

## Estimativa automática de tempo de trânsito de ondas compressoriais: aplicação na determinação do parâmetro de Thomsen

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 15<sup>th</sup> 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 15<sup>th</sup> 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

O trabalho tem como objetivo estimar o parâmetro elástico  $\varepsilon$ , que é conhecido como “anisotropia da onda P”. Para estimar este parâmetro, é utilizado um algoritmo que fornece o tempo de chegada da onda P a partir da teoria STA/LTA. As amostras utilizadas no trabalho foram feitas com uma mistura de cimento e areia, tem formato cilíndrico, com diâmetro de 38 milímetros alturas que variam entre 51 a 61 milímetros e inclusões cilíndricas, as amostras simulam um meio VTI de anisotropia fraca.

### Introdução

As rochas têm, por natureza, características anisotrópicas. Todavia, devido a simplicidade e praticidade, na sismica, muitos trabalhos de tratamento de dados provenientes das rochas são feitos a partir de considerações isotrópicas. Isso foi possível também devido considerar-se que a 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 (Banik, 1984; Thomsen, 1986; Wright, 1987; Mensch & Rasolofosaon, 1997; Berryman et al., 1999; entre outros). 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. A partir da necessidade de se obter este parâmetro, vários métodos vem sendo criados e aperfeiçoados, para aumentar a precisão dos dados. O método que será utilizado neste trabalho é muito utilizado na sismologia, que é a razão STA/LTA. (Wong, J., Han, 2009).

### Desenvolvimento Teórico

Para determinar essas velocidades, é utilizado o método da razão STA/LTA que é a razão entre a amplitude média de curto prazo e a amplitude média de longo prazo. Essa razão determina o tempo de chegada da onda P a partir das seguintes equações

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

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

Onde  $x_j$  é a série de tempos representando um sismograma, STA e LTA são as médias para um janelamento curto e longo, respectivamente. Neste trabalho consideramos a razão como o tempo de chegada da onda P

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

Vamos verificar como funciona a razão STA/LTA em uma wavelet de Ricker, mostrada na figura abaixo

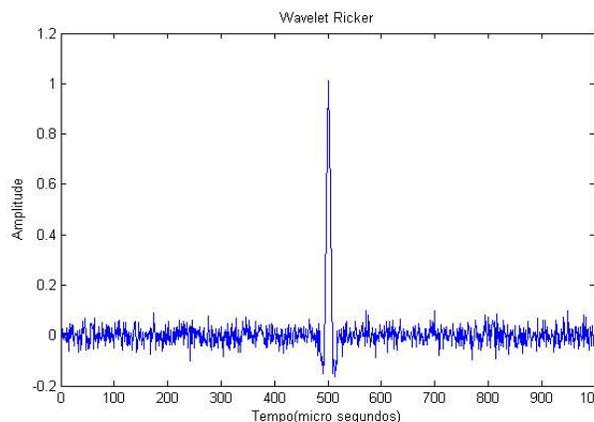


Figure 1: Pulso Ricker.

A seguir é mostrado a parte gráfica do método da razão STA/LTA

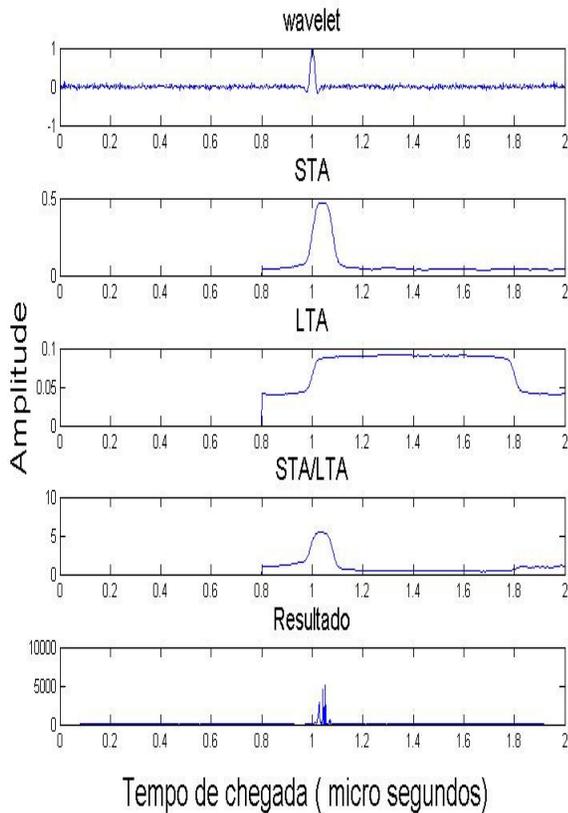


Figure 2: Pulso Ricker.

Observa-se que o gráfico de resposta, que é o último, tem um ponto de chegada da onda muito próximo do original, desse modo, com o truncamento de duas casas decimais, o valor fica exatamente 1.

### Metodologia

Como mencionado anteriormente o principal objetivo deste trabalho é calcular o parâmetro de Thomsen a partir dos tempos de chegada que será calculado a partir da razão STA /LTA. 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.

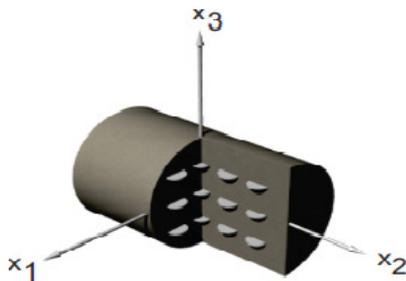


Figure 3: Modelo da amostra que foi utilizada no trabalho, os pequenos cilindros dentro da amostra representam as heterogeneidades, com objetivo de gerar um modelo anisotrópico.

O parâmetro calculado é conhecido como "anisotropia da onda P, o qual é calculado a partir da seguinte relação

$$\varepsilon = \frac{V_p(90^\circ) - V_p(0^\circ)}{2V_p(0^\circ)} \quad (4)$$

Onde  $\varepsilon$  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.

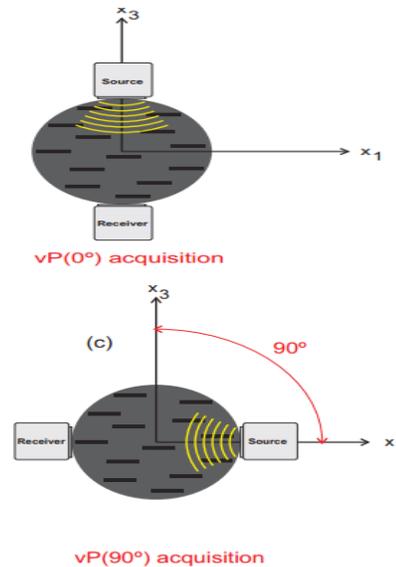


Figure 4: Ilustra como foram feitas as medidas nas amostras. Temos o source(fonte) e o reciever(receptor). A onda se propaga saindo da fonte ate o receptor. A partir do tempo de chegada da onda e da distancia entre fonte e receptor, podemos calcular a velocidade da onda P

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 a equação 5

$$\varepsilon = \frac{T(90^\circ) - T(0^\circ)}{2T(0^\circ)} \quad (5)$$

Onde  $\varepsilon$  é o parâmetro de thomsen medido,  $T_{90^\circ}$  e  $T_{0^\circ}$  são os tempos de chegada para 90 e 0 graus, respectivamente.

Para se obter os tempos de chegada foi usada a razão STA/LTA 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 a seguir mostra o fluxograma de como obter o parâmetro de Thomsen a partir do cálculo dos tempos de chegada a partir da razão STA/LTA.

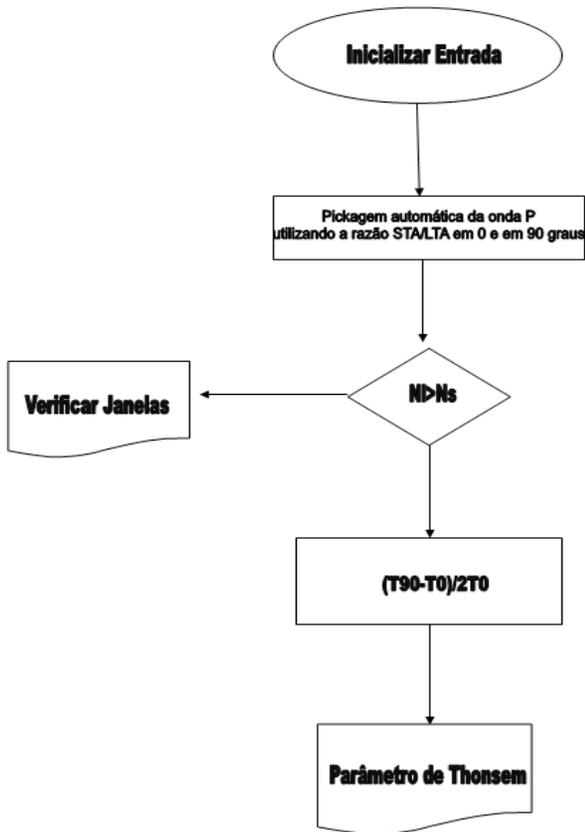


Figure 5: mostra o fluxograma com os passos para se obter o parâmetro de Thomsen a partir do método da razão STA/LTA

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 maneira automática ( com a razão STA/LTA) e outra com os tempos estimados a partir da picagem manual( feita a partir da observação do perfil ), os gráficos são mostrado abaixo

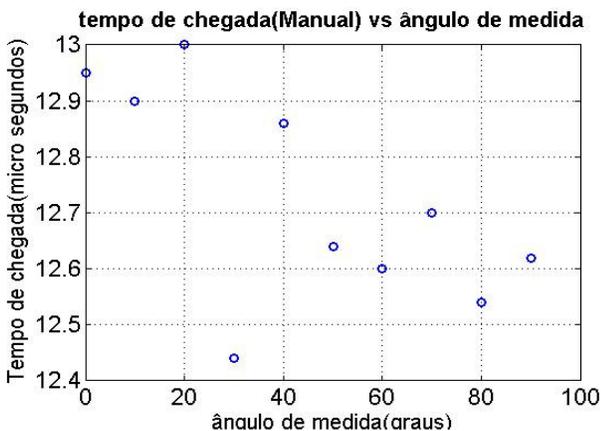


Figure 6: O gráfico mostra a variação do tempo de chegada das ondas P em relação ao ângulo utilizado na medida. Esses tempos de chegadas foram estimados a partir da análise do perfil.

Verifica-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. O próximo gráfico mostra a variação dos tempos de chegada com os ângulos de medida, os tempos de chegada ao próximo gráfico foram obtidos a partir da picagem automática (razão STA/LTA).

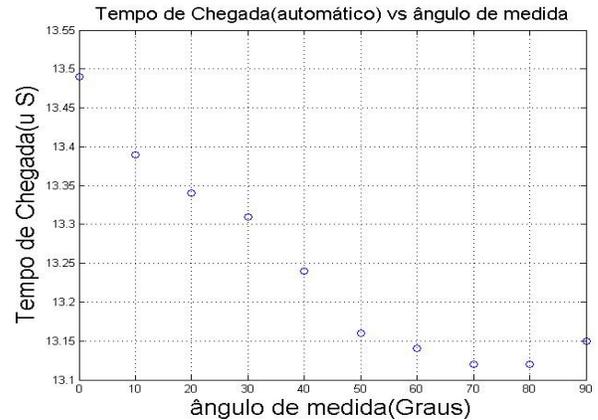


Figure 7: O gráfico mostra as medidas a variação do tempo de chegada da onda P em relação ao ângulo de medida. Os tempos de chegada foram obtidos a partir da razão STA/LTA.

Verifica-se neste gráfico que as medidas realizadas apresentam mais coerência que nas medidas manuais, pois o valor do tempo de chegada cai à medida que o ângulo cresce e não apresenta tanta dispersão quanto no primeiro caso, onde as medidas foram calculadas manualmente.

Também foram feitos gráficos para analisar a variação da velocidade com o ângulo de medida, onde foram encontrados resultados coerentes nas medidas automáticas, pois a tendência da curva de velocidade é aumentar a medida que o ângulo aumenta. Conforme mostra o gráfico abaixo

Nas medidas manuais, encontram-se algumas discrepâncias, todavia, a mesma segue a mesma tendência de velocidade crescendo com o angulo, todavia segue uma dispersão de dados maior do que no caso automático.

Para o calculo da velocidade, foi considerada a seguinte relação

$$V = \frac{D}{T_c - 0.14} 1000 \tag{6}$$

no qual V é a velocidade da onda P, D é o diâmetro da amostra, Tc é o tempo de chegada da onda. A formula foi multiplicado por mil a fim de se realizar a conversão para metros por segundo e o tempo de chegada é diminuído de 0,14 que é o tempo em que a onda passa pela fonte. Os gráficos se encontram abaixo

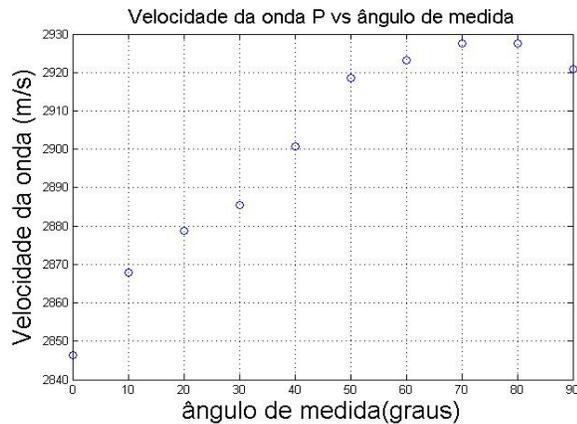


Figure 8: O gráfico mostra a variação de velocidade da onda P em relação aos ângulos de medida. Verifica-se o aumento da velocidade em função do ângulo e a baixa discrepância das medidas. Os tempos utilizados para o cálculo da velocidade provem da razão STA/LTA

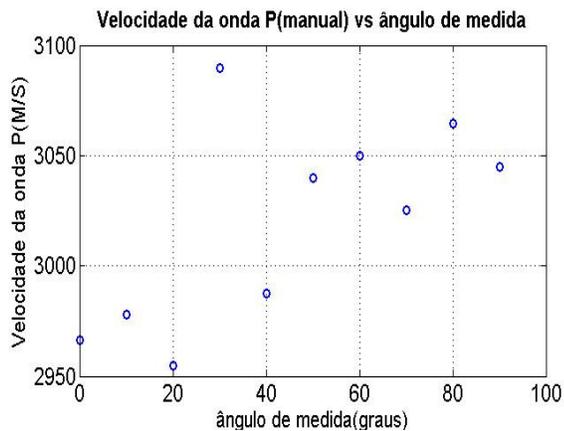


Figure 9: O gráfico mostra a variação de velocidade da onda P em relação aos ângulos de medida. Verifica-se o aumento da velocidade em função do ângulo e a baixa discrepância das medidas. Os tempos utilizados para o cálculo da velocidade provem da razão STA/LTA

Para análise dos resultados, também foi calculado o parâmetro de Thomsen conhecido como anisotropia da onda P, que depende das velocidades das ondas P em 0 e em 90 graus conforme mostra a equação 4. Os valores obtidos estão sendo mostrados nas tabelas a seguir

### Discussão e Conclusões

A partir dos resultados anteriores, verifica-se que pode haver uma grande discrepância entre os tempos inferidos a partir da análise do traço 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 aja 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, como os dos parâmetros de Thomsen.

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 o picagem automática nos permite essa maior precisão, além de ser prática e poder ser aplicada por pessoas com menos experiência devido a facilidade do código e na simplicidade das contas 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 aja algum erro absurdo no algoritmo, o mesmo pode ser logo detectado por quem esta utilizando o código, a partir da picagem manual, todavia, o avanço nas técnicas de aquisição de dados nos permite diminuir a ambiguidade dos resultados, nos dando uma melhor resposta da subsuperfície. O avanço computacional é uma incrível ferramenta que fez com a geofísica também avançasse nas ultimas décadas. A criação e melhora das técnicas de análise, aquisição e processamento de dados nos permite continuar avançando na melhora dos resultados.

### 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 e a entrada de dois alunos neste trabalho. E também, a Dr. Carolina Barros tutora do PET-Geofísica.