

Aplicação dos Métodos PMC e SRC em Dados Sísmicos Sintéticos de um Modelo Representativo da Bacia do Solimões, Região Amazônica, Brasil.

Cláudia Priscila Pereira Nazaré, CPGf – UFPA
 German Garabito Callapino, CGf / CPGf – UFPA
 Jaime Fernandes Eiras, PETROGEO
 Waldomiro G. Paschoal Jr., CPGf – UFPA

Copyright 2005, SBGF - Sociedade Brasileira de Geofísica

This paper was prepared for presentation at the 9th International Congress of the Brazilian Geophysical Society held in Salvador, Brazil, 11-14 September 2005.

Contents of this paper were reviewed by the Technical Committee of the 9th International Congress of the Brazilian Geophysical Society. Ideas and concepts of the text are authors' responsibility 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

Among the several difficulties found in the exploration for oil and gas in the Amazon area, the existence of diabase sills, although of its importance to the process of maturation of organic matter in all Brazilian Paleozoic basins, difficults the seismic exploration, since the diabase disturbs the seismic signal, generating multiple reflections and spherical divergence. With the purpose of understanding the seismic wave propagation and, principally, the difficulties found by the seismic imaging methods in these complex geological settings, in this paper we present the first results of acoustic seismic modeling in a synthetic model of the Solimões Basin-Brazil, using finite-differences techniques, as well as the seismic processing of this data set by the Common Midpoint (CMP) and Common Reflection Surface (CRS) stacking methods.

INTRODUÇÃO

A Bacia do Solimões está localizada na Região Norte do Brasil, entre os paralelos 2° e 8° S. e meridianos 62° e 72° O. de Greenwich, limitada ao norte pelo Escudo das Guianas, ao sul pelo Escudo Central Brasileiro, a leste pelo Arco de Purus e a oeste pelo Arco de Iquitos (Figura 1). Ocupa aproximadamente 480.000 km², dentro do Estado do Amazonas, apresentando um formato semelhante a um elipsóide, cuja direção do eixo principal é E.N.E.-O.S.O.



Figura 1: Mapa de Localização da Bacia do Solimões (Eiras, 1998)

De acordo com Eiras et al. (1994), o arcabouço estratigráfico desta bacia pode ser dividido em seis seqüências de segunda ordem (Figura 2): (1)**Ordoviciano Inferior**: composta por rochas clásticas neríticas; (2)**Siluriano Superior-Devoniano Inferior**: composta por rochas clásticas e carbonáticas neríticas; (3)**Devoniano Médio-Carbonífero Inferior**: composta por rochas clásticas e depósitos silicosos neríticos e glácio-marinhos; (4)**Carbonífero Superior-Permiano Inferior**: composta por rochas clásticas, carbonáticas e evaporíticas marinhas e continentais; (5)**Cretáceo Superior**: composta por rochas clásticas; (6)**Terciário-Quaternário**: compostas por pelitos e arenitos flúvio-lacustres.

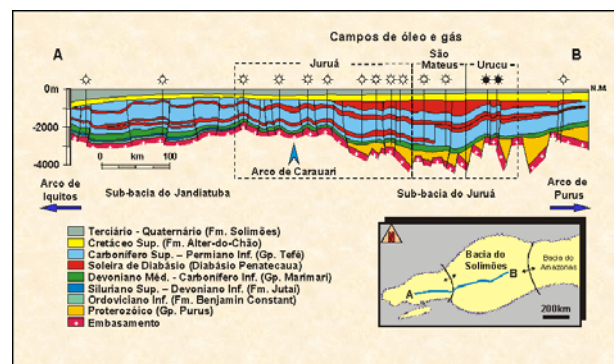


Figura 2: Seção Geológica Regional da Bacia do Solimões (Eiras, 1998).

A megasseqüência paleozóica é a mais importante, pois contém as rochas geradoras, reservatório e selante, bem como as feições estruturais que compõem as trapas responsáveis pelas acumulações de óleo, gás e condensado, descobertas na bacia (EIRAS, 1998).

Os diques e soleiras de diabásio, intrudidos nas rochas paleozóicas, foram importantes na transformação da matéria orgânica em óleo e gás, pois serviram como fonte extra de calor para a maturação orgânica. Mas, sob o ponto de vista exploratório, a ocorrência de rochas magmáticas, nas porções internas de bacias sedimentares, pode deteriorar a qualidade das seções sísmicas, por causarem a perda do sinal, propiciando a geração de múltiplas e divergência esférica, prejudicando assim, a interpretação dos dados pela formação de falsas estruturas, devido o efeito de *pull-up* ou *pull-down* (Eiras e Wanderley Filho, 2002).

Este trabalho tem como objetivo, realizar um estudo dos problemas do imageamento sísmico, devido à complexidade geológica da Bacia do Solimões. Nesse sentido serão apresentados os resultados preliminares da modelagem e do processamento sísmico realizados em

um modelo sintético representativo da Província Petrolífera do Urucu, Bacia do Solimões. Juntamente a esses resultados serão mostradas também todas as etapas referentes à elaboração do modelo geológico para a confecção de um modelo de velocidades, geração dos dados sísmicos através do método de diferenças finitas e por fim o processamento sísmico, no qual foram utilizadas duas técnicas, o método convencional de empilhamento PMC com as correções NMO/DMO e o método de empilhamento não convencional SRC (Garabito et al., 2001).

METODOLOGIA

Utilizou-se um modelo sintético construído com base em informações reais de seções sísmicas, dados de geofísica de poço e geológicas, que representam o arcabouço geológico da Província Petrolífera do Urucu na Bacia do Solimões. As informações geofísicas (seções sísmicas reais interpretadas e perfis de poços) foram obtidas em Lima (2003). Utilizaram-se também informações geoquímicas de Alves et al. (2000), para justificar a ocorrência de soleiras saltadas de nível e/ou bifurcadas. Logo, a partir dessas informações foi possível propor uma seção geológica no domínio da profundidade como suporte ao modelo geofísico (modelo de velocidades), que é utilizado para gerar dados sísmicos sintéticos através da técnica de modelagem sísmica numérica por diferenças finitas.

Seção Geológica Proposta Para o Modelo de Velocidades

Foram consideradas na seção geológica 11 camadas representativas de rochas sedimentares e 4 soleiras de diabásio, além do embasamento, as quais compõem os 3.200 metros de espessura de rocha considerados neste trabalho. Essas camadas foram reunidas em 2 agrupamentos: um inferior, com cerca de 2.500 metros, composto por camadas com alta velocidade, que estão dobradas, falhadas e intrudidas por soleiras de diabásio; e uma superior, com cerca de 500 metros de camadas de rochas com baixa velocidade, não deformadas (Figura 3). A ordem adotada para a denominação das camadas é da mais jovem para a mais antiga, ou seja, da mais superior, de velocidade baixa, para a mais inferior, de velocidade alta. As características quanto às espessuras e velocidades foram baseadas em Eiras et al. (1994).

Unidade I - constituída essencialmente de argilito;

Unidade II - é essencialmente constituída de arenito;

Unidade III - é composta por siltito e está separada da unidade anterior por uma discordância regional. Acunha por truncamento erosivo em direção ao ápice da dobra onde está ausente por erosão. Esta unidade está entrecortada por soleiras de diabásio, que bifurcam e saltam de nível formando uma situação estrutural complexa; **Unidade IV** - é uma seqüência evaporítica, constituída por folhelho, calcário, anidrita e halita, onde as soleiras S2 e S3 estão intrudidas, sendo que a soleira S1 está no contato desta unidade com a anterior;

Unidade V - é constituída de arenitos; **Unidade VI** - é constituída de folhelho; O embasamento da bacia (**EMB**) foi considerado a aproximadamente 2.640 metros de profundidade no ápice da estrutura anticlinal; Nesta seção, a rocha geradora, reservatório e selante são

representadas pelas unidades VI, V e IV, respectivamente.

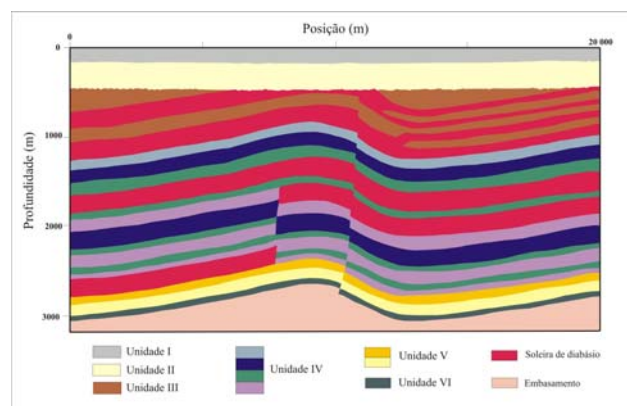


Figura 3: Modelo geológico proposto para a modelagem sísmica

Modelo de Velocidades

Este modelo foi construído com uma malha regular com 4001 células na horizontal, 701 células na vertical, tendo um intervalo constante de 5 metros em ambas as dimensões (Figura 4), através dos programas Model2D e software MatLab. As dimensões deste modelo são de 20000 metros no eixo horizontal e 3500 metros no eixo vertical.

A geometria do modelo (espessuras de camadas e as feições estruturais) e as velocidades atribuídas às unidades geológicas foram obtidas levando em conta as informações geofísicas e geológicas descritas anteriormente. Foram consideradas velocidades intervalares médias invariáveis tanto na horizontal quanto na vertical, bem como densidade constante para todas as unidades litológicas consideradas no modelo. A distribuição das velocidades intervalares médias nas unidades é: **Unidade I** - 1750 m/s; **Unidade II** - 2300 m/s; **Unidade III** - camada IIIa: 3750 m/s; camada IIIb: 3850 m/s; **Unidade IV** - camada IVa1: 4000 m/s; camada IVa2: 5300 m/s; camada IVa3: 5500 m/s; camada IVb: 5450 m/s; camada IVc1: 5600 m/s; camada IVc2: 5400 m/s; camada IVc3: 5200 m/s; camada IVd1: 5600 m/s; camada IVd2: 5400 m/s; camada IVd3: 5200 m/s; **Unidade V** - camada Va: 4850 m/s; camada Vb: 4650 m/s; **Unidade VI** - 6100 m/s; **Soleiras de Diabásio** - S0: 5900 m/s; S1, S2, S3: 6150 m/s; **Embasamento (EMB)** - 5250 m/s.

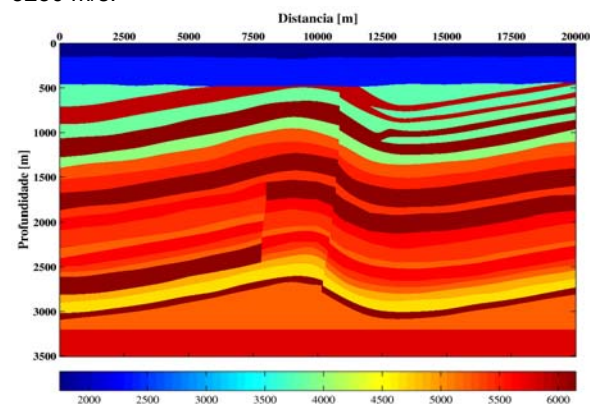


Figura 4: Modelo de Velocidades

Geração dos Dados Sísmicos Sintéticos

A modelagem foi realizada através da técnica de diferenças finitas na aproximação para a solução da equação da onda acústica, onde foram utilizados aproximadamente 7 pontos da malha por comprimento de onda. A malha possui 4001 pontos na horizontal e 701 pontos na vertical. A velocidade máxima do modelo é de 6150 m/s e o tamanho espacial da malha nas duas dimensões é igual a 5.0 metros e o valor aproximado para amostragem no tempo é de 0.00036 segundos. Após determinar os parâmetros para a modelagem, foi realizado um experimento de modelagem utilizando o programa diferenças finitas de segunda ordem no tempo e décimo oitava ordem no espaço (Costa, 2001).

A geração das seções com fonte comum foi realizada ao longo da linha sísmica de 20000 metros de comprimento. A primeira e a última fonte foram colocadas nas coordenadas 3600 e 16400 metros, respectivamente. A distância entre fontes consecutivas é de 100 metros. Foram geradas 129 seções de fonte comum, com arranjo do tipo simétrico (*split spread*) para cada experimento de tiro comum, composto por 145 receptores, intervalo de 50 metros entre receptores consecutivos, tendo um afastamento máximo em valor absoluto entre a fonte e o último geofone de 3600 metros. O tempo total de registro é de 2 segundos, mas com um intervalo de tempo reamostrado de 0.004 segundos.

A Figura 5 mostra uma seção sísmica fonte-comum simétrica, cuja fonte encontra-se na posição 10 quilômetros (Figura 5a), e a seção PMC do dado sintético, após o rearranjo da seção fonte-comum para seção ponto-médio comum (Figura 5b).

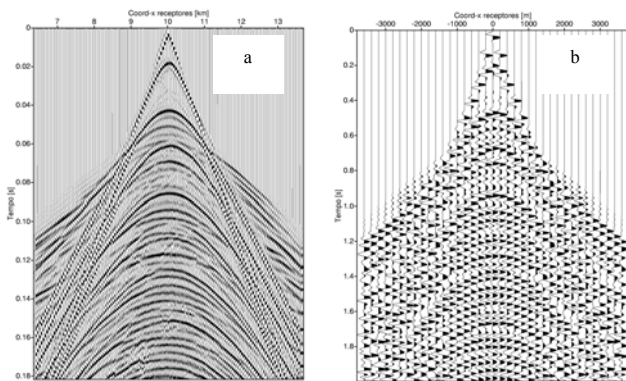


Figura 5: Dados gerados pela modelagem: Seção sísmica fonte-comum composta por 145 traços, e após o rearranjo das seções fonte-comum para a seção ponto médio comum (b).

Também como resultado da modelagem pode-se observar na figura 8, a seção com afastamento nulo (AN) modelada que será utilizada como base para comparações com os demais resultados das simulações realizadas com as técnicas de imageamento.

Processamento Sísmico

Sendo o objetivo deste trabalho o estudo dos problemas no imageamento sísmico, os dados gerados foram processados para obter seções simuladas com afastamento nulo (AN) usando os métodos de

empilhamento convencional *Ponto Médio Comum* – PMC (NMO/DMO) e não convencional *Superfície de Reflexão Comum* - SRC. Os resultados de processos como migração pós-empilhamento no tempo e em profundidade serão apresentados em trabalhos futuros.

EMPILHAMENTO PONTO MÉDIO COMUM (PMC)

O empilhamento PMC que envolve as correções NMO e DMO é um método de imageamento no domínio do tempo para a simulação de seções com afastamento nulo (AN) a partir dos dados sísmicos com múltipla cobertura. Este método utiliza como único parâmetro, as velocidades de empilhamento, que são determinadas pelo processo iterativo de análise de velocidade realizada nas seções PMC. Após serem aplicadas as correções dinâmicas NMO (*normal-moveout*) e DMO (*dip-moveout*), os traços sísmicos das seções PMC são somados, resultando em único traço por seção PMC, considerado como o equivalente a um traço com fonte-receptor coincidente ou de afastamento nulo.

Aplica-se a correção dinâmica NMO, quando a subsuperfície é considerada como sendo composta por uma ou mais camadas planas, homogêneas e sobrepostas; porém em meios com refletores inclinados, esta correção perde resolução fazendo-se necessária a aplicação da correção dinâmica DMO, cujo objetivo é reduzir os efeitos dos mergulhos nas velocidades de empilhamento.

Mesmo com a utilização das correções dinâmicas, o empilhamento PMC, quando aplicado em meios com fortes variações de velocidade, não gera resultados satisfatórios em virtude da forte dependência no resultado do empilhamento horizontal com relação à escolha das velocidades, em particular, para a correção NMO. Na correção DMO o evento de reflexão correspondente a um ponto situado sobre um refletor inclinado e este é deslocado espacialmente por essa correção para uma seção PMC, com a intenção de conter a reflexão com afastamento nulo. Neste processo de correção DMO há perda de resolução, pelo fato de envolver uma migração parcial dos eventos de reflexão. Na Figura 6 são mostradas as etapas do processamento convencional PMC, as quais foram utilizadas para o processamento dos dados sísmicos gerados com base em dados da Bacia do Solimões.

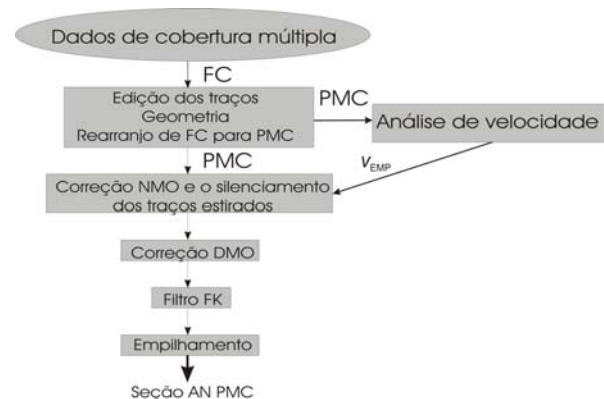


Figura 6: Fluxograma do empilhamento convencional PMC utilizado no processamento sintético da Bacia do Solimões.

O resultado da aplicação do empilhamento PMC é apresentado na figura 9, que é a seção AN simulada por este método.

EMPILHAMENTO SUPERFÍCIE DE REFLEXÃO COMUM (SRC)

Ao contrário do empilhamento PMC, que assume reflexões correspondentes a um único ponto refletor em profundidade, o empilhamento SRC admite reflexões associadas com um elemento refletor em subsuperfície que é caracterizado pela posição, inclinação e curvatura local do refletor. Os tempos de reflexão das curvas de empilhamento são descritos, também, por uma aproximação hiperbólica que comparado com a aproximação convencional NMO, não é limitado para uma única família PMC. Essas curvas de empilhamento formam a denominada superfície de empilhamento SRC (para cada ponto de amostragem na seção AN a ser simulada), sendo que esta superfície depende de três atributos cinemáticos de frentes de ondas ou atributos SRC, que são determinados a partir dos dados por meio de processos automáticos de busca. Logo, o método de empilhamento SRC não depende, a priori, de um macro modelo de velocidades, pois uma vez determinados esses atributos e associados a cada ponto de amostragem, o empilhamento das reflexões sísmicas é realizado ao longo das curvas ou superfícies definidas por esses três atributos (β_0 , R_{NIP} e R_N), resultando numa seção AN simulada. Na figura 7 são mostradas as etapas do processamento não convencional SRC, as quais foram utilizadas para o processamento dos dados sísmicos gerados com base em dados da Bacia do Solimões.



Figura 7: Fluxograma do método de empilhamento SRC. Os atributos SRC - β_0 , R_{NIP} e R_N , são, respectivamente, o ângulo de emergência do raio central, o raio de curvatura da onda do ponto de incidência normal e o raio de curvatura da onda normal.

Como resultado da aplicação do empilhamento SRC é apresentada na figura 10, a simulação da seção AN na qual este método foi utilizado.

RESULTADOS DO PROCESSAMENTO SÍSMICO

A figura 8 mostra a seção AN modelada (com interpretação das soleiras) que foi utilizada como base

para as comparações. Para aplicação da técnica do empilhamento convencional PMC foi utilizado um pacote comercial de processamento sísmico FOCUS, cujo resultado é apresentado na figura 9. No caso do empilhamento não convencional SRC, o resultado da seção AN simulada é mostrada na figura 10.

As soleiras interpretadas na seção AN modelada são também observadas nas seções AN dos empilhamentos PMC e SRC. Em geral, observa-se também, que os eventos sísmicos da seção AN do empilhamento SRC tem melhor definição tanto nas amplitudes como na continuidade.

Os resultados apresentados ainda são preliminares para que seja realizada uma interpretação sísmica das seções processadas, pois as seções empilhadas ainda devem ser migradas tanto no tempo como na profundidade.

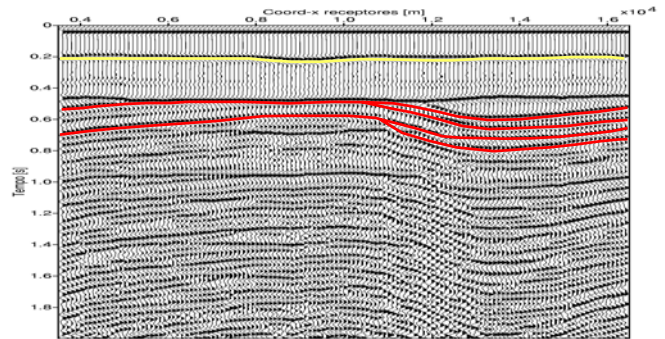


Figura 8: Seção AN modelada e com interpretação geológica das soleiras.

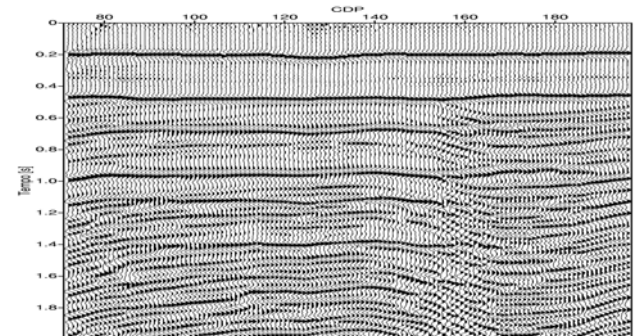


Figura 9: Seção AN simulada pelo método de empilhamento PMC de um pacote comercial de processamento.

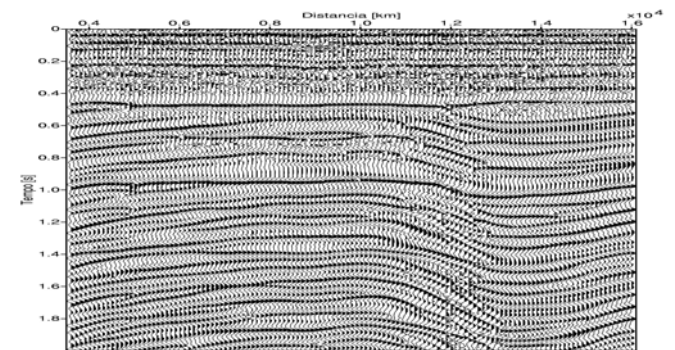


Figura 10: Seção AN simulada pelo método de empilhamento SRC

CONCLUSÕES

O modelo de velocidades confeccionado a partir do modelo geológico sintético é bastante representativo, pois nele é possível observar os diferentes contrastes de velocidade, possibilitando assim uma correlação entre o intervalo de velocidade, entre as interfaces e as diferentes litologias, existente no modelo geológico, embora se tenha considerado densidade constante.

O resultado da aplicação do empilhamento SRC no dado da bacia do Solimões, em geral, exhibe uma razão sinal/ruído superior a do empilhamento PMC, sendo este fato de grande importância para trabalhos futuros a serem desenvolvidos com esses dados, no que se refere à interpretação sísmica.

A interpretação preliminar da seção sísmica modelada baseada na conversão tempo-velocidade, revela pequenas diferenças entre os resultados do empilhamento PMC e SRC. Uma melhor interpretação dos resultados será efetuada nas seções AN migradas no tempo e em profundidade.

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. Jessé Costa por disponibilizar o Programa de Diferenças Finitas para a geração dos dados sísmicos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES, D. B.; FONSECA, T. C. O.; FARIAS, R. T.; SZATMARI, P.; EIRAS, J. F.; WANDERLEY F^o., J. R.; MENEZES, J. R. C.; FIGUEIRAS, A. J. M. **ICP-MS melhora a correlação estratigráfica das soleiras de diabásio da Bacia do Solimões**. In: Rio Oil & Gas Expo and Conference. 2000, Rio de Janeiro. Resumo expandido, RJ: Instituto Brasileiro de Petróleo (IBP), 2000. p

COSTA, J. **Programa de Diferenças Finitas Acústicas**. Departamento de Geofísica, Universidade Federal do Pará (UFPA). 2001,

EIRAS, J.F.; BECKER, C. R.; SOUZA, E.M.; GONZAGA, F.G.; SILVA, J.G.F.DA; DANIEL, L.M.F.; MATSUDA, N.S.; FEIJÓ, F.J. **Bacia do Solimões**. 1994. Boletim de Geociências da Petrobrás, v. 8, n. 1, p. 17-45.

EIRAS, J.F. **Tectônica, sedimentação e sistemas petrolíferos da Bacia do Solimões, Estado do Amazonas**. In: Searching for Oil and Gas in the Land of Giants. TAHA, M. 1998. (Schlumberger Ed.) The Search, Edição Especial Sobre o Brasil, cap. 2, p.23-31.

EIRAS, J.F.; WANDERLEY FILHO, J.R. **Ocorrências de petróleo relacionadas a rochas magmáticas fanerozóicas**. In: Simpósio sobre Vulcanismo e ambientes associados, 2, 2002, Belém. 2002. Boletim de Resumos e Roteiro de Excursão. Belém: Núcleo PRONEX do Centro de Geociências da UFPA, p.54.

GARABITO, G.; CRUZ, J.C.; HUBRAL, P.; COSTA, J. **Common-reflection-surface stack: A new parameter search strategy by global optimization**. 71 th. SEG Mtg., Expanded Abstracts. San Antonio, Texas, USA.

LIMA, C.C.A. **Modelagem sísmica por diferenças finitas num modelo representativo da Bacia do Solimões**. Universidade Federal do Pará, Centro de Geociências. 2003. Curso de Graduação em Geologia, Belém. (TCC), 36p.