pelas diferentes técnicas são muito próximos (diferença relativa média de V_s igual a 10%) até a profundidade de cerca de 9 m, em que se tem resultado determinado pelas duas técnicas. Observa-se ainda, nessa figura, que a diferença entre as velocidades V_s determinadas pelos ensaios SCPTv1 e SCPTv2 é consistente com aquela obtida quando se compararam resultados por técnicas de ensaios distintos, nesse caso diferença relativa média de V_s foi igual a 11%.

Assim, os resultados dos ensaios SCPT realizados no campo experimental de Campinas são consistente e as variações que ocorrem nos registros de velocidade da onda S entre os dois ensaios realizados podem estar associados a presença de prováveis regiões do maciço com diferentes graus de alteração, que podem ser identificadas pelos de picos e depressões distintas nos registros de q_c e R_f , conforme pode ser observado em outros ensaios CPTU realizados no local, conforme apresentado por Giacheti (2005).

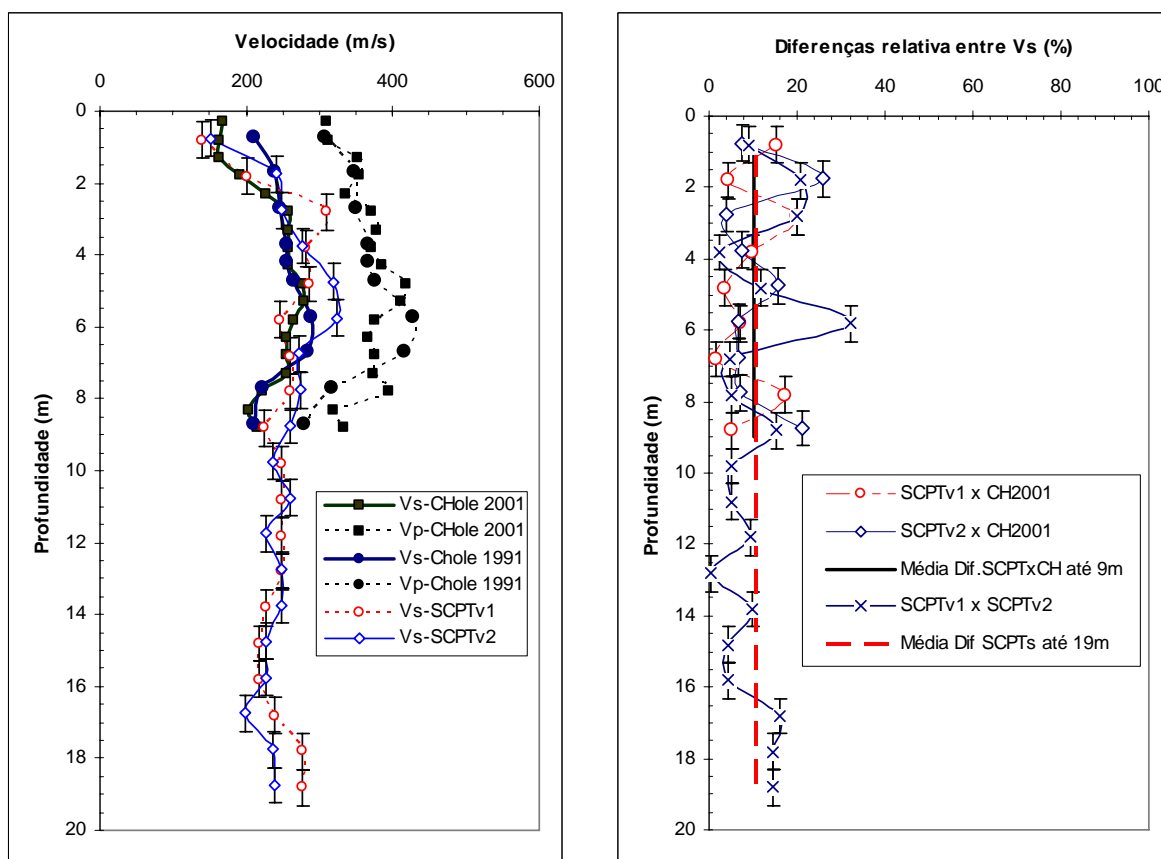


Figura 5: Comparação entre valores de Vs determinados em ensaios SCPT e cross-hole realizados no campo experimental da Unicamp-Campinas.

Os ensaios SCPT realizados ao lado de ensaios cross-hole mostram que os valores de Vs determinados nesses ensaios variaram entre 0 e 20% com um valor médio da ordem de 10%. Pode-se, assim, concluir que o sistema desenvolvido para realização de ensaios SCPT apresenta bom desempenho e pode ser utilizado na investigação geotécnica dos solos. As maiores diferenças observadas devem-se a variabilidade e uma possível anisotropia, já que os ensaios foram realizados em direções ortogonais.

Referências Bibliográficas

- DAVIES, M. P. & CAMPANELLA, R. G. (1995) **Piezocone Technology: Down-hole Geophysics for the Geoenvironmental Characterization of Soil**, Proceedings of SAGEEP 95, Orlando, Florida, April.
- DOURADO, J. C. (1994) **A utilização da sismica na determinação de parâmetros elásticos de maciços rochosos e terrosos “In Situ”**, São Paulo: ABGE. 13 p.
- GIACHETI, H.L. (2005). **Implantação e desenvolvimento do ensaio de piezocone sísmico para investigação de solos tropicais**. Relatório final de pesquisa. Processo nº03/05024-3. Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo.