



Análise de sensibilidade dos coeficientes de reflexão Rpp e Rps para caracterização de reservatórios de hidrocarbonetos

Marília Takaguti Dicezare IAG/USP, Liliana Alcazar Diogo, IAG/USP e Oleg Bokhonok.

Copyright 2013, SBGf - Sociedade Brasileira de Geofísica

This paper was prepared for presentation during the 13th International Congress of the Brazilian Geophysical Society held in Rio de Janeiro, Brazil, August 26-29, 2013.

Contents of this paper were reviewed by the Technical Committee of the 13th 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

This paper present a sensitivity analysis of the reflection coefficients (Rpp and Rps) in order to determine the rock physical parameters associated with the presence of hydrocarbon reservoirs. To this, it was used the parameterization of the exact Zoeppritz equations as a function of the parameters of the medium (speeds of P and S waves and density). Geological models associated to sandstone reservoirs were studied. The realized tests show greater sensitivity of the Rpp and Rps coefficients at mid offsets to P wave velocities and smaller sensitivity to densities. It was verified density ambiguity related to its contrast at the interface; and no other parameter ambiguities were observed.

Introdução

A sísmica oferece uma contribuição importante para a indústria de gás e óleo na caracterização e monitoramento dos reservatórios.

O método AVO (amplitude versus offset) tem como fundamento teórico a variação dos coeficientes de reflexão das ondas sísmicas em função do afastamento fonte-receptor em superfície. As equações de Zoeppritz fornecem os coeficientes de reflexão e transmissão e são exatas, considerando-se frentes de onda como sendo planas. Porém, a complexidade dessas equações dificulta a obtenção dos parâmetros físicos das rochas. Assim sendo, nos métodos de análise AVO são empregadas aproximações das equações de Zoeppritz, que são válidas apenas para afastamentos curtos.

A inversão não linear pode oferecer uma interpretação quantitativa das propriedades das rochas. Entretanto, é um procedimento numérico instável (Behura *et al.*, 2010), ou seja, não há garantia de que a resposta fornecida pelo processo de inversão seja de fato o modelo geológico correto. Estudos numéricos recentes para inversão não linear de amplitudes, com parâmetros de um modelo associado à escala de investigação rasa, foram realizados por Bokhonok *et al.* (2010a, 2010b), empregando-se as equações de Zoeppritz, como escrita em Ikelé e Amundesen (2005), em função dos seis parâmetros geológicos, mostrando que ao empregar

procedimentos de otimização global é possível lidar com a instabilidade da inversão não linear e determinar os seis parâmetros correspondentes às propriedades das rochas. Esses resultados motivam a realização de novas investigações a respeito do comportamento dos coeficientes de reflexão para modelos na escala de investigação de reservatórios de hidrocarbonetos, almejando a estimativa direta dos parâmetros das rochas.

Através das análises propostas procurou-se observar:

- i) se existe ambiguidade entre os parâmetros quando perturbados individualmente e/ou quando perturbado pares de parâmetros, mantendo fixa a relação entre esses;
- ii) para quais parâmetros, os coeficientes de reflexão apresentam maior e menor sensibilidade;
- iii) qual a janela de afastamentos em que os coeficientes apresentam maior sensibilidade para um dado parâmetro.

Metodologia

Foram estudadas as equações de Zoeppritz, como escrita em Ikelé e Amundesen (2005), em função dos seis parâmetros geológicos: velocidades das ondas P e S e densidade dos meios acima e abaixo da interface que ocorre a reflexão das ondas sísmicas. O trabalho foi realizado no aplicativo Matlab.

Foram estudados seis modelos geológicos associados a reservatórios de arenito com gás, escolhidos com base na listagem de modelos estudados nos trabalhos de Castagna (1994) e Ross (2010). A escolha dos modelos foi feita através da análise de seus atributos AVO (A e B) na interface folhelho/arenito com gás, segundo a classificação proposta por Rutherford & Williams (1989). Assim, os modelos 1, 2 e 3 pertencem a classe 3, que é o AVO clássico ("bright spots"), o modelo 4 é de classe 2 e os modelos 5 e 6 são de classe 1.

Para os modelos escolhidos foram perturbados individualmente cada um dos parâmetros do meio em 10% do valor original para mais e 10% para menos, mantendo os demais parâmetros em seus valores corretos. Foram analisadas as diferenças entre os coeficientes Rpp e Rps correspondentes a variação de cada parâmetro e o valor original. Também foram perturbados pares de parâmetros do meio em 10% para mais e para menos do valor original, mantendo fixo o valor da relação entre o par analisado. Foram analisados os contrastes dos parâmetros na interface (α_2/α_1 , β_2/β_1 , ρ_2/ρ_1), a razão α/β de cada camada e as impedâncias ($\alpha \cdot \rho$ dos meios 1 e 2). Os coeficientes Rpp e Rps foram calculados para as

variações dos pares de parâmetros e analisadas as diferenças entre os coeficientes referentes a essas variações e os valores originais.

Resultados

De um modo geral, as análises para os seis modelos escolhidos (Tabela 1) apresentaram resultados compatíveis, quanto às principais conclusões. Por esse motivo, apenas um dos modelos será discutido neste trabalho, o modelo 5 da Tabela 1 que corresponde ao modelo 22 dos trabalhos de Castagna (1994) e Ross (2010).

Modelos	Meio 1 - Folhelho			Meio 2 - Arenito com água			Meio 2 - Arenito com gás			Shale/Brine		Shale/Gas	
	Alfa (m/s)	Beta (m/s)	Rho (Kg/m ³)	Alfa (m/s)	Beta (m/s)	Rho (Kg/m ³)	Alfa (m/s)	Beta (m/s)	Rho (Kg/m ³)	A	B	A	B
1	2310	850	2180	2520	900	2110	1580	940	1940	0,0271	0,0220	-0,2459	-0,2235
2	1830	400	2020	2130	670	1900	1440	580	1530	0,0451	-0,0627	-0,2573	-0,2017
3	2100	640	2140	2110	930	2110	1420	970	1970	-0,0047	-0,1992	-0,2345	-0,5016
4	2770	1520	2290	3850	2240	2240	3080	2340	2140	0,152	-0,3168	0,0191	-0,6279
5	2310	940	1900	3460	1850	2260	3040	1920	2090	0,2858	-0,4917	0,1841	-0,7014
6	2770	1520	2300	4350	2340	2400	4050	2380	2320	0,2432	-0,3026	0,1920	-0,3949

Tabela 1. Parâmetros dos meios: folhelho sobrejacente ao arenito com água e folhelho sobrejacente ao arenito com gás. Os parâmetros alfa, beta e rho representam as velocidades das ondas P e S e a densidade, respectivamente.

Em relação aos atributos AVO, foi observado para os modelos que quando existe um B grande, ou seja, uma variação da amplitude com o afastamento significativa, há maior sensibilidade dos coeficientes de reflexão Rpp e Rps.

Em relação aos parâmetros das rochas, a figura 1 mostra as diferenças dos coeficientes de reflexão Rpp (a) e Rps (b) correspondentes aos parâmetros dos meios em função do afastamento da fonte para a interface folhelho/arenito com água. Nesses gráficos é possível observar que o parâmetro alfa, tanto no meio 1 quanto no meio 2, é o que demonstra maior sensibilidade para os coeficientes de reflexão. Além disso, as maiores sensibilidades podem ser notadas ao redor do ângulo crítico, em afastamentos intermediários e longos. Os gráficos da interface folhelho/arenito com gás apresentaram as mesmas observações destes resultados. Os modelos em que não existe ângulo crítico (modelos 1, 2 e 3 para o arenito com gás) também apresentaram maior sensibilidade nos afastamentos intermediários.

Existe semelhança entre as curvas obtidas para as variações de alfa 10% a mais no meio 1 e 10 % a menos no meio 2, e vice-versa. Isso indica baixa sensibilidade para discriminar os valores de alfa nos dois meios. Entretanto não caracteriza ambiguidade, uma vez que as curvas não são idênticas. O mesmo comportamento é observado para os parâmetros beta e rho.

Quando se varia pares de parâmetros nos meios mantendo o contraste na interface fixo (meio2/meio1), obtêm-se dois resultados importantes: i) o contraste de densidade não apresenta sensibilidade, o que indica ambiguidade dos valores de densidade; e ii) alfa e beta

não apresentam ambiguidade em relação à variação na interface, por exemplo, quando se aumenta ou diminui o contraste as curvas são diferentes.

Comparando o grau de sensibilidade em escala entre a variação dos parâmetros individualmente e quando se varia pares de parâmetros do meio, a primeira apresenta um grau maior do que a segunda.

Além do contraste nas interfaces (meio2/meio1), também foram analisados a razão Alfa/Beta (V_p/V_s) e a impedância Z ($Alfa \cdot Rho$), mantendo fixos seus valores e variando os pares de parâmetros. Com isso, o que se pode observar foi que não há ambiguidade entre alfa e beta com respeito à razão alfa/beta em cada camada, e entre alfa e rho, com respeito às impedâncias em cada meio.

Conclusões

Os resultados deste trabalho indicam que o parâmetro alfa apresenta maior sensibilidade para os coeficientes de reflexão do que beta e rho, seja perturbando cada parâmetro individualmente ou perturbando pares de parâmetros do meio e mantendo o contraste entre eles fixo. Há uma maior sensibilidade de Rpp e Rps às velocidades na região do ângulo crítico, em afastamentos intermediários e longos. Os modelos em que não existe ângulo crítico (modelos 1, 2 e 3 para o arenito com gás) também apresentaram maior sensibilidade nos afastamentos intermediários.

Entre os testes realizados, a única situação de ambiguidade observada foi com relação ao contraste de densidade na interface. Não há ambiguidade de alfa e beta com relação à variação do contraste na interface, à

razão alfa/beta em cada camada, e entre alfa e rho, com respeito às impedâncias em cada meio.

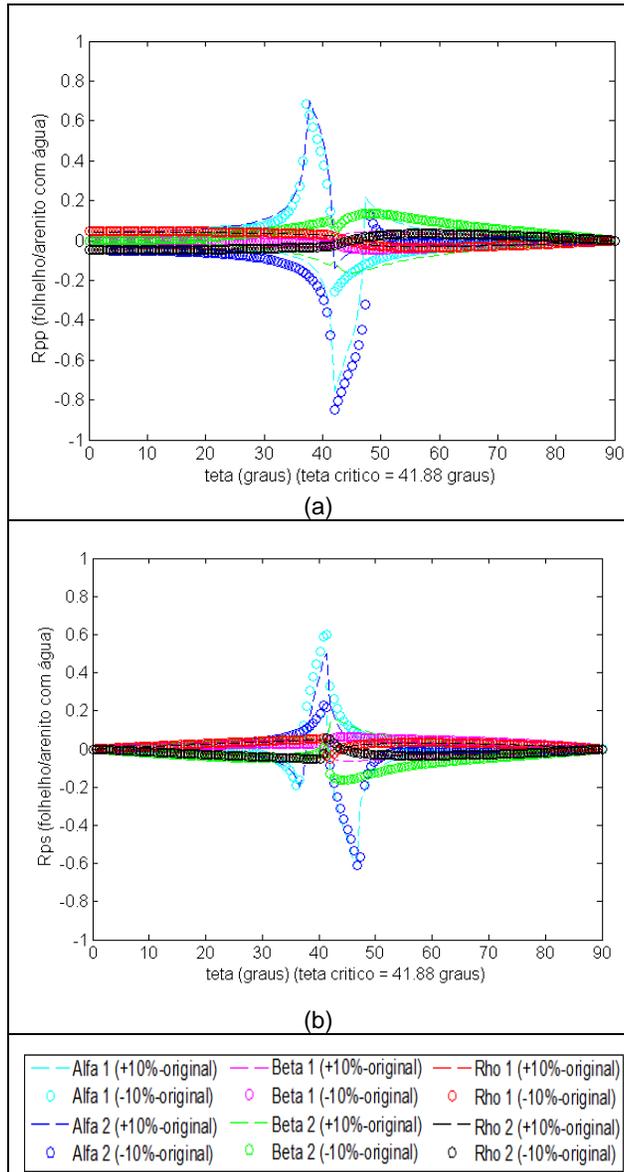


Figura 1: diferenças dos coeficientes de reflexão Rpp (a) e Rps (b) correspondentes aos parâmetros dos meios em função do afastamento da fonte (em graus) para a interface folhelho/arenito com água.

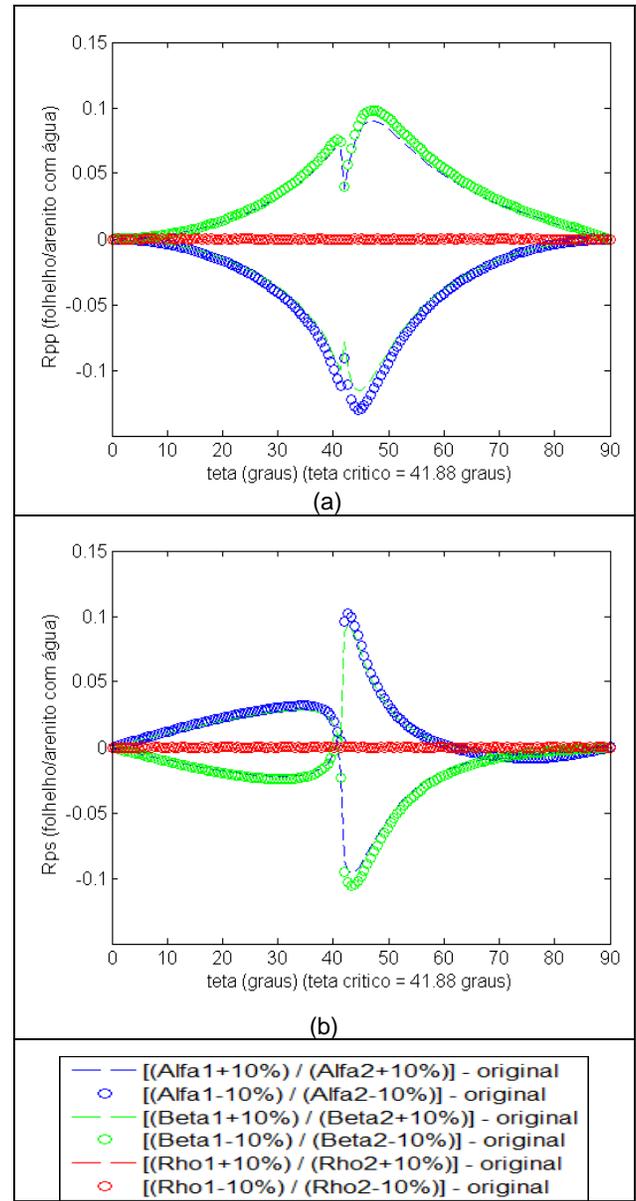


Figura 2: diferenças dos coeficientes de reflexão Rpp (a) e Rps (b) correspondentes aos contrastes dos parâmetros dos meios em função do afastamento da fonte (em graus) para a interface folhelho/arenito com água.

Agradecimentos

Ao programa ANP/PRH-19 pela bolsa concedida e pelo apoio à pesquisa.

Referências

Behura, J.; Kabir, N.; Lake, E., 2010, Density extraction from P-wave AVO inversion: Tuscaloosa Trend example: The leading Edge, 772-777.

Bokhonok, O.; Diogo, L.A.; Prado, R.L., 2010, Estimativa de parâmetros elásticos a partir das amplitudes sísmicas de ondas refletidas P-P P-Sv Sv-P e Sv-Sv: Parte I. Estratégia de inversão não linear. IV Simpósio Brasileiro de Geofísica, Anais-CDROM.: SBGF.

Bokhonok, O.; Diogo, L.A.; Prado, R.L., 2010, Estimativa de parâmetros elásticos a partir das amplitudes sísmicas de ondas refletidas P-P P-Sv Sv-P e Sv-Sv: Parte II. Análise do problema de inversão não linear. IV Simpósio Brasileiro de Geofísica, Anais-CDROM.: SBGF.

Castagna, J.P. & Smith, S.W., 1994, Comparison of AVO indicators: A modeling study: Geophysics, 59, 1849-1855.

Ikele, L. & Amundsen, L., 2005, Introduction to petroleum seismology. Tulsa: Society of Exploration Geophysicists, 622p.

Ross, C.P., 2010, AVO ritualization and functionalism [then and now]: The leading Edge, 532-538.

Rutherford, S.R. & Williams, R.H., 1989, Amplitude-versus-offset variations in gas sands: Geophysics, 54, 680-688.