



Estimativa automática de tempo de trânsito de ondas compressoriais em amostras de plugs: aplicação na determinação do parâmetro de Thomsen da onda P

Gabriel R. S. Costa (Faculdade de Geofísica-UFPA), José J. S. de Figueiredo (Faculdade de Geofísica-UFPA e INCT-GP) e Mykel da Silva Sousa (Faculdade de Geofísica-UFPA)

Copyright 2017, SBGf - Sociedade Brasileira de Geofísica.

This paper was prepared for presentation during the 15th International Congress of the Brazilian Geophysical Society held in Rio de Janeiro, Brazil, 31 July to 3 August, 2017.

Contents of this paper were reviewed by the Technical Committee of the 15th International Congress of the Brazilian Geophysical Society and do not necessarily represent any position of the SBGf, its officers or members. Electronic reproduction or storage of any part of this paper for commercial purposes without the written consent of the Brazilian Geophysical Society is prohibited.

Abstract

Este trabalho tem como objetivo estimar o parâmetro anisotrópico ϵ em amostras anisotrópicas sintéticas em ambiente ultrassônico. Este parâmetro que mede a anisotropia da onda P, foi estimado automaticamente através da técnica Short-Term Average/Long-Term Average (STA/LTA) método. A nossa metodologia baseada STA/LTA foi aplicada em um dado sintético e um dado experimental. No caso da amostra experimental, a diferença entre o valor estimado manualmente e valor obtido automaticamente foi de 0.017. Ou seja, 1.7 % de anisotropia a menos.

Introdução

Em alguma escala, as rochas têm, por natureza características anisotrópicas. Todavia, devido a simplicidade e praticidade, na sísmica, as rochas são estudadas partir de considerações isotrópicas. Isso foi possível, desde que a consideração da anisotropia não geraria erros graves caso fizéssemos considerações isotrópicas. Com o passar do tempo, as considerações isotrópicas não conseguiram mais ser satisfatórias para o tratamento destes dados e, com isso, foi preciso se aprofundar no estudo da anisotropia e na sua quantificação (Thomsen, 1986).

A definição de uma melhor maneira de “medir” anisotropia está na escolha dos parâmetros utilizados para representá-la, que usualmente são os próprios coeficientes elásticos do tensor de rigidez (stiffness) ou parâmetros derivados diretamente de premissas e aproximações destes coeficientes tornando-os atraentes, principalmente pela simplicidade. Sem dúvida o melhor exemplo é o caso dos parâmetros de Thomsen (Thomsen, 1986).

As principais vantagens do tratamento de dados sísmicos utilizando a notação dos parâmetros de Thomsen são as expressões de sobre tempo normal continuarem bastante simples. Por isso a importância de obtê-los. Neste trabalho temos a proposta de obter o parâmetro anisotrópico ϵ a partir da técnica Short-Term Average/Long-Term Average (STA/LTA) (Allen, 1978; Trnkoczy, 2002). Esta técnica possui um vasta aplicação na sismologia (Allen, 1978),

microsísmica (Wong et al., 2009b; Vaezi & van der Baan, 2015) e sísmica (Wong et al, 2009a). Neste trabalho aplicamos essa metodologia para obter o parâmetro ϵ de Thomsen automaticamente a partir das primeiras chegadas de onda P em uma amostra de plug cilíndrica.

Desenvolvimento teórico

Para determinar as primeiras chegadas de dados ultrassônicos (consequentemente as velocidade e parâmetro anisotrópico de Thomsen), foi utilizado o método da razão STA/LTA. Este método consiste na razão entre a amplitude média para uma janela pequena (ns) e a amplitude média para uma janela grande (nl). As razões STA e LTA são matematicamente representadas por

$$STA = \frac{1}{ns} \sum_{j=1}^i x_j^2, \quad (1)$$

$$LTA = \frac{1}{nl} \sum_{j=1}^i x_j^2, \quad (2)$$

nde x_j é a série temporal que representa o sismograma ultrassônico, STA e LTA são as medias para um janelamento curto (ns) e longo (nl), respectivamente. É importante salientar que neste trabalho consideramos a razão como o tempo de chegada da onda P.

A razão que determina o tempo de chegada da onda P é uma razão entre as funções STA e LTA, matematicamente estabelecida por

$$R_j = \frac{STA}{LTA}. \quad (3)$$

Neste trabalho também usamos a Razão de Energia Modificada (Wong et al., 2009b), dada por

$$REM_j = \left(\frac{\sum_{j=i-ne}^{i+ne} x_j^2}{\sum_{j=i-ne}^i x_j^2} abs(x_j) \right)^3, \quad (4)$$

no qual, é a janela do pulso de energia (geralmente do tamanho da janela nl). O pico da REM é geralmente muito próximo da primeira quebra de um dado livre de ruído ou com muito pouco ruído.

Aplicação: dado sintético

Vamos verificar o funcionamento da razão STA/LTA em um traço ideal formado por wavelet de Ricker como mostrado na Figura 1. A Figura 5 mostra os traços correspondente a STA, LTA, razão STA/LTA e REM. A picagem manual forneceu 0.944 s enquanto a picagem automática forneceu 0.946. Neste caso as janelas foram nl=0.08, ns=0.04 e ne=0.025.

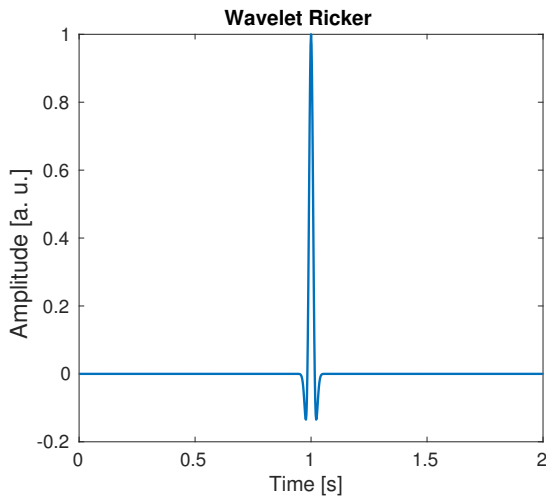


Figure 1: Exemplo de pulso Ricker com início em .

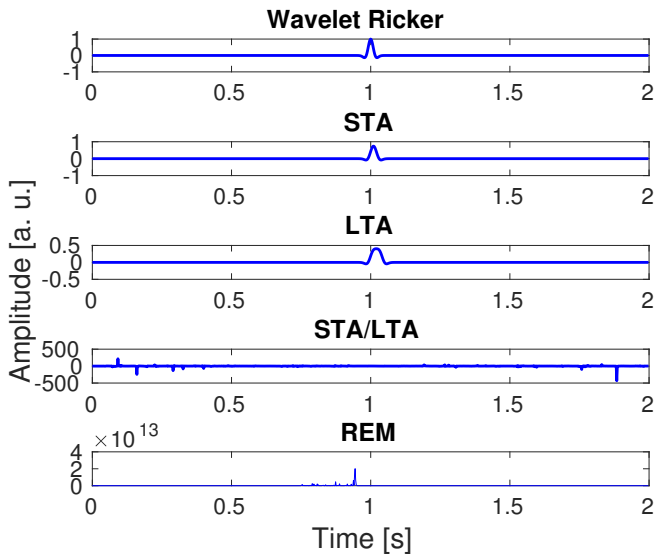


Figure 2: Exemplo da aplicação da razão STA/LTA e REM sob um traço constituído por wavelet do tipo Ricker ideal (sem ruído).

Aplicação em dados ultrassônicos

Como mencionado anteriormente o principal objetivo deste trabalho é calcular o parâmetro de Thomsen (1986) a partir dos tempos de chegada que será calculado a partir da razão STA /LTA ou parâmetro REM_j (equação 4). A amostra utilizada para o cálculo dos tempos de chegada tem formato cilíndrico com 38 mm de diâmetro, e foi feita a partir de cimento e areia, foram colocadas algumas heterogeneidades para gerar a anisotropia.

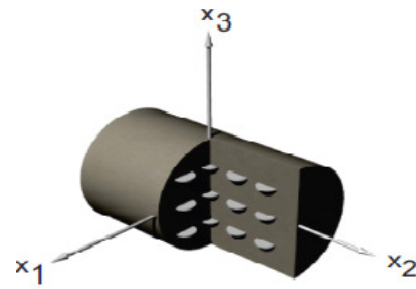


Figure 3: Diagrama esquemático do modelo anisotrópico sintético que foi utilizada no trabalho. A amostra no formato cilíndrico possui o mesmo comprimento de propagação independente do azimute da medida.

O parâmetro ϵ , conhecido como parâmetro anisotrópico associado a onda P, é calculado a partir da seguinte relação

$$\epsilon = \frac{V_P^2(90^\circ) - V_P^2(0^\circ)}{2V_P^2(0^\circ)}, \tag{5}$$

no qual ϵ é o parâmetro de Thomsen calculado, $V_P(90^\circ)$ é a velocidade da onda P calculada perpendicular a fratura e $V_P(0^\circ)$ é a velocidade da onda P calculada paralela a fratura. A figura abaixo ilustra o processo em que é feita a medida na amostra.

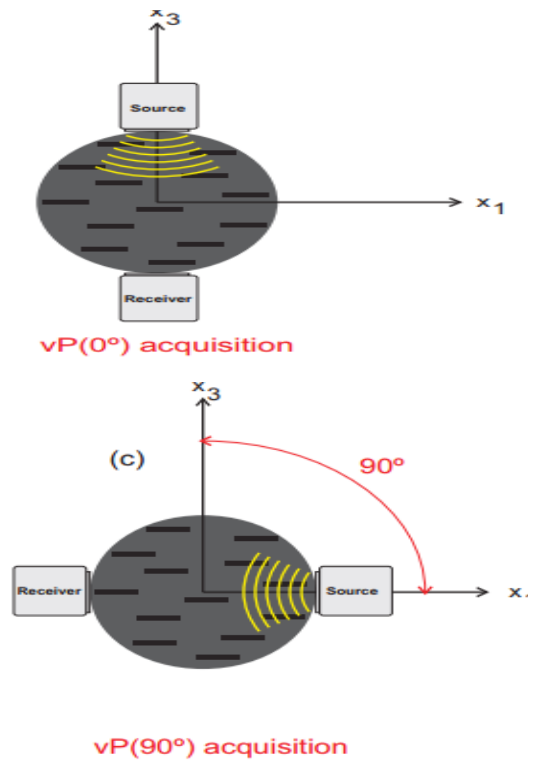


Figure 4: Ilustração pictórica de como foram feitas as medidas de onda P nas amostra de plug sintético. Temos a fonte e o receptor localizados em lados oposto do plug. A onda se propaga saindo da fonte até o receptor. A partir do tempo de chegada da onda P e da distância entre fonte e receptor, podemos calcular a velocidade da onda P

Todavia, como a distancia em 0 e 90 graus é a mesma, podemos simplificar a equação 4 e deixá-la em função somente dos tempos de chegada, conforme

$$\varepsilon = \frac{t^2(90^\circ) - t^2(0^\circ)}{2t^2(0^\circ)}, \quad (6)$$

no qual $t(0^\circ)$ e $t(90^\circ)$ são os tempos de chegada para 0 e 90 graus em relação ao eixo Z, respectivamente.

Para se obter os tempos de chegada foi usada a razão REM_j afim de se simplificar o problema de picagem manual. Foram realizadas neste trabalho medidas entre 0 e 90 graus de 10 em 10 graus para as picagens automáticas serem comparadas com as manuais neste intervalo de medidas. A Figura 5 mostra o fluxograma de como obter o parâmetro de Thomsen a partir do cálculo dos tempos de chegada dos .

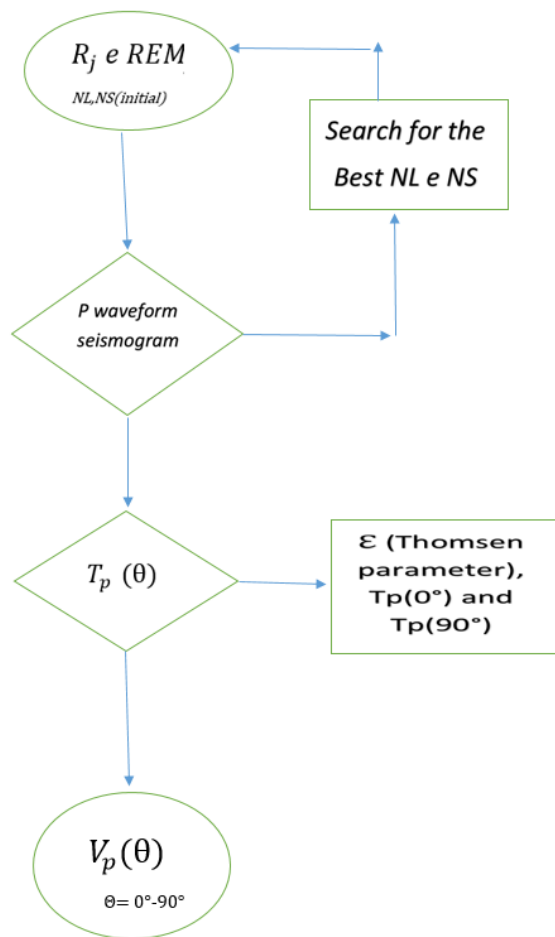


Figure 5: Fluxograma com as etapas para se obter a curva de velocidade e o parâmetro de Thomsen a partir do método da razão STA/LTA.

Foram feitos dois gráficos que mostram a variação do tempo de chegada com o ângulo de medida, um com os tempos de chegada obtidos de manual e outra com os tempos estimados a partir da picagem automática (com a razão STA/LTA) (feita a partir da observação do sismograma da Figura 6). Estes resultado de picagens são mostrados nas Figuras 7 e 8. No caso manual,

verificou-se que as variações dos tempos de chegada são pequenas em relação ao ângulo, o que esta correta do ponto de vista sísmico, todavia, os valores encontram-se muito dispersos na sua escala, o que é comum em estimativas feitas, principalmente por quem não tem experiência em realizar picagem manual.

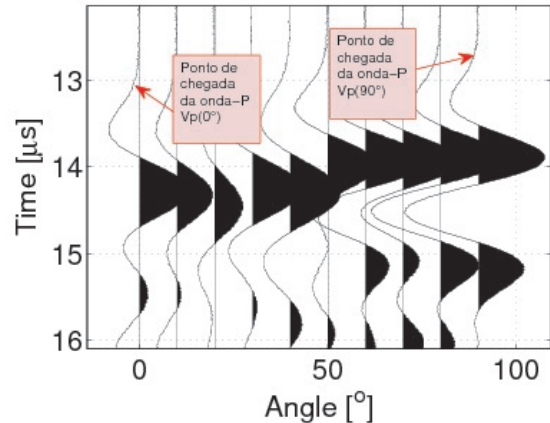


Figure 6: Sismograma de onda P para amostra de plug anisotrópica sintética analisada neste trabalho.

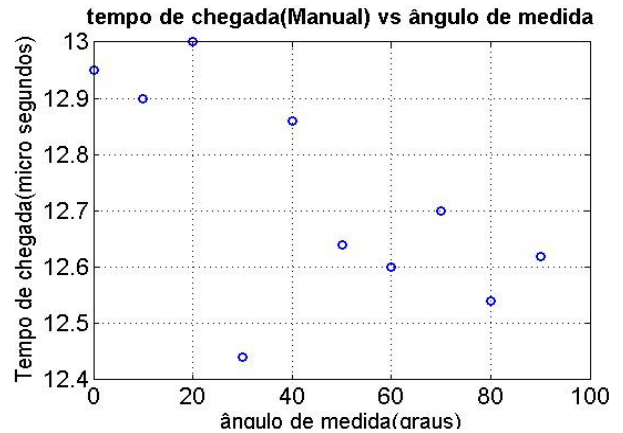


Figure 7: O gráfico mostra a variação do tempo de chegada das ondas P em relação ao ângulo de medida (θ). Esses tempos de chegadas foram estimados de forma manual a partir da análise do sismograma mostrado na Figura 6.

A Figura 8 mostra a variação dos tempos de chegada em função do ângulo de medida (ou polar). Verifica-se neste gráfico que as medidas realizadas apresentam mais coerência do que as medidas manuais. Como esperado no caso do meio VTI, os valores do tempo de chegada decresce à medida que o ângulo cresce. Além disso, a dispersão é menor do que aquelas que foram calculadas manualmente.

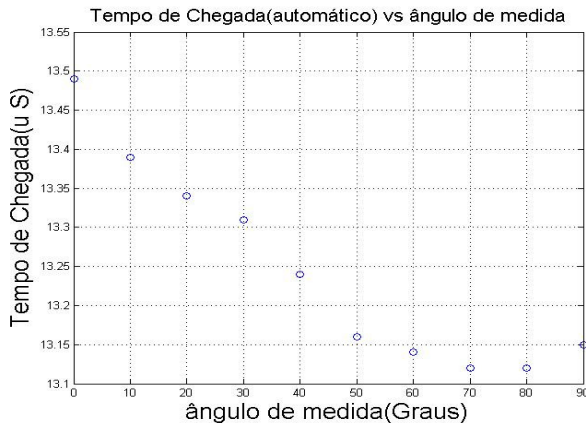


Figure 8: O gráfico mostra as medidas a variação do tempo de chegada da onda P em relação ao ângulo de medida. Os tempos de chegada foram obtidos a partir da razão STA/LTA.

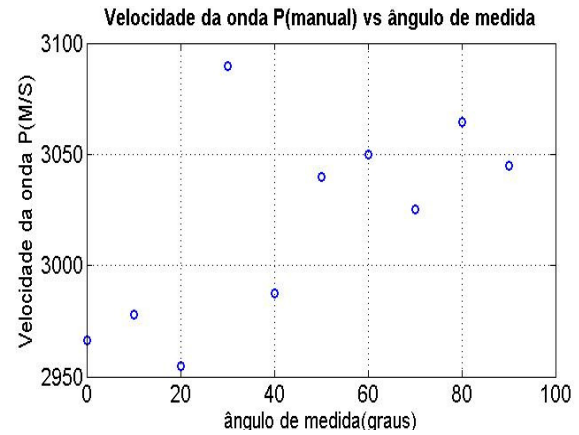


Figure 9: O gráfico mostra a variação de velocidade da onda P em relação a medida polar. Verifica-se o aumento da velocidade em função do ângulo e a baixa dispersão dos valores medidos. Os tempos utilizados para o cálculo da velocidade provem da razão STA/LTA.

Como mencionado anteriormente, em relação os registros da onda P, inicialmente, a direção de propagação da onda de compressão era perpendicular ao plano de fissuras, ou seja, ao plano XY (ver Figura 4). A partir daí, realizamos medições a cada 45° ao longo do diâmetro das amostras até o ângulo de 90° (a polarização paralela ao plano de fissuras). No total, foram registrados três traços de onda P em cada amostra. Para a estimar as velocidades da onda P usamos a seguinte relação

$$V_P(\theta) = \frac{D}{t_P(\theta) - \Delta t_{\text{atraso-P}}}, \quad (7)$$

em que D é o diâmetro do plug em que a onda P propagou da fonte até o receptor, $\Delta t_{\text{atraso-P}}$ é o tempo de atraso do transdutor de onda P, por último, $t_P(\theta)$ é o tempo de transmissão da onda P com respeito ao eixo Z.

A Figura 9 mostra os valores de velocidade para picagem manual enquanto a Figura 10 os valores de velocidade para picagem automática. Nas medidas manuais, encontram-se algumas dispersão na curva de velocidade em função do ângulo polar. Todavia, a mesma segue no geral uma aumento da velocidade com o aumento do ângulo, todavia a curva apresenta uma dispersão de dados maior do que no caso automático (ver a Figura 10). Foram encontrados resultados coerentes nas medidas automáticas, pois a tendência da curva de velocidade é aumentar a medida que o ângulo aumenta (comportamento esperado para meio VTI).

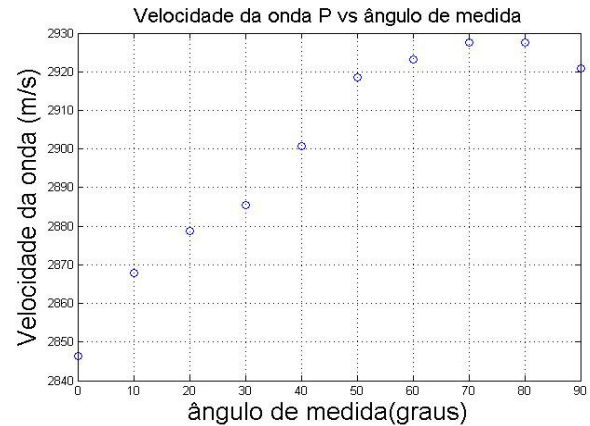


Figure 10: O gráfico mostra a variação de velocidade da onda P em relação aos ângulos de medida. Verifica-se o aumento da velocidade em função do ângulo polar e uma certa dispersão no valores medidos utilizando a picagem manual.

Para análise dos resultados, também foi calculado o parâmetro de Thomsen relacionado a anisotropia da onda P. Este depende das velocidades das ondas P em 0 e 90 graus em relação ao eixo Z (conforme está mostrado na equação 4) os valores obtidos pela picagem manual e pela picagem automática foram: 0,054 e 0,037. Esta diferença (0,014) embora seja pequena é importante no caso de quantificar corretamente meio com baixa anisotropia.

Discussão e Conclusões

Neste trabalho verificou-se que pode haver uma grande discrepância entre os tempos inferidos a partir da análise de picagem manual de tempo de chegada e dos tempos calculados a partir da picagem automática. A verificação do tempo de chegada da onda P pode variar dependendo do analista, porém, é provável que sempre tenhamos erro na picagem. Com o algoritmo de picagem automática há mais praticidade e confiabilidade dos valores obtidos,

o que diminui a taxa de erro em cálculos posteriores de velocidade assim como no parâmetro de Thomsen (1986) da onda P (parâmetro ϵ).

Como foi dito anteriormente, a precisão da picagem manual varia de acordo com o interprete, porém, na geofísica, quanto mais há diminuição das taxas de erro, maior é a chance de encontrarmos respostas satisfatórias do que procuramos na subsuperfície. O método utilizando a picagem automática nos permite essa maior precisão, além de ser prática, pode ser aplicada por pessoas com menos experiência devido a facilidade do código que nos fornecem a medida automática. O método computacional também pode trazer taxa de erro, porém, menores do que as medidas realizadas manualmente. O conhecimento do analista é importante, pois, caso tenhamos algum erro absurdo no algoritmo (na obtenção dos parâmetros da janela, por exemplo), o mesmo pode ser logo detectado por quem está utilizando o código.

Agradecimentos

Gostaríamos de agradecer ao CNPq (459063/2014-6) e a PROPESP-UFPA pelo suporte financeiro. Também gostaríamos de agradecer ao PET-MEC-UFPA por ter proporcionado ajuda de custo na construção dos modelos sintéticos. E também, a Dr. Carolina Barros tutora do PET-Geofísica.

Referências

- Allen, R. V., 1978. Automatic earthquake recognition and timing from single traces: Bulletin of the Seismological Society of America, 68, no. 5, 1521–1532.
- DIX, C. H. Seismic velocities from surface measurements. Geophysics, v.20, n.01, p.68-86, 1955.
- Trnkoczy, A., 2002. Understanding and parameter setting of STA/LTA trigger algorithm: IASPEI New Manual of Seismological Observatory Practice, 2, 1–20.
- HELBIG, K. Seismic anisotropy: Handbook of geophysical exploration, unpublished manuscript. 1994.
- Vaezi, Y. & Mirko van der Baan, 2015. Comparison of STA/LTA and Power Spectral Density (PSD) methods for Microseismic Event Detection, GeoConvention 2015: New Horizons, 1-4.
- Wong, J., Han, L., Stewart, R.R., and Bancroft, J.C., 2009a. Geophysical well logs from a shallow test well and automatic time-picking on full-waveform sonic logs: CSEG Recorder, 34, no. 4, 20-29.
- Wong, J., Han, L., Stewart, R.R., Bancroft, J.C., 2009b. Automatic time-picking of first arrivals on noisy microseismic data, CSEG.