



MODO DE CONVERSÃO PS: VALIDADE DAS APROXIMAÇÕES E EFEITO DA ANISOTROPIA NO MOVEOUT

Fredy A. V. Artola¹, Sergio A.B. Fontoura¹, Ricardo Leiderman¹, Paulo Johann², Marcos Gallotti², Mercia B.C. Silva¹ & Israel R. Júnior¹

¹Grupo de Tecnologia e Engenharia de Petróleo GTEP, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Brasil.

²PETROBRAS. Brasil

Copyright 2003, SBGf - Sociedade Brasileira de Geofísica

This paper was prepared for presentation at the 8th International Congress of The Brazilian Geophysical Society held in Rio de Janeiro, Brazil, 14-18 September 2003.

Contents of this paper was reviewed by The Technical Committee of The 8th International Congress of The Brazilian Geophysical Society and does not necessarily represents 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.

Resumo

Neste artigo, discute-se a validade dos principais algoritmos de processamento da onda convertida no que diz respeito à análise do *moveout*. A avaliação é realizada no contexto da clássica abordagem isotrópica assim como no âmbito da recente formulação anisotrópica do tipo VTI. No primeiro caso analisam-se as aproximações hiperbólica e a baseada na expansão da série de Taylor em t^2 versus x^2 . No segundo caso analisa-se a generalização da expansão da série de Taylor com o propósito de ser diretamente aplicado na análise do *moveout* anisotrópico (VTI). Na análise, considera-se como referencia absoluta os tempos de trânsito obtidos mediante traçamento de raios. Analisa-se também o efeito da anisotropia HTI no *moveout* e avalia-se as implicações que poderiam ter, a não consideração do mencionado efeito, na análise do *moveout*.

Introdução

A análise do *moveout* é um aspecto importante da manipulação de dados, tanto dos modos puros PP, SS como dos modos convertidos PS ou SP durante o processamento de dados sísmicos. Esta análise adquire características especiais quando se estuda a onda convertida. Neste trabalho, sempre que se mencionar a onda convertida, estará tratando-se do modo PS.

Algumas complicações tornam-se evidentes quando se encara o processamento de dados registrados por geofones horizontais no contexto da sísmica 4C. A principal é relacionada com a assimetria do percurso do raio associado à onda convertida. Este fato, condiciona um *moveout* essencialmente não hiperbólico.

Uma formulação inadequada para descrever o *moveout* pode ter repercussões importantes na análise de velocidade (*semblance analysis*) e, como consequência, na correção do *normal moveout*, devido a que tais estágios do processamento são executados mediante algoritmos que descrevem os tempos de trânsito.

Aqui, serão analisados duas importantes fontes de erro suscetíveis de serem introduzidas na análise do *moveout*. A primeira fonte de erro é relacionada com as limitações

dos algoritmos aproximados existentes para descrever o *moveout*.

A segunda fonte de erro é relacionada com a inadequada simplificação feita, no que diz respeito à caracterização das propriedades elásticas dos materiais da sub-superfície, isto é, quando a natureza anisotrópica dos mesmos é desconsiderada.

Devido a natureza aproximada das formulações, é necessário que sejam bem conhecidos os seus intervalos de validade de modo a serem aplicados corretamente e, como consequência disto, que sejam utilizados coerentemente no processamento. Assim, a credibilidade dos resultados obtidos, logo após realizada a análise do *moveout* mediante alguma das formulações disponíveis na literatura, dependerá de uma criteriosa aplicação dos algoritmos, considerando sempre seus alcances e limitações.

A pesar de, na atualidade, existirem algoritmos aproximados que permitem descrever o *moveout* não hiperbólico (para a onda convertida), ainda é prática freqüente a utilização da simplificação hiperbólica. A razão principal disto é que este procedimento, pode ser válido se utilizado em um intervalo de valores pequenos de *offset*/profundidade (x/z). Mas isto pode não ser completamente coerente se se levar em conta as limitações que a teoria básica impõe. Isto porque, acredita-se que a teoria prevê energia refletida PS nula para *zero-offset* e energia fraca para valores (x/z) pequenos. Daqui, pode pensar-se que, em geral, mediante o *moveout* hiperbólico manipular-se-ia sinal refletido associado a energia relativamente fraca ou inexistente e, introduzir-se-ia erros grandes nos intervalos onde podem registrar-se maior energia refletida PS. Isto pode ter consequências no processamento da onda convertida no contexto da sísmica 4C, já que neste cenário de aquisição, eventualmente, podem ser considerados valores de x/z grandes.

Devido ao crescente interesse na anisotrópica sísmica, nos últimos anos tem aumentado o número de estudos referentes à avaliação das implicações da anisotropia em diversos aspectos do processamento da onda convertida. Com relação a análise do *moveout*, os trabalhos ainda são restritos ao caso transversalmente isotrópica (TI), especialmente o tipo TI com eixo de simetria vertical (VTI). O resultado disto é o grande número de publicações nos quais são apresentados alguns algoritmos para descrever o *moveout* anisotrópico (VTI) junto com os bem sucedidos casos de aplicação em etapas específicas do processamento. Não há dúvida,

estas novas considerações tem trazido melhoras significativas no produto final do processamento.

Apesar de o efeito da anisotropia VTI não ser tão dramática no *moveout* se comparado com o efeito da mesma na localização do ponto de conversão (Artola et al., 2003), a consideração de simetrias com anisotropia azimutal pode tornar muito complicado o problema. Mesmo para o caso mais simples de anisotropia azimutal, conhecido como TI com eixo de simetria horizontal (HTI), o *moveout* é função do azimute. Neste caso, a função de velocidade V_c não é única, mesmo quando o meio for considerado homogêneo. Neste caso, a velocidade V_{s0} (vertical) que pode ser obtida a partir de medições em poço, não tem o mesmo significado que nos casos isotrópico ou VTI, já que haverá duas direções principais nas quais se registrem valores de velocidade V_{s0} diferentes (máxima e mínima).

Moveout Isotrópico

Diferentemente dos modos PP e SS, o *moveout* do modo PS é inerentemente não hiperbólico devido a assimetria do percurso do raio. Em forma geral, o tempo de trânsito associado à propagação do modo PS pode ser escrito como:

$$t_c = \frac{1}{V_p} \sqrt{x_c^2 + z^2} + \frac{1}{V_s} \sqrt{(x - x_c)^2 + z^2}$$

onde V_p e V_s são as velocidade P e S respectivamente, x é a distância fonte-receptor, x_c é o *offset* do ponto de conversão e z é a profundidade do refletor.

Para a realização da análise do *moveout PS*, se faz necessária a utilização de algum tipo de aproximação que torne possível a manipulação de parâmetros disponíveis e/ou recuperáveis a partir dos dados. Um destes parâmetros é a velocidade de empilhamento para a onda convertida V_c . A primeira aproximação, que pode permitir realizar tal manipulação, é conhecida como aproximação hiperbólica. Costuma-se, recomendar a sua utilização em um contexto de valores pequenos de *offset*. Isto é realizado, geralmente durante os estágios preliminares do processamento. A mencionada aproximação é dada pela simples relação:

$$t_c^2 = t_{c0}^2 + \frac{x^2}{V_c^2} \tag{1}$$

onde t_{c0} é o tempo de trânsito (*two-way*) vertical associado a propagação da onda convertida. Para *offsets* curtos, V_c é definido como:

$$V_c^2 = V_p V_s \tag{2}$$

Com o propósito de superar as limitações da aproximação hiperbólica, de modo a ampliar o intervalo de validade da análise do *moveout*, Thomsen (1999) propôs a consideração dos três termos da expansão da série de Taylor em t^2 versus x^2 que é dado por:

$$t_c^2 = t_{c0}^2 + \frac{x^2}{V_c^2} + \frac{A_4 x^4}{1 + A_5 x^2} \tag{3}$$

onde:

$$A_4 = \frac{-(\gamma - 1)^2}{4(\gamma + 1)t_{c0}^2 V_c^4} \tag{4}$$

$$A_5 = \frac{-A_4 V_c^2}{1 - \frac{V_c^2}{V_p^2}} \tag{5}$$

onde γ é a relação V_p/V_s .

Devido a consideração dos termos A_4 e A_5 , o intervalo de validade desta aproximação é maior do que a aproximação hiperbólica.

Uma terceira proposta para descrever o *moveout*, conhecida como DSR (*double-square-root*) pode ser encontrada na literatura. Embora esta possa parecer uma alternativa ótima, a sua utilização é dependente do conhecimento prévio do *offset* do ponto de conversão, razão pela qual não é considerada neste artigo.

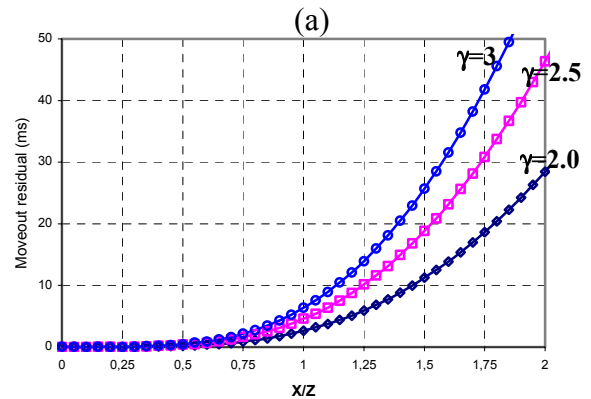
Mesmo reconhecendo-se a melhora conseguida por Thomsen (1999), os seus resultados são significativamente diferentes com relação aos obtidos (para o caso isotrópico) particularizando as expressões gerais desenvolvidas por Yuan et al. (2001) e Li & Yuan (2001) para o caso VTI, que são dadas pelas equações (18) e (19). Por esta razão preferiu-se utilizar estas equações (para o caso isotrópico).

Em todos os casos a serem considerados, o *moveout* residual é determinado de forma simples a partir de :

$$\Delta t_c = t_c^{(exato)} - t_c^{(aprox.)} \tag{6}$$

Observações na abordagem isotrópica

Para visualizar as discrepâncias entre as aproximações hiperbólica e a baseada na expansão da série de Taylor (Yuan et al., 2001 e Li & Yuan, 2001) com relação à solução exata, mostra-se nas Figuras 1(a) e 1(b) o *moveout* residual associado a ambas aproximações.



(b)

$\gamma=3.0$
 $\gamma=2.5$
 $\gamma=2.0$

Figura 1. *Moveout* residual em um modelo isotrópico (a) Solução exata – aprox. hiperbólica (b) Solução exata – aprox. expansão de Taylor. $\gamma = (V_p/V_s) = 2.0 ; 2.5 \text{ e } 3.0$.

Nas Figuras 1a e 1b, mostram-se os *moveouts* residuais para as aproximações hiperbólica (a) e para a aproximação baseada na expansão da série de Taylor (b). Nota-se que, a validade da primeira aproximação restringe-se a valores de x/z de até 0.75. Para valores maiores o *moveout* residual cresce rapidamente. Para valores de x/z intermediários e grandes o *moveout* residual é função de γ , observando-se que, o *moveout* residual aumenta quando aumenta o valor de γ . No entanto a validade da segunda aproximação estende-se até valores de x/z de 1.4, fato que evidencia uma melhora significativa se comparada com a aproximação hiperbólica.

Aproximação para o caso de camadas múltiplas e tentativas de generalização para o caso isotrópico

A equações (3)-(5) foram generalizadas por Thomsen (1999) para o caso de múltiplas camadas. Para isto foram introduzidos novos parâmetros de processamento de modo a incluir o efeito das camadas. Estes parâmetros são:

$$\gamma_2 = \left(\frac{V_{p2}}{V_{s2}} \right) \tag{7}$$

$$\gamma_{eff} = \frac{\gamma_2^2}{\gamma_0} \tag{8}$$

onde V_{p2} e V_{s2} são velocidades *rms* e γ_{eff} é o parâmetro efetivo.

No presente trabalho são incluídos somente o resultado de experimentos numéricos para modelos de uma camada. Em geral, para modelos de camadas múltiplas, os efeitos são ainda mais acentuados se comparados com os observados em modelos de camada única.

A partir das expressões (7) e (8), Thomsen (1999) desenvolveu a idéia de que estas, além de permitir introduzir o efeito das camadas podiam ser utilizadas para introduzir o efeito da anisotropia. Para isto bastava utilizar (para o caso VTI) as expressões que descrevem as velocidades *moveout* dadas por:

$$V_{p2}^2 = V_{p0}^2 (1 + 2\delta) \tag{9}$$

$$V_{s2}^2 = V_{s0}^2 (1 + 2\gamma_0^2 (\epsilon - \delta)) \tag{10}$$

onde ϵ e δ são os parâmetros de Thomsen (1986).

De (7) – (10), pode deduzir-se γ_{eff} , para o caso VTI :

$$\gamma_{eff} = \gamma_0 \frac{1 + 2\delta}{1 + 2\gamma_0 (\epsilon - \delta)} \tag{11}$$

Apesar de, o parâmetro efetivo γ_{eff} dado por (11), estar relacionado com os parâmetros anisotrópicos de Thomsen (1986), ele, de fato, não é capaz de representar o efeito total da anisotropia. Isto foi inicialmente notado por Gaiser & Jackson (2000). Este autores mostraram que o parâmetro de compensação γ_{eff} não é tão efetivo quanto Thomsen (1999) supunha, já que o mencionado parâmetro não permite introduzir todo o efeito da anisotropia. A partir desta constatação, Yuan et al. (2001); Li & Yuan (2001) e Yuan & Li (2002) desenvolveram algoritmos mais eficazes para descrever o *moveout* VTI assim como para o cálculo do ponto de conversão VTI.

Moveout VTI

Devido ao amplo reconhecimento de que as seqüências sedimentarias no contexto marinho, na escala sísmica, podem ser relacionadas com a simetria elástica transversalmente isotrópica, importantes esforços tem sido feitos com o intuito de estabelecer-se formulações adequadas que descrevam o *moveout* da onda convertida para o caso ideal VTI.

Yuan et al. (2001) e Li & Yuan (2001) usando os três termos da expansão da série de Taylor em t^2 versus x^2 , generalizaram a equação (3) para o caso VTI. O resultado disto é a reformulação dos parâmetros A_4 e A_5 que, para o caso simples de uma camada são escritos como:

$$A_4 = \frac{-1}{(1 + \gamma_{eff})^2} \frac{\left[2\chi \frac{\gamma_0 + 1}{\gamma_0} + \frac{(\gamma_0 \gamma_{eff} - 1)^2}{4\gamma_0} \right]}{V_{c2}^4 t_{c0}^2} \tag{12}$$

$$A_5 = \frac{A_4 V_{c2}^2 (1 + \gamma_0) \gamma_{eff} [(\gamma_0 - 1) \gamma_{eff}^2 + 2\chi]}{(\gamma_0 - 1) \gamma_{eff}^2 (1 - \gamma_0 \gamma_{eff}) - 2(1 + \gamma_0) \gamma_{eff} \chi} \tag{13}$$

onde χ é o parâmetro anisotrópico que é dado por:

$$\chi = (\gamma_0 - 1)\gamma_{eff}^2 \eta \quad (14)$$

onde η é definido por:

$$\eta = \frac{\varepsilon - \delta}{1 + 2\delta} \quad (15)$$

Estas expressões são muito mais gerais que as propostas por Thomsen (1999) e, têm a vantagem de permitir fazer algumas particularizações para casos simples.

Nota-se que, quando $\varepsilon = \delta$ ou $\varepsilon, \delta = 0$; η e χ se tornam nulos. Assim as expressões A4 e A5 se reduzem a:

$$A_4 = \frac{-1(\gamma_0 \gamma_{eff} - 1)^2}{4\gamma_0 V_{c2}^4 t_{c0}^2 (1 + \gamma_{eff})^2} \quad (16)$$

$$A_5 = \frac{A_4 V_{c2}^2 (1 + \gamma_0) \gamma_{eff}}{(1 - \gamma_0 \gamma_{eff})} \quad (17)$$

As equações (16) e (17) são válidas para o caso isotrópico ($\varepsilon, \delta = 0$) e para o caso anisotrópico-elíptico ($\varepsilon = \delta$). A diferencia entre elas pode evidenciar-se na aplicação, quando se manipulam os parâmetros V_{c2} e γ_{eff} . No caso isotrópico $\gamma_{eff} = \gamma_0$ e V_{c2} é dados por (2). Assim, (16) e (17) se reduzem a:

$$A_4 = -\frac{(\gamma_0 - 1)^2}{4\gamma_0 V_{c2}^4 t_{c0}^2} \quad (18)$$

$$A_5 = \frac{A_4 \gamma_0 V_{c2}^2}{1 - \gamma_0} \quad (19)$$

É importante mencionar que as expressões (18) e (19) são diferentes das expressões obtidas por Thomsen (1999). Na confecção da Figura 1(b) foram utilizadas as expressões (18) e (19) e não as de Thomsen (1999).

A anisotropia-elíptica é um tipo de anisotropia amplamente discutido por Thomsen (1986) e Ohlsen & MacBeth (1999) (autores com opiniões divergentes com relação à ocorrência deste tipo de anisotropia). Se for considerado este caso, usando-se (7)-(11) e (15); V_{c2} e

γ_{eff} podem ser deduzidas a:

$$\gamma_{eff} = \gamma_0 (1 + 2\delta) \quad (20)$$

$$V_{c2}^2 = V_{p0}^2 \frac{(1 + 2\delta)}{(1 + \gamma_0)} \left[1 + \frac{1}{\gamma_0 (1 + 2\delta)} \right] \quad (21)$$

É interessante notar que (16) e (17) podem ser aplicados aos casos isotrópico ou anisotrópico-elíptico, mas não ao caso geral de anisotropia VTI. Por outro lado, segundo Thomsen (1999) as equações (4) e (5), poderiam ser aplicados aos casos isotrópico e anisotrópico VTI, para isto era necessário uma adequada determinação de V_c a partir de γ_0 , γ_2 e γ_{eff} . Considerando-se que, a forma geral de A_4 e A_5 é substancialmente diferente para os casos VTI e isotrópico, a generalização de Thomsen (1999), seria adequada tão somente para o caso particular de anisotropia-elíptica.

Observações na abordagem VTI

Com o propósito de avaliar o intervalo de validade das expressões (12) e (13), determinou-se o *moveout* residual. Para isto, a partir de um modelo VTI, calcularam-se os tempos de trânsito da onda convertida mediante traçamento de raios (Ray tracing) e compararam-se com os tempos de trânsito obtidos mediante a formulação acima mencionada.

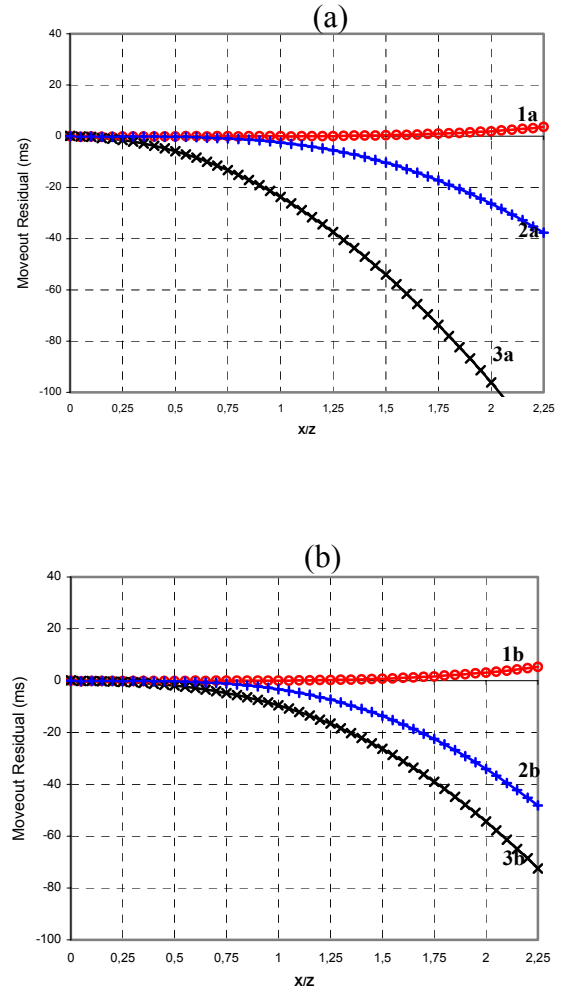


Figura 2. Nos gráficos (a) e (b), as curvas 1, 2, 3 representam os casos: exp. Série de Taylor VTI, aprox. hiperbólica ISO, e aprox. hiperbólica VTI.

Na Figura 2a observa-se que, se o meio for do tipo VTI com parâmetros ($\epsilon=0.2$, $\delta=0.2$, $\gamma=0.2$), a aproximação baseada na expansão da série de Taylor, controlada pelas relações (12) e (13) pode ser aplicado coerentemente na análise do *moveout* no intervalo de [0 – 1.75] para x/z . Se para este modelo, for aplicada a aproximação hiperbólica e for ignorada a anisotropia, o intervalo de validade da aproximação seria de [0 – 0.75]. Por outro lado, se for aplicada a aproximação hiperbólica considerando anisotropia na determinação prévia de V_c , o intervalo de validade diminui para [0 – 0.25]. Esta última observação torna-se particularmente importante pelo fato de alertar contra a introdução pouco criteriosa de efeitos anisotrópicos em formulações inadequadas. Isto significa que, o efeito anisotrópico deve ser introduzido somente através de formulações exclusivamente destinadas a descrever o *moveout* anisotrópico que, no caso, é o VTI.

Na Figura 2b, os parâmetros de Thomsen utilizados são ($\epsilon=0.1$, $\delta=0.15$, $\gamma=0.2$). Os intervalos de validade são praticamente os mesmos se comparados com o primeiro modelo VTI. O efeito dos valores associados aos parâmetros de Thomsen, nas três aproximações avaliadas torna-se importante para valores de x/z intermediários e grandes.

Moveout HTI

No âmbito da modelagem, o caso HTI é geralmente associado a meios equivalentes que consistem em meios com *background* isotrópico afetados por fraturas verticais. Em materiais com estas características, não faz sentido utilizar-se um único valor de velocidade cisalhante para caracterizar o meio (quando a direção de propagação é vertical ou oblíqua). Neste caso, há duas componentes cisalhantes S_1 e S_2 , que, quando a direção de propagação é vertical, os seus vetores de polarização se orientam paralela e ortogonalmente com relação à direção das fraturas, direções nas quais as velocidades associadas alcançam os seus respectivos valores máximo e mínimo. Neste contexto, mediante a onda convertida, espera-se que seja possível o registro de dois eventos sísmicos associados a um mesmo refletor.

O estudo do efeito da anisotropia na onda incidente P e na refletida após a conversão S é muito mais complicado do que no caso VTI. Em meios do tipo VTI, o efeito da anisotropia na componente P e S é invariante com o azimute. No entanto, no caso HTI, o mencionado efeito é função da direção do plano incidente, razão pela qual, haverá tantos *PS-moveouts* quanto direções azimutais forem escolhidas.

Uma formulação que permite o cálculo do tempo de trânsito para os modos puros e convertidos em modelos VTI e HTI tem sido recentemente proposto por Van der Baan & Kendak (2003). Apesar de, a mencionada formulação mostrar seu potencial de aplicação em modelagem e em problemas de inversão, ela não se mostra adequada para a análise do *moveout* no contexto do processamento de dados da onda convertida. A razão principalmente consiste em sua falta de versatilidade

para uma manipulação direta de parâmetros de processamento.

De fato, no âmbito do processamento, algoritmos que possam ser utilizados na análise do *moveout* da onda convertida em um cenário HTI ou em casos mais genéricos de anisotropia azimutal ainda não existem na literatura.

O número de parâmetros envolvidos nesta análise é maior se comparado com os casos anteriores. Sendo assim, um dos principais desafios dos próximos trabalhos de pesquisa é o estabelecimento de relações nas quais possam ser manipulados os diversos parâmetros de processamento assim como o estabelecimento de uma metodologia para a obtenção de $V_{c(HTI)}$ a partir de $V_p(nmo)$ e $V_s(nmo)$ que, podem ser escritas de forma genérica e compacta seguindo as noções expostas por Tsvankin (1997):

$$V_{nmo}^2 = V_{p(vert)}^2 + \frac{1 + \frac{1}{V} \frac{d^2V}{d\theta^2}}{1 + \frac{1}{V} \frac{d^2V}{d\theta^2} \sin^2\varphi}$$

onde V , θ , φ , e $V_{p(vert)}$ são a velocidade de fase, ângulo de fase, azimute e velocidade vertical (P ou S).

Observações na abordagem HTI

Considerando que não existe nenhuma aproximação disponível para ser avaliada, mostra-se nas Figuras 3a e 3b o *moveout* residual de uma abordagem que desconsidera o efeito da anisotropia HTI. O modelo estudado consiste em uma camada com *background* isotrópico com parâmetros $V_p = 3.0\text{km/h}$, $V_s = 1.5\text{km/h}$, $\rho = 2.0\text{gr/cm}^3$, dentro do qual foi introduzido, sinteticamente, um sistema de fraturas com densidade de fratura de 0.1.

Por tratar-se de um meio HTI haverá dois eventos sísmicos associados a um mesmo refletor. A análise do *moveout* deve ser feito para cada evento sísmico de forma independente.

Desconsiderar o efeito da anisotropia HTI significa que o meio é caracterizado utilizando-se somente um valor para a componente S. Mas, como, de fato, há duas componentes cisalhantes, nos experimentos realizados, avaliou-se o *moveout* residual isotrópico assumindo-se que, eventualmente, alguma destas componentes podem ser consideradas (por causa da simplificação) como isotrópicas. Assim, para cada componente (P-qS1 e Pq-s2) foram calculados os tempos de trânsito isotrópicos e anisotrópicos de modo a serem utilizados para o cálculo de Δt_c ($\Delta t_c = t_c^{(HTI)} - t_c^{(ISO)}$). Com o propósito de visualizar a dependência do *moveout* residual com relação ao azimute, foram consideradas na análise três direções azimutais ($15^\circ, 45^\circ$ e 90° com relação à direção das fraturas). Em geral, a simplificação isotrópica não

teria uma influência dramática para valores de x/z menores que 0.4. Para valores maiores do que este, o erro introduzido pode chegar a ser muito grande. Por outro lado, quanto maior é o ângulo entre a direção de investigação (*inline*) e a direção das fraturas, maior é o erro introduzido por causa da simplificação.

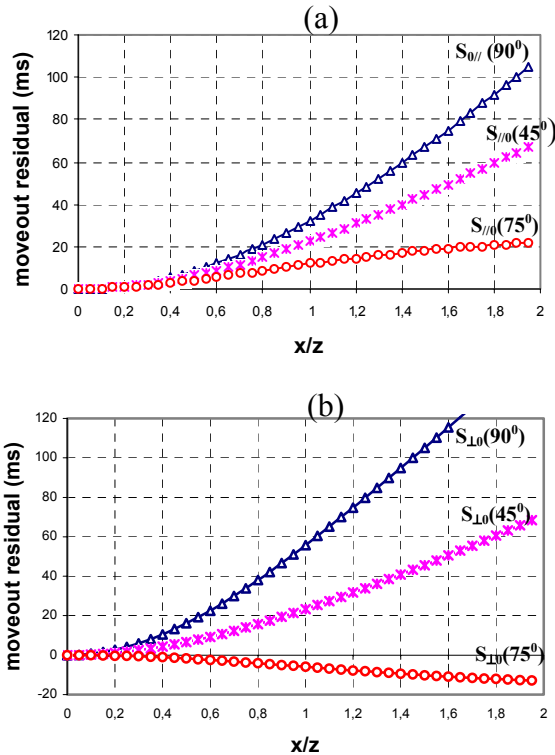


Figura 3. *Moveout* residual devido a desconsideração do efeito da anisotropia HTI. (a) para o evento sísmico associado à onda convertida P-q S_1 . (b) para o evento sísmico associado à onda convertida P-q S_2 . $S_{//0}$ e $S_{\perp 0}$ são as velocidades na direção de propagação vertical, polarizadas paralela e perpendicularmente às fraturas.

Conclusões

Foi avaliada a validade das aproximações (isotrópica e VTI) para descrever o *moveout*.

Em geral, se o meio for isotrópico, o intervalo de validade da aproximação hiperbólica, em termos de x/z , é [0– 0.75]. e, o da aproximação baseada na expansão da série de Taylor é [0–1.4]. O efeito dos valores assumidos por γ pode tornar-se relevante, na aproximação hiperbólica para valores de x/z maiores que 0.75 e, na aproximação baseada na expansão da série de Taylor para valores de x/z maiores que 1.4.

Se o meio for do tipo VTI, a aproximação baseada na expansão da série de Taylor (para o caso VTI) pode ser aplicado em um intervalo de [0-1.75]. Por outro lado, se for desconsiderado o efeito da anisotropia e for aplicada a aproximação hiperbólica, a análise do *moveout* seria aceitável somente dentro do intervalo [0-0.75]. Se, utilizando-se a aproximação hiperbólica se introduzir o efeito da anisotropia na determinação da velocidade de

emplinhamento V_c , o intervalo de validade pode diminuir drasticamente para [0-0.25].

Se o meio for do tipo HTI, e for feita a análise do *moveout* desconsiderando-se o efeito da anisotropia, o erro pode ser desprezível somente para valores de x/z menores que 0.4. Para valores maiores que este, o erro pode ser dramático, para as duas componentes cisalhantes. O erro será maior quanto maior seja o ângulo existente entre a linha de investigação (*inline*) e a direção do sistema de fraturas.

Considerando que, na atualidade não existem formulações adequadas para descrever o *moveout* HTI, aplicáveis no processamento da onda convertida, propõe-se o desenvolvimento de algoritmos que possam ser úteis no mencionado fim.

Agradecimentos

Os autores agradecem aos coordenadores do Setor de Aquisição do Programa de Recuperação Avançada de Petróleo PRAVAP 19 – PETROBRAS, pelo estímulo à pesquisa e pelo suporte financeiro.

Referências

- Artola, F.V.A; Fontoura, S.A.B, Leiderman, R. & Silva, M.B.C. 2003. P-S conversion point in anisotropic media: Error due to isotropic considerations, EAGE 65th Conference. Expanded abstracts, in press.
- Gaiser, J. E. & Jackson, A. R., 2000, Accuracy and limitations of PS-wave conversion-point computations: How effective is γ eff?, 70th Annual Internat. Mtg., Soc. Expl. Expanded Abstracts, 1138-1141.
- Olsen, F. and MacBeth, C., 1999. Elliptical anisotropy. Regression or advance?: 69th Annual Internat. Mtg., Soc. Expl. Expanded Abstracts.
- Tomsen, L., 1986. Weak elastic anisotropy: Geophysics, 51, 1954-1966.
- Thomsen, L., 1999. Converted-wave reflection seismology over inhomogeneous, anisotropic media: Geophysics, 64, 678-690.
- Tsvankin, I., 1997. Reflection moveout and parameter estimation for horizontal transverse isotropy: Geophysics, 62, 614-629.
- Li, X.-Y. & Yuan, Y., 2001. Converted-wave imaging in inhomogeneous, anisotropic media – Part I – Parameter estimation, EAGE 63rd Conference, Expanded Abstracts.
- Van der Ban, M. & Kendall, J. M., 2003. Traveltime and conversion point computations and parameter estimation in layered, anisotropic media by τ -p transform: Geophysics, 68, 210-224.
- Yuan, J., Li, X.-Y. & Ziolkowski, A., 2001. Converted wave moveout analysis in layered anisotropic media: A case study: 63rd EAGE Conference, Expanded Abstracts.
- Yuan, Y., & Li, X.-Y., 2002. C-wave anisotropic parameter estimation from conversion point: 64th EAGE Conference, Expanded Abstracts.