

O ensaio sísmico *crosshole* na determinação de módulos de elasticidade dinâmicos em solos e rochas da Formação Furnas da Bacia Sedimentar do Paraná

Rubens Paschoal Cordeiro, Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo

Luiz Antonio Pereira de Souza, Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo

Otávio Coaracy Brasil Gandolfo, Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo

Copyright 2006, SBGf - Sociedade Brasileira de Geofísica

Este texto foi preparado para a apresentação no II Simpósio de Geofísica da Sociedade Brasileira de Geofísica, Natal, 21-23 de setembro de 2006. Seu conteúdo foi revisado pela Comissão Techno-científica do II SR-SBGf mas não necessariamente representa a opinião da SBGf ou de seus associados. É proibida a reprodução total ou parcial deste material para propósitos comerciais sem prévia autorização da SBGf

Resumo

Discute-se neste trabalho a utilização do ensaio sísmico *crosshole* na determinação de velocidades de propagação de ondas de compressão e de cisalhamento para cálculo de módulos de elasticidade dinâmicos em solos e rochas da Formação Furnas da Bacia Sedimentar do Paraná. Os valores de velocidade para a onda de compressão situaram-se entre 2367 e 3550 m/s e para a onda de cisalhamento entre 345 e 1553 m/s. A razão de Poisson variou entre 0,38 e 0,49.

Introdução

Valores de velocidade de propagação de ondas sísmicas guardam relações estreitas com litologia e algumas propriedades de maciços, simplificadas pelo grau de fraturamento e alteração, porosidade e saturação, aspectos que justificam sua utilização em estudos de natureza geológico-geotécnica. Os módulos de elasticidade dinâmicos determinados com os valores de velocidade das ondas de compressão e de cisalhamento, por sua vez, têm sido utilizados de forma rotineira em projetos de engenharia onde solicitações dinâmicas estão presentes, como em usinas nucleares, instalações termelétricas e algumas unidades industriais.

Metodologia

Em geologia de engenharia a determinação *in situ* de valores de velocidade de ondas sísmicas de compressão (P) e cisalhamento (S), particularmente para cálculo de módulos de elasticidade, é feita tradicionalmente com o ensaio sísmico entre furos *crosshole*. Nesse ensaio, fontes de energia adequadas à geração de cada um desses tipos de ondas, e receptores de frequência apropriada e orientados para responder preferencialmente às componentes de interesse do movimento do meio, se deslocam em furos de sondagens distintos, sendo as medições realizadas em profundidades específicas (Dourado, 1984; Prado, 1994; Prado et al., 2000).



Figura 1. Fonte de energia para geração preferencial de ondas S. A massa metálica é ancorada hidráulicamente contra as paredes do furo de sondagem e uma haste metálica, que se desloca relativamente à mesma, é utilizada na geração de energia através de impactos nas suas extremidades superior e inferior.

O arranjo para esse ensaio é normalmente definido por três furos verticais e alinhados. Num dos furos da extremidade se desloca a fonte de ondas e nos outros dois os receptores triaxiais. As fontes para as ondas S e P são distintas, assim, suas determinações são feitas em etapas distintas do ensaio. Na Figura 1 é mostrada aquela utilizada para geração de ondas S.

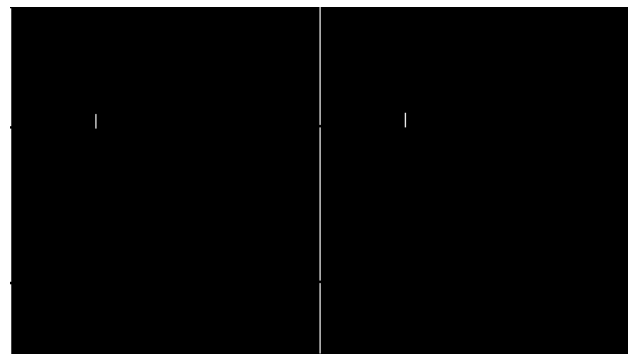


Figura 2. Identificação do tempo de chegada da onda S. No sismograma superior o impacto foi de cima para baixo e no inferior de baixo para cima. Observar a inversão de polaridade de acordo com o sentido do impacto.

As ondas S apresentam a propriedade de se polarizarem de acordo com o sentido do impacto, critério importante utilizado na definição do tempo de chegada. Esse aspecto está ilustrado na Figura 2.

Para a onda P, por apresentar velocidade de propagação mais elevada, sua identificação é associada à primeira chegada de grande energia (Figura 3).

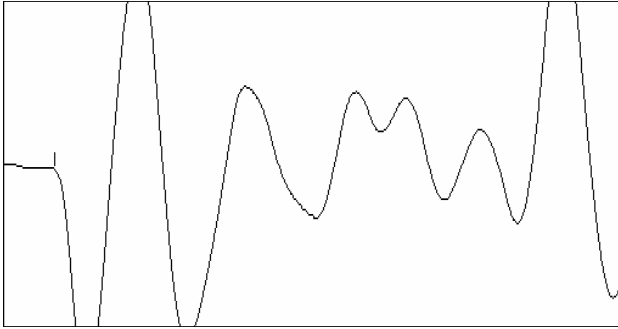


Figura 3. Identificação do tempo de chegada da onda P. Representa a primeira chegada de grande energia. Fonte de ondas tipo canhão de ar comprimido e registro obtido numa das componentes horizontais do receptor triaxial.

Na determinação dos módulos de elasticidade, são utilizadas as relações a seguir:

$$V_p = \sqrt{\left(\left(K + \frac{4}{3}G \right) / \rho \right)} \quad (1)$$

$$V_s = \sqrt{\frac{G}{\rho}} \quad (2)$$

onde K é o módulo de bulk (ou incompressibilidade), G o módulo de cisalhamento e ρ a densidade.

As equações 1 e 2, reescritas, resultam nas expressões seguintes:

$$\text{Módulo de Bulk (Gpa)} \quad K = \rho \left(V_p^2 - \frac{4}{3}V_s^2 \right) \quad (3)$$

$$\text{Módulo de cisalhamento (Gpa)} \quad G = \rho V_s^2 \quad (4)$$

$$\text{Módulo de Young (Gpa)} \quad E = \rho V_s^2 \frac{(3V_p^2 - 4V_s^2)}{(V_p^2 - V_s^2)} \quad (5)$$

$$\text{Razão de Poisson (adimensional)} \quad \nu = \frac{(V_p^2 - 2V_s^2)}{(2(V_p^2 - V_s^2))} \quad (6)$$

onde ρ é a densidade em Mg/m^3 .

Resultados

Os resultados estão sintetizados nas Figuras 4 e 5. Na primeira são mostrados os valores de velocidade, que para as ondas P situaram-se entre 2367 e 3550m/s, e para as ondas S entre 345 e 1553 m/s. Na segunda, são apresentados os valores da razão de Poisson que variaram entre 0,38 e 0,49.

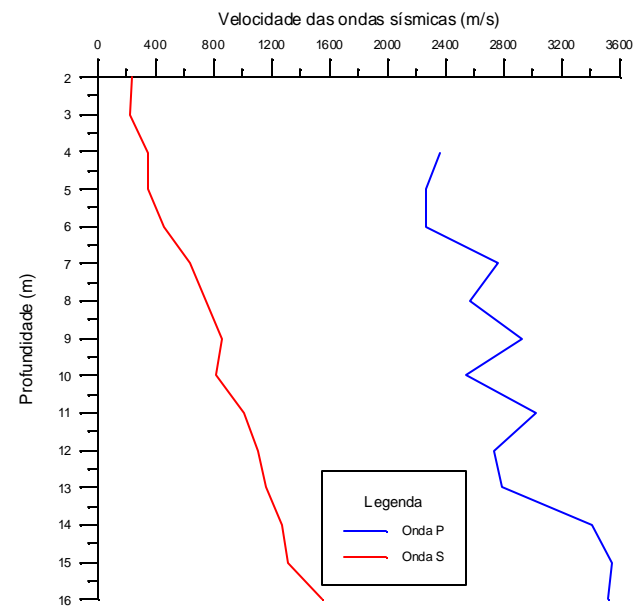


Figura 4. Valores de velocidade para as ondas P e S em sedimentos arenosos da Formação Furnas.

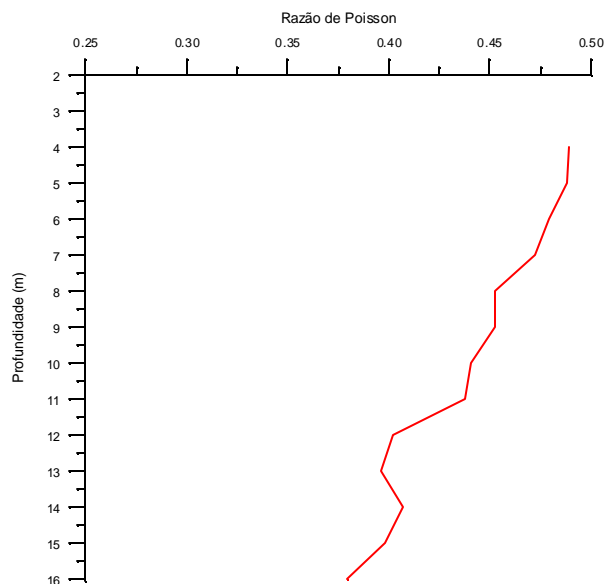


Figura 5. Razão de Poisson determinada com utilização da equação (6).

Discussão e Conclusões

Os valores elevados encontrados para a razão de Poisson refletem o grau de saturação do maciço, responsável pelos altos valores de velocidade apresentados pelas ondas P.

Referências

Dourado, J.C. **A utilização da sísmica na determinação de parâmetros elásticos de maciços rochosos e terrosos *in situ***. São Paulo, 1984: ABGE. 12 p. (Publicação especial).

Griffiths, D.H.; King, R.F. **Applied Geophysics for Geologists & Engineers**. New York, Pergamon Press Inc, 1983.

Prado, R. L. **O ensaio sísmico entre furos (*crosshole*) no estudo de maciços terrosos e rochosos**. São Paulo, 1994. 123 p. Dissertação de Mestrado – Instituto Astronômico e Geofísico da Universidade de São Paulo.

Prado, R. L.; Shukowsky, W. **O Emprego do Método Sísmico *Crosshole* na Cidade de São Paulo: Discussão de Procedimentos de Ensaio e Resultados**. Solos e Rochas - Revista Latino-americana de Geotecnia, v.23, n.2, p.79-91, 2000.

Santamarina, J.C.; Klein, K. A.; Fam, M.A. **Soils and Waves. Particulate Materials Behavior, Characterization and Process Monitoring**. New York, John Wiley & Sons, Ltd, 2001.

