Determinação de coeficiente de Poisson do substrato rochoso a partir de análise dos dados sísmicos de onda P e onda PS registradas apenas no plano vertical

Isabella Tomasella Auad* (IPECI/UNISANTOS), Oleg Bokhonok (IAG-USP & IPECI/UNISANTOS), Liliana Alcazar Diogo (IAG-USP), Victor Jorge de Oliveira Marum (IPECI/UNISANTOS)

Copyright 2016, SBGf - Sociedade Brasileira de Geofísica

Este texto foi preparado para a apresentação no VII Simpósio Brasileiro de Geofísica, Ouro Preto, 25 a 27 de outubro de 2016. Seu conteúdo foi revisado pelo Comitê Técnico do VII SimBGf, 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

Esse trabalho apresenta uma ferramenta importante de investigação indireta de subsuperfície para uma melhor avaliação da geologia e das propriedades geotécnicas das áreas que serão usadas para construção de obras voltadas às necessidades de infraestrutura.

Os resultados apresentados mostram a possibilidade de determinar a razão Vp/Vs e coeficiente de Poisson a partir dos tempos de trânsito das ondas PP e PSv registrados com receptor vertical. Os valores indicam que o substrato rochoso no local de estudo é constituído predominantemente pelos sedimentos argilosos saturados.

Introdução

Nos tempos atuais surge a necessidade cada vez maior de construção de obras voltadas às necessidades de infraestrutura, e a falta de espaço físico nas grandes metrópoles tem levado à ocupação dos espaços subterrâneos (como por exemplo para a instalação de túneis, reservatórios de retenção de cheias, dutos para cabos elétricos e de fibra ótica, etc.). Para a elaboração desses projetos e sua execução é necessário ter um bom conhecimento da geologia e das propriedades geotécnicas da área.

O coeficiente de Poisson (σ) é um dos parâmetros mais requisitados para estudos geotécnicos e é definido como sendo a razão da tensão transversal pela tensão longitudinal sofrida por um corpo quando aplicada uma tensão unidirecional, compressiva ou distensiva, (Sheriff, 2002). Ou seja, o parâmetro que define o quanto o solo deforma no sentido horizontal em relação à deformação no sentido do carregamento. Também relaciona esta deformação às velocidades de onda compressional Vp e onda cisalhante Vs (Equação 1).

$$\sigma = \frac{\left(\frac{1}{2}\right)\left(\frac{Vp}{Vs}\right)^2 - 1}{\left(\frac{Vp}{Vs}\right)^2 - 1} \qquad (1)$$

A importância da utilização das velocidades Vp e Vs está na caracterização das propriedades da rocha. A velocidade da onda P embora seja útil, é uma função de três parâmetros independentes (módulo volumétrico, módulo de cisalhamento e densidade), tornando-a um indicador ambíguo de litologia. Calcula-se, então, a razão Vp/Vs, que independe da densidade, para inferir informações mais precisas da litologia, baseadas nas propriedades geotécnicas do solo (Kearey *et al*., 2002).

A sísmica multicomponente, por sua vez, permite o registro tanto das ondas P quanto das ondas S. No entanto, o valor alto do equipamento para aquisição dos dados sísmicos multicomponentes e a aparente complexidade de análise destes dados impedem uso amplo desta tecnologia.

Neste trabalho apresentamos uma metodologia para obter a razão Vp/Vs e o coeficiente de Poisson (σ) a partir do registro sísmico de reflexão registrado apenas em plano vertical, ou seja, a partir do registro sísmico convencional gerando e registrando energia sísmica no plano vertical.

Local de Estudo

Para esse estudo foram escolhidos os dados adquiridos dentro do campus da Universidade de São Paulo, situada na zona oeste do município de São Paulo, Brasil. A geologia neste local é representada por sedimentos terciários da Formação Itaquaquecetuba da Bacia Sedimentar de São Paulo que situa-se sobre o embasamento pré-cambriano. Na figura 1, está apresentada uma seção geológica elaborada através da correlação dos 3 poços existentes na área.

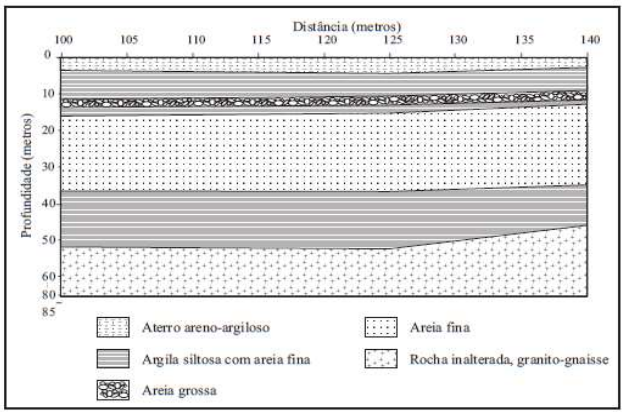

Figura 1 – Seção geológica obtida da correlação dos três poços existentes na área de estudo 2 (Adaptado de Borges, 2002).

Metodologia

A ideia central deste trabalho consiste em aproveitar a decomposição vetorial das ondas PP e PS no plano z-x. Nesta situação é possível registrar ambas as ondas com

receptor vertical e usar essa informação para obter a razão Vp/Vs e o coeficiente de Poisson.

A Figura 3a é uma representação habitual do registro de ondas PP e PSv, que não leva em conta a decomposição das ondas P e Sv no plano z-x, na direção vertical e horizontal radial (Figura 2). A representação que considera a decomposição do campo de onda multicomponente está na Figura 3b. Portanto para um meio isotrópico no plano z-x são registrados oito eventos refletidos para a mesma interface e não quatro.

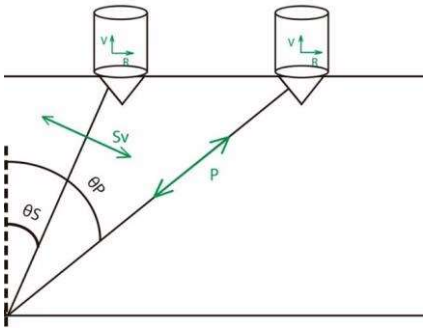

Figura 2 – Ilustração de decomposição das ondas P e Sv nas direções vertical (z) e horizontal radial (x).

FONTE \ RECEPTOR	RADIAL	VERTICAL
RADIAL	SvSv	SvP
VERTICAL	PSv	PP

(a)

FONTE \ RECEPTOR	RADIAL	VERTICAL
RADIAL	SvSv	SvSv
	SvP	SvP
VERTICAL	PP	PP
	PSv	PSv

(b)

Figura 3 – Representação das componentes registradas em um sistema de coordenadas cartesianas (XZ) assumindo meio isotrópico: (a) ondas PP, PSv, SvP e SvSv; (b) ondas PP, PSv, SvP e SvSv decompostas nas direções vertical (z) e horizontal radial (x).

<u>*Aquisição dos dados*</u>

Para adquirir os dados foi realizado um experimento chamado de Análise de Ruído (walkaway test), deslocando a fonte sísmica e deixando os receptores fixos (Figura 4).

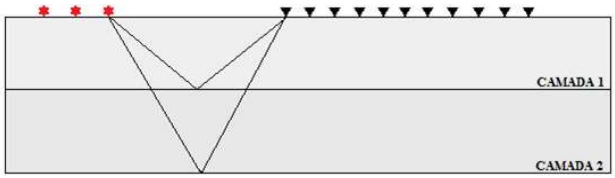

Figura 4 – Ilustração esquemática de geometria de teste de Análise de Ruído com receptores fixos.

Na tabela 1 estão apresentados os parâmetros de aquisição utilizados no local de estudo. Estes parâmetros foram escolhidos com base no conhecimento prévio da geologia do local.

Número de grupos de receptores	32 (fixos)
Afastamento mínimo	2 m
Afastamento máximo	128 m
Espaçamento entre os grupos de receptores	2 m
Número de pontos de tiro	2
Geofones	Horizontal de 28 Hz e Vertical de 40 Hz
Fontes	Marreta de 6kg impactada sobre: placa de metal acoplada no solo
Acoplamento dos geofones	Ponteira de 0,1
Intervalo de amostragem	0,25 ms
Comprimento do registro	700 ms
Filtro corta-baixa analógico	3 Hz

Tabela 1 – Parâmetros de aquisição dos dados sísmicos de reflexão na forma de Análise de Ruído.

Na figura 5 estão apresentados os registros sísmicos brutos adquiridos utilizando fonte vertical e receptores horizontais direcionados na direção radial (figura 5a) e receptores verticais (figura 5b).

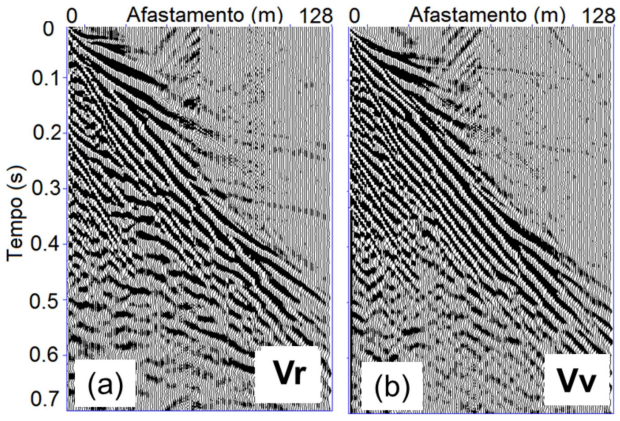

Figura 5 – Registro sísmico bruto adquirido na área de estudo: (a) Fonte Vertical – Receptor Horizontal Radial; (b) Fonte Vertical – Receptor Vertical.

Processamento dos dados

As ondas P e PSv foram processadas de forma individual, isto devido à esses dois tipos de onda possuírem diferentes conteúdos de frequência e velocidades. Para o processamento dos dados foi usado o pacote gratuito Seismic Unix (CWP/SU) (Stockwell & Cohen, 1998). Na Figura 6, os registros foram processados com o intuito de preservar a presença da energia da onda P.

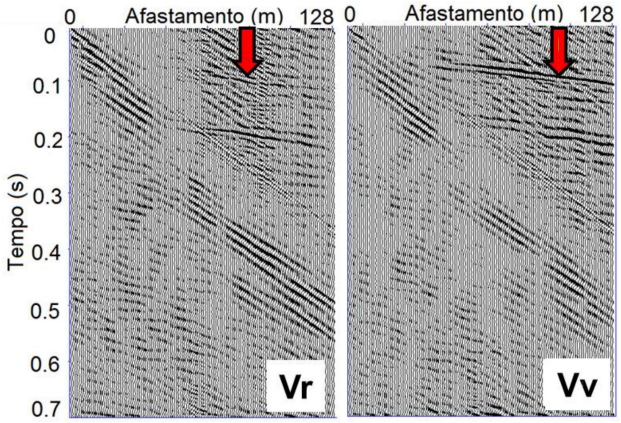

Figura 6 – Dado sísmico adquirido na área de estudo e processado com o intuito de preservar a presença de energia de onda P. Os eventos de onda P estão indicados com setas vermelhas.

Na Figura 7, os registros foram processados com o intuito de preservar a presença da energia da onda PSv.

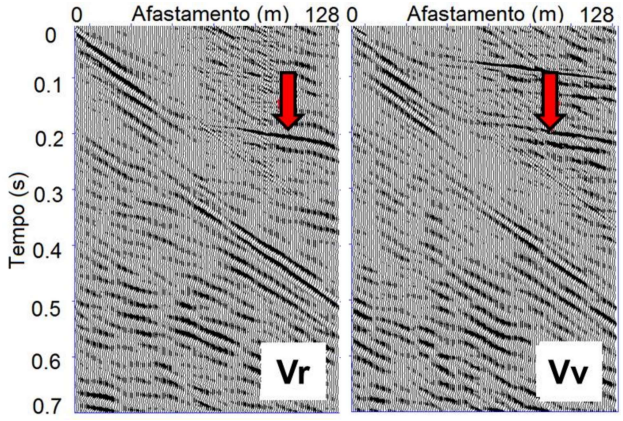

Figura 7 – Dado sísmico adquirido na área de estudo e processado com o intuito de preservar a presença de energia de onda PSv. Os eventos de onda PSv estão indicados com setas vermelhas.

Observando os dados sísmicos processados verificou-se que as ondas sísmicas PP e PSv foram registradas tanto com receptor vertical, como também com receptor horizontal radial. Entretanto, apenas o registro efetuado com receptor vertical já é suficiente para obter as informações de tempos de trânsito de onda PP e PSv.

Interpretação/Inversão de tempos de trânsito

Após a leitura dos tempos observados dos eventos de onda PP e PSv registrados com receptor vertical (Figuras 6 e 7) foi efetuada a inversão dos tempos utilizando a equação da hipérbole deslocada (Malovichko, 1978).

A função objetivo utilizada no procedimento de inversão foi L2 que quantificou a semelhança entre os tempos de trânsito calculados e observados. Portanto, o melhor ajuste dos dados calculados aos observados está associado ao valor mínimo da função objetivo de tempos de trânsito da onda PP e onda PSv refletidos. Os parâmetros estimados são o tempo normal, velocidade de RMS e parâmetro S (coeficiente de heterogeneidade).

Os resultados obtidos estão apresentados na Figura 8 e Tabela 2.

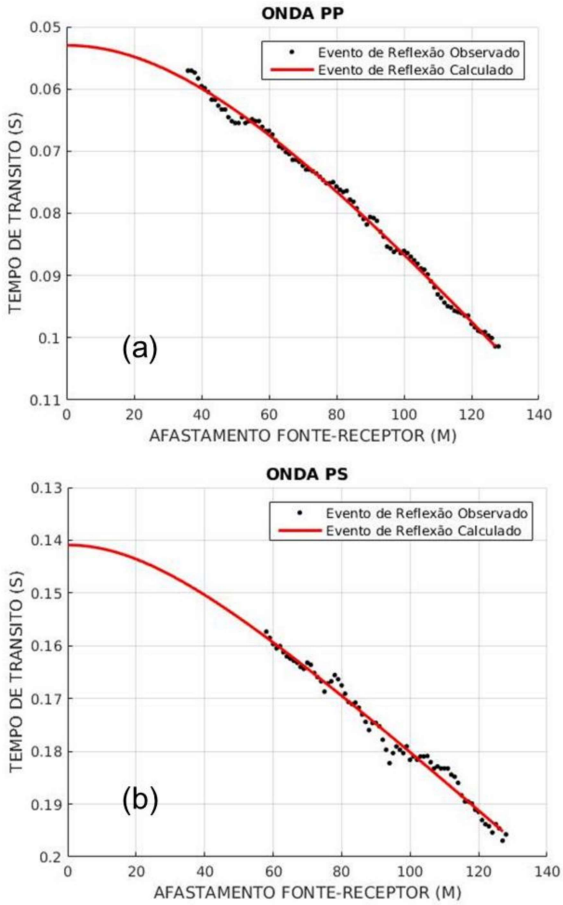

Figura 8 – Tempos de trânsito observados (pontos pretos), e os tempos de trânsito obtidos pela inversão (curva vermelha): (a) Onda PP; (b) Onda PSv.

Tipo de Onda	Parâmetros		
	t (0)	Vrms	S
PP	0.0531 s	1420,57 m/s	1,23
PSv	0.141 s	709,84 m/s	5,67

Tabela 1 – Valores da velocidade, tempo normal e parâmetro S, estimados pela inversão de tempos de trânsito da onda P e PS.

Cálculo de razão de Vp/Vs e coeficiente de Poisson

De acordo com os testes, com os dados numéricos apresentados em Bokhonok (2011), o parâmetro estimado que apresenta o menor erro relativo é o tempo normal (t_0). Por esse motivo, para o cálculo de Vp/Vs foram usados o tempo normal das ondas PP e ondas PS, como na equação 2.

$$\frac{V_P}{V_S} = \frac{2t_{PS}}{t_{PP}} - 1 \qquad (2)$$

O coeficiente de Poisson foi obtido utilizando a equação 1. O valor de razão Vp/Vs obtido é de 4,31 e o valor do coeficiente de Poisson obtido é de 0,472.

Conclusões

A razão Vp/Vs e o coeficiente de Poisson foram obtidos a partir dos tempos de trânsito da onda PP e PSv registrados com receptor vertical. Os valores indicam que o substrato rochoso no local de estudo é constituído predominantemente por sedimentos argilosos saturados.

Agradecimentos

ITA agradece à Universidade Católica de Santos pela bolsa de estudos de Iniciação Tecnológica (PROITI) ao IPECI e a todas as pessoas que me apoiaram na consecução deste trabalho.

OBC agradece ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela bolsa de Pós-doutorado (Processo: 159293/2015-4)

Referências

Bokhonok, O., 2010. Sísmica de reflexão rasa multicomponente: Aquisição e inversão de tempos de trânsito e amplitudes, IAG, Universidade de São Paulo.

Borges, W.R., 2002. Investigações geofísicas na borda da Bacia Sedimentar de São Paulo, utilizando-se GPR e Eletrorresistividade. Dissertação de Mestrado, IAG/USP. São Paulo, 153p.

Kearey, P.; Brooks, M.; Hill, I., 2002. An introduction to geophysical exploration. 3rd ed. Blackwell Science

Malovichko, A. A., 1978. A new representation of the traveltime curve of reflected waves in horizontally layered media. **Applied Geophysics** (in Russian), vol. 91: 47-53.

Sheriff, R. E., 2002. Encyclopedic Dictionary of Applied Geophysics. 4th ed. Tulsa: Society of Exploration Geophysicists.

Stockwell, J. W.; Coher, J. K., 1998. **The New SU User's Manual**. CWP Colorado School Mines, USA, version 2.2