



Aplicação da tecnologia de decomposição espectral na Formação Açú – Bacia Potiguar

Frederico Aguiar Ferreira Gomes, Leodilson Góes da Silva, Vivaldo Andrade Rocha, Kenny Laughin

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.

ABSTRACT

A recente tecnologia de decomposição espectral, desenvolvida pela LANDMARK em associação com a BP, fornece uma nova abordagem para a interpretação sísmica tridimensional, possibilitando a visualização de melhores imagens e mais detalhes dos reservatórios. Através da passagem dos dados sísmicos em tempo para o domínio da frequência, via uma transformada discreta de *Fourier* (DFT), é possível visualizar-se, no espectro de amplitude de diferentes frequências, feições distintas com espessuras variadas e descontinuidades geológicas laterais no espectro da fase.

A decomposição espectral se baseia no conceito de que uma reflexão originada em uma camada com pequena espessura tem expressões características no domínio da frequência, que é a expressão da resposta *tuning* desta camada. O processamento sísmico vem utilizando há muitos anos a decomposição espectral em diversos tipos de filtros. No entanto, a interpretação apenas recentemente vem usando diretamente a frequência para investigar detalhes de feições geológicas. Vale ressaltar que a literatura técnica inicia a publicação dos primeiros trabalhos com a tecnologia de decomposição espectral somente em 1998. Pode-se afirmar que a aplicação da decomposição espectral, em um campo da Bacia Potiguar revelou detalhes dos reservatórios que nenhum atributo sísmico aplicado isolado ou em combinação, conseguiu produzir anteriormente, não obstante tratar-se de dados sísmicos terrestres, com as suas limitações típicas de ruídos e de tratamento de amplitude. As imagens produzidas com a tecnologia recém introduzida no mercado permitiu visualizar, nos dois principais reservatórios do campo, canais fluviais de diferentes espessuras, leques de extravazamento (*crevasse splay*) e falhamentos com pequenos rejeitos.

INTRODUÇÃO

Procurou-se testar se a tecnologia da decomposição espectral forneceria imagens que mostrassem as feições geológicas típicas de um ambiente fluvial, presentes na Formação Açú. Adicionalmente, o trabalho teve o objetivo de testar se dados sísmicos terrestres da Bacia Potiguar, com as

suas limitações típicas de ruídos e de tratamento de amplitude, poderiam ser imageados adequadamente com a tecnologia recém introduzida no mercado.

O que se deseja com esta nova tecnologia é a aquisição de informações extras a partir dos dados sísmicos existentes, com o objetivo de melhorar o posicionamento de futuras locações tanto de desenvolvimento quanto de exploração.

Neste trabalho os reservatórios pesquisados foram imageados na faixa compreendida entre 10 e 80 Hz. Em geral, após o processo de animação das imagens, foram escolhidas três ou quatro frequências que mostravam melhores focos, que foram então pesquisadas em detalhe e interpretadas. Neste trabalho pretende-se mostrar, em cada reservatório, duas frequências significativas, sendo uma baixa e outra alta. As frequências mais altas respondem pelos canais menos espessos e vice-versa. Na pesquisa realizada não foi possível visualizar nenhuma feição geológica com coerência aceitável em frequências mais elevadas que 60 Hz, nem tampouco em frequências abaixo de 15 Hz. Nestas faixas extremas as imagens ficam ruidosas e fora de foco.

Os melhores exemplos da aplicação desta tecnologia, segundo Laughin (2002), são alcançados em ambientes com depósitos clásticos, onde é mais comum as variações nas espessuras e os detalhes nas relações estratigráficas são a chave para o sucesso do desenvolvimento de um campo. Esta tecnologia utiliza um espectro de amplitude bastante robusto, praticamente independente das fortes variações de fase presentes em dados sísmicos terrestres e é aconselhada para analisar a resposta de feições geológicas, com pequenas espessuras, em 3D com grandes dimensões, pois facilita a visualização dos alvos, otimizando o tempo da interpretação.

METODOLOGIA APLICADA

O conceito da decomposição espectral se baseia no fato de que uma reflexão sísmica proveniente de uma camada com pequena espessura produz uma resposta característica em uma determinada frequência (Partyka *et al*, 1999). Se uma zona de interesse é formada por uma série de camadas de pequenas espessuras, é possível que as frequências associadas à estas camadas possam fornecer mais detalhes geológicos que as imagens de amplitude (ou outro atributo sísmico) originadas do processamento convencional, podendo ser interpretada como diferentes tipos de facies geológicas em subsuperfície (Landmark, 2001).

A frequência característica de uma determinada camada depende de sua espessura e da sua impedância acústica. Assim, cada camada, dentro das limitações de resolução da sísmica, possui uma frequência

característica que a distingue das demais. Em outras palavras, as frequências mais elevadas imageam camadas menos espessas e vice-versa. Este processo guarda grande similaridade com o sensoriamento remoto, que utiliza diversas sub-bandas de frequência para mapear diferentes aspectos da terra.

Para determinar as diversas frequências características, associadas com uma série de camadas em uma zona particular de interesse, deve-se submeter esta zona à uma faixa de frequências e escolher as frequências que “excitam” cada camada, ou seja, as frequências que apresentam maiores amplitudes para uma determinada feição geológica.

A partir de um pequeno cubo geológico em tempo, é gerado um novo cubo denominado de *tuning*, através da decomposição espectral. No cubo *tuning* o tempo é substituído por uma gama de frequências do espectro. Assim, o cubo *tuning* fornece uma visualização da zona de interesse (nela incluídos os reservatórios) através de uma faixa de frequência previamente escolhida.

Por último, é realizado um processo de animação em frequência do cubo *tuning* para se determinar as frequências que se destacam. Como no sensoriamento remoto, é importante verificar dinamicamente as respostas dos reservatórios à diferentes bandas de frequência. Após a identificação destas frequências são gerados novos cubos, em tempo, de cada uma das frequências, fornecendo as imagens com melhores focos para a interpretação e permitindo que se visualizem diferentes feições geológicas ou detalhes, heterogeneidades internas e/ou modificações nas espessuras destas feições.

O sucesso na aplicação da técnica reside na criação de vários conjuntos de cubos, cada um correspondendo à diferentes frequências, que possam ser visualizados através de animações e que por fim revelem modificações espaciais nas espessuras das feições geológicas visualizadas.

TRATAMENTO DOS DADOS

As zonas de interesse estão compreendidas entre os horizontes Açú 2 e Açú 3 (fig.1). Estes 2 horizontes representam discordâncias geológicas que limitam seqüências estratigráficas e são facilmente reconhecidas nos perfis da área, através de características marcantes de cada seqüência. Os principais reservatórios do campo são as zonas A (superior) e B (inferior). O primeiro está imediatamente abaixo do horizonte mapeado Açú 3 e o segundo acima do horizonte Açú 2. As espessuras médias dos reservatórios são de 25 m e 40 m, respectivamente para A e B.

Realizou-se uma análise espectral onde constatou-se que a frequência de pico é ligeiramente superior à 40 Hz, dentro de uma janela de 0 à 290 ms, que corresponde seção geológica da Fm. Jandaíra e parte da Fm. Açú. Observa-se que é possível recuperar-se frequências da ordem de 80-90 Hz, com cerca de 30 dB abaixo da frequência de pico. Contudo, caso a janela de pesquisa fosse restrita ao intervalo compreendido entre os horizontes Açú2 e Açú 3, a frequência de pico se estenderia mais ainda, atingindo até 50 Hz. Obviamente, frequências desta ordem são relativamente altas para

dados sísmicos terrestres. Na realidade, a faixa de frequências foi bastante estendida depois do reprocessamento sísmico, que antecedeu o atual trabalho. Neste reprocessamento foram aplicados filtros de atenuação de ruídos discriminados através da transformada de *wavelet*, que permitiu recuperar altas frequências (Schots, 2002).

A fig.2 mostra o fluxograma aplicado para a obtenção dos diversos cubos de frequência deste trabalho. Inicialmente são gerados os cubos *tuning*, com diferentes janelas de tempo. O cubo *tuning* representa os reservatórios em diferentes frequências. Ao total foram testados cinco comprimentos de janelas em cada um dos reservatórios. Após os testes as melhores imagens foram obtidas com uma janela de 100 ms. Estabelecido os cubos *tuning*, procedeu-se a animação do cubo para a escolha das frequências que fornecessem as melhores imagens dos canais fluviais. Em cada um dos reservatórios analisados foram escolhidas 4 ou 5 frequências inicialmente, para posterior geração dos cubos de tempo.

Em seguida foram horizontalizados o cubo sísmico original a partir das superfícies Açú 2 e Açú 3, que correspondem, respectivamente, a base do reservatório A e o topo do reservatório B. Para a primeira superfície foi estabelecido o tempo de 300 ms, e para a segunda 100 ms, como origem dos cubos.

A próxima etapa corresponde a geração dos cubos, com as frequências previamente escolhidas, em tempo. Com cada um dos cubos gerados (corresponde à uma frequência específica) procede-se a animação dos *horizon slices* em tempo e escolhe-se as imagens com melhores focos das feições geológicas.

Encontrados os tempos das imagens com melhores focos (no caso do horizonte Açú 2 foi escolhida a imagem com 20 ms acima e para o Açú 3 foi escolhido o *horizon slice* com 15 ms abaixo), procede-se então uma nova corrida do cubo *tuning* com as janelas centradas nos tempos escolhidos na etapa anterior, para os 2 reservatórios. A próxima etapa é a geração de novos cubos, das frequências escolhidas para cada reservatório, em tempo e com a animação destes cubos e posterior interpretação das feições geológicas. Finaliza-se o processo gerando cubos de fase de cada frequência previamente escolhida. Novamente em cada cubo de fase são realizadas animações e interpretações.

Como pode-se observar, o fluxograma é relativamente simples. No entanto, são gerados muitos cubos com diversas imagens que exigem alguma concentração na escolha das imagens que forneçam boas representações das feições geológicas. Portanto, a metodologia pode tornar-se cansativa na sua aplicação, pois exige a análise de muitos cubos até se determinar quais as frequências e os tempos que forneçam as imagens com as melhores definições.

Foram testados ainda diversos filtros nas versões finais de cada cubo sísmico. Não se observou nenhuma melhoria nas imagens após a aplicação e optou-se obviamente pela não aplicação de filtros.

Para se obter os melhores resultados, dois parâmetros são fundamentais e exigem exaustivos testes, com diversas combinações. Estes parâmetros são : a) comprimento da janela e b) deslocamento do centro da janela em tempo.

Inicialmente testou-se o melhor tamanho da janela que otimizasse o foco nos dois reservatórios em análise. Após este procedimento finalizou-se movimentando-se a janela para baixo e para cima na tentativa de melhorar ainda mais as imagens. Portanto, o procedimento para obter-se imagens com as melhores definições, através da decomposição espectral, é um processo de tentativa e erro, que exige paciência e dedicação.

RESULTADOS

Os reservatórios pesquisados foram imageados na faixa compreendida entre 10 e 80 Hz. Em geral, após o processo de animação das imagens, foram escolhidas três ou quatro frequências que mostravam melhores focos, que foram então pesquisadas em detalhe e interpretadas. Neste trabalho pretende-se mostrar, em cada reservatório, duas frequências significativas, sendo uma baixa e outra alta. As frequências mais altas respondem pelos canais menos espessos e vice-versa. Na pesquisa realizada não foi possível visualizar nenhuma feição geológica com coerência aceitável em frequências mais elevadas que 60 Hz, nem tampouco em frequências abaixo de 15 Hz. Nestas faixas extremas as imagens ficam ruidosas e fora de foco.

A zona A situa-se imediatamente abaixo do horizonte Açú 3 e tem uma espessura média de 25 metros. Procurou-se focar principalmente as feições geológicas presentes no bloco localizado à SW do 3D, onde a qualidade sísmica é melhor. Entretanto, merece registrar-se que algumas feições geológicas fluviais são também observadas no bloco adjacente.

Após a geração do cubo *tuning*, foram escolhidas 3 frequências para detalhamento e interpretação. Na menor (26 Hz) são visualizados 3 “trechos” de canais fluviais isolados, como mostram as figuras 3(a e b). As frequências mais elevadas apresentam canais mais alongados e contínuos, com melhores definições nos seus limites, como mostram as figuras 4(a e b), obtidas com a frequência de 50 Hz. Adicionalmente, são visualizados lineamentos que sugerem falhas com pequenos rejeitos em diversas áreas do *horizon slice*. Vale ressaltar que estes lineamentos não são visualizados nos mapas obtidos no 3D original, independente do atributo superficial aplicado.

Nas imagens com mais altas frequências são visualizadas também duas áreas que estão sendo interpretadas como *crevasse splay* dos canais. Estas áreas são caracterizadas por amplitudes pronunciadas em relação às áreas vizinhas, porém menores que os canais, sugerindo áreas de rompimento dos canais (estravazamentos). Os limites dos canais, que normalmente são expressos por linhas com menores amplitudes (escuras), neste caso estão indefinidas, o que corrobora com a possível presença de *crevasse splay*.

Observa-se que os canais visualizados nas faixas de frequências mais elevadas não são visualizados nas frequências menores, bem como não se observam também lineamentos nestas frequências. Obviamente, os canais presentes nas frequências menores são mais espessos que os canais mostrados nas frequências maiores. Contudo, não se quantificou as espessuras destes canais nas diversas imagens obtidas.

A análise de algumas seções sísmicas perpendiculares aos canais visualizados nas imagens obtidas com a decomposição espectral, sugerem fracas insinuações da presença de canais. Porém é clara a dificuldade de interpretá-los com técnicas tradicionais, tais como: mapas de amplitude ou de outros atributos superficiais, mapas de isócronas, etc. Observando-se algumas seções sísmicas constata-se, com alguma dificuldade, que a presença dos canais é caracterizada indiretamente por descontinuidades nas reflexões, sutis variações das amplitudes lateralmente, erosões na base e, por vezes, através de pequenos espessamentos nas isócronas.

Todas estas características são difíceis de serem mapeadas lateralmente e, na maioria das vezes, estão presentes nas seções sísmicas de formas incipientes e descontínuas. Acrescenta-se ainda que alguns estágios individuais de canais são praticamente impossíveis de serem reconhecidos na sísmica original. Os mapas de amplitude dos 2 horizontes pesquisados, não mostram nenhuma tendência visível de canais. Portanto, o mapeamento dos canais pelas técnicas de interpretação tradicionais é totalmente inadequado.

Após a escolha das frequências foram gerados os cubos correspondentes em tempo. Novamente são visualizadas animações, neste caso em tempo, para pesquisar as imagens que melhorem ainda mais a definição dos canais. No caso da Zona A, pouco foi acrescentado às frequências pesquisadas.

A zona inferior situa-se imediatamente acima do horizonte Açú 2 e tem uma espessura média de 40 m. Também nesta zona procurou-se focar principalmente as feições geológicas presentes no bloco à SW do 3D, pelos mesmos motivos expostos anteriormente.

Nesta zona também foram escolhidas 3 frequências para detalhamento e interpretação. Na faixa menor (25 - 30 Hz) são visualizados alguns canais fluviais com relativa continuidade, além de possíveis falhamentos de pequeno rejeito localizados ao norte, como mostram as figuras 5 (a e b). A interpretação que foi dada à imagem sugere um rio do tipo meandrante grosseiro (*coarse meandering*), com alguns canais menores abandonados e/ou sobrepostos. Estes mesmos canais podem ser focados individualmente modificando-se ligeiramente a frequência para cima ou para baixo. Com relação aos possíveis falhamentos, é importante ressaltar que não se observam estes mesmos alinhamentos nos mapas tradicionais de amplitude ou utilizando quaisquer outros atributos sísmicos superficiais.

As frequências mais elevadas apresentam canais com continuidade questionável e com menores definições nos seus limites, como mostram as figuras 6 (a e b), obtidas com a frequência de 46 Hz. Pode-se afirmar que existe um grau maior de incertezas associado às imagens com maiores frequências, sugerindo que nesta zona não existe uma participação efetiva de canais com menores espessuras.

Observa-se que existe uma clara divisão nas imagens, de tal sorte que os canais visualizados nas faixas de frequências mais elevadas não são visualizados nas frequências menores. Ao contrário do reservatório anterior, as melhores imagens foram as obtidas com as frequências menores ou médias, sugerindo que nesta

zona os canais devem ser relativamente mais espessos que na zona anterior.

Com base nas freqüências que obtiveram as melhores imagens foram gerados novos cubos sísmicos, correspondentes em tempo, e novamente são visualizadas animações para pesquisar as imagens que possam melhorar ainda mais o foco e/ou mostrar outras feições geológicas. A Zona B, à exemplo da anterior, praticamente não apresentou melhorias significativas nos novos cubos em tempo. São observadas apenas pequenas melhorias na definição de algum canal, de forma muito localizada.

Com relação ao cubo de fase, praticamente nada foi acrescentado de novo ao que já se tinha constatado no domínio da freqüência em ambos os reservatórios. Até com relação aos falhamentos, onde seria natural que a fase fornecesse imagens mais marcantes, não se visualizou nenhuma nova feição linear.

Finalmente, as figuras 8 (a e b) mostram canais individualizados, em ambos os reservatórios, através de técnicas de visualização com a utilização de voxgel.

CONCLUSÕES

As técnicas tradicionais de interpretação e visualização de canais são inadequadas para a Formação Açu. Assim, a aplicação da decomposição espectral, como uma tecnologia recém lançada no mercado, veio de encontro para preencher uma lacuna deixada pelas ferramentas tradicionais.

As imagens produzidas com a decomposição espectral permitiu visualizar, nos dois principais reservatórios analisados, canais fluviais de diferentes espessuras, zonas de extravazamento (*crevasse splay*) e falhamentos com pequenos rejeitos. Vale registrar que o aplicativo foi testado em dados sísmicos terrestres, onde existem severas limitações provocadas pela constante presença de ruídos e, principalmente, pela ineficiência no tratamento das amplitudes.

A direção preferencial dos canais visualizados nas diversas imagens é aproximadamente sul para norte e está coerente com os dados geológicos das paleocorrentes do sistema fluvial que depositou os sedimentos da Formação Açu nesta área da bacia.

Os melhores exemplos da aplicação desta tecnologia, segundo Laughlin (2002), são alcançados em ambientes com depósitos clásticos, onde é mais comum as variações nas espessuras. Adicionalmente, a tecnologia é recomendada para reservatórios delgados, como é o caso da maioria dos reservatórios da Fm. Açu, que representam mais de 70% das reservas da Bacia Potiguar.

Esta tecnologia utiliza um espectro de amplitude bastante robusto, praticamente independente das fortes e variações de fase, comuns em dados sísmicos terrestres. É uma tecnologia aconselhada para analisar levantamentos sísmicos tridimensionais com grandes dimensões, pois facilita a visualização dos alvos, otimizando o tempo da interpretação.

Não existem artefatos sísmicos que possam gerar artificialmente imagens de canais sinuosos, tais como os que são mostrados neste trabalho. Portanto, a presença das feições típicas de um sistema fluvial,

visualizadas com a decomposição espectral, representam realmente a geologia da época da deposição da Formação Açu.

Finaliza-se afirmando que, a aplicação da decomposição espectral revelou detalhes geológicos na Formação Açu que nenhum atributo sísmico aplicado isoladamente ou em combinação conseguiu reproduzir. Neste sentido, recomenda-se a aplicação desta tecnologia em futuros estudos de reservatório da Bacia Potiguar, principalmente na Formação Açu.

AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer à PETROBRAS e aos coordenadores do PRAVAP-19 pela oportunidade de participar deste trabalho, através de uma missão no exterior, que foi muito gratificante em termos técnicos e também pela permissão de publicá-lo.

REFERÊNCIAS

Gomes, F.A.F., Silva, L.G., Rocha, V.A., Mundim, E.C.,

Paraizo, P.B, 2002 : Aplicação da tecnologia decom-

posição espectral na Formação Açu, Campo de Fazenda Pocinho – Missão ao exterior (Denver – CO), CENPES – PETROBRAS Rel. Interno.

LandMark, 2001: Focusing On. Publicação da revista FRONTIERS da LANDMARK.

Laughlin, K., Garossino, P., and Partyka, G., 2002 : Spe-

ctral decomposition applied to 3-D; AAPG EXPLORER, Geophysical corner, may 2002.

Partyka, G., and Gridley, J., 1998 : Interpretational aspects of spectral decomposition: Conference and Exposition Abstracts, Istanbul, 1998.

Partika, G., Gridley, J. and Lopez, J., 1999: Interpretatio-

nal applications of spectral Decomposition in characterization: The Leading Edge, march 1999, pp 353-360.

Peyton, L., Bottjer, and R., Partyka, G., 1998: Interpretati-

on of incised valleys using new 3-D Seismic techni-

ques: A case history using spectral decomposition and coherency: The Leading Edge, september 1998,

pp 1294-1298.

Schots, H.A., 2002: Aplicação da transformada Wavelet na eliminação de ruídos coerentes, Rel. Interno, PETROBRAS.

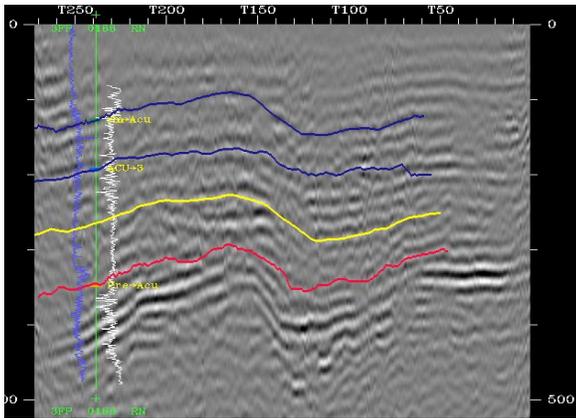


Fig. 1 – Seção sísmica com os principais refletos mapeados.

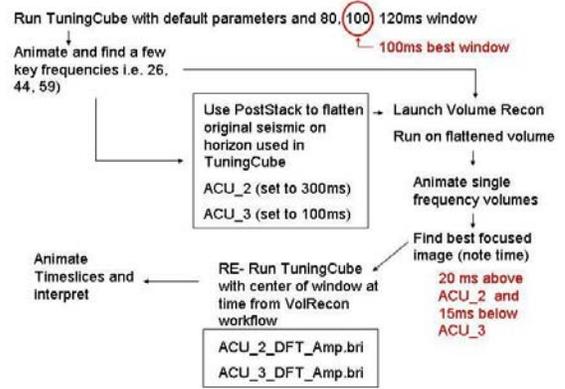
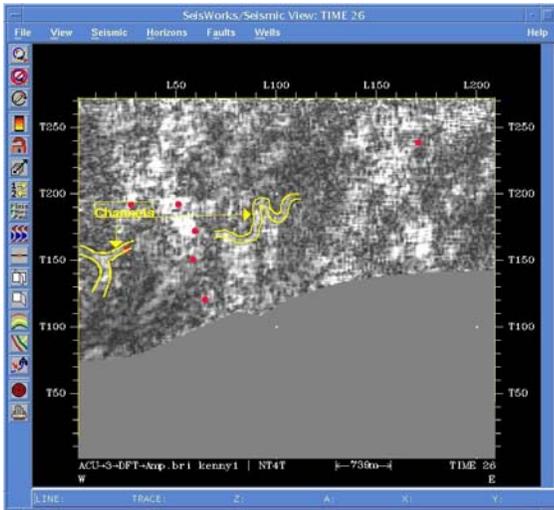
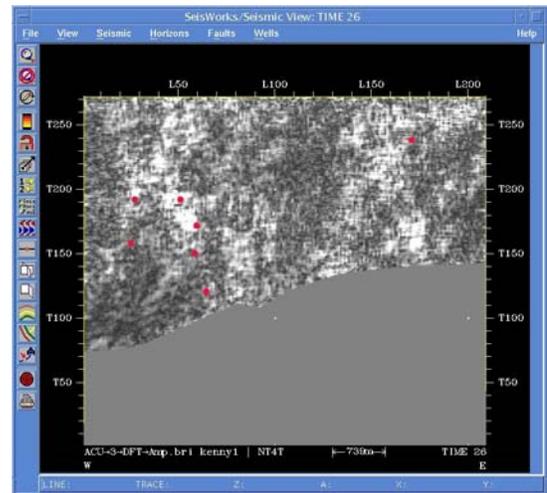


Fig. 2 – Fluxograma simplificado do método.

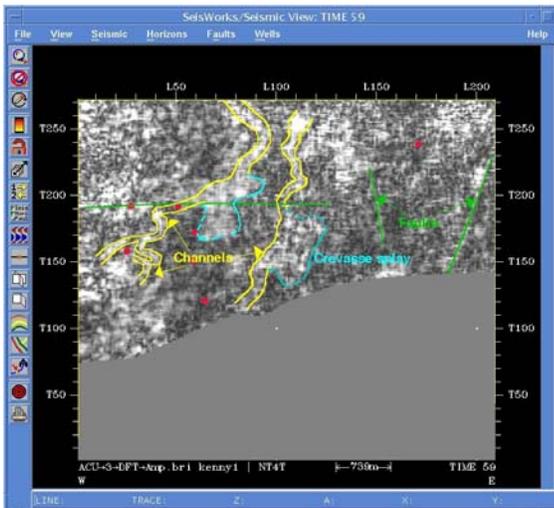


(a) Com interpretação.

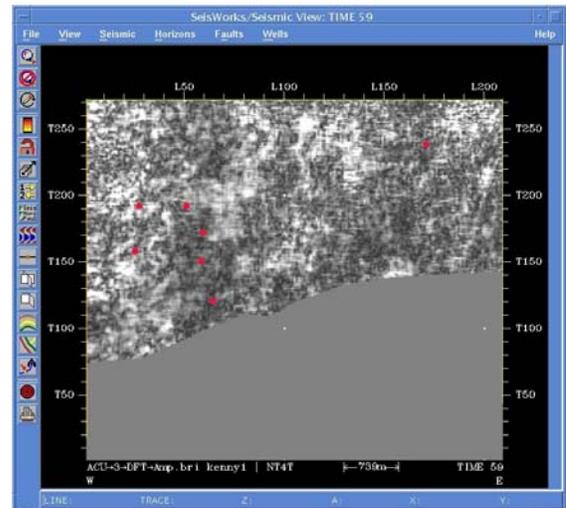


(b) Sem interpretação.

Fig. 3 – Mapas de amplitude do reservatório da zona A , obtidos com 26 Hz.

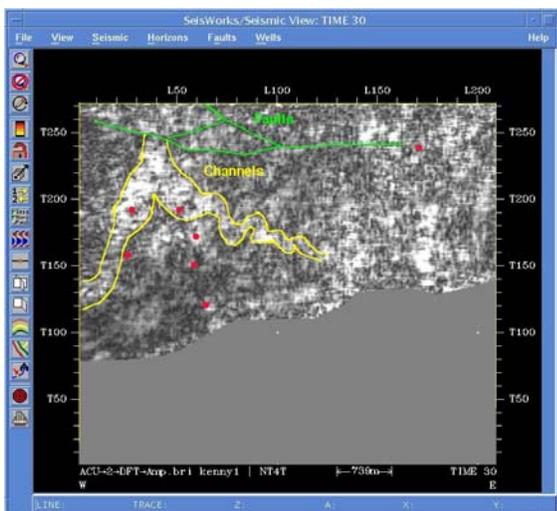


(a) Com interpretação.

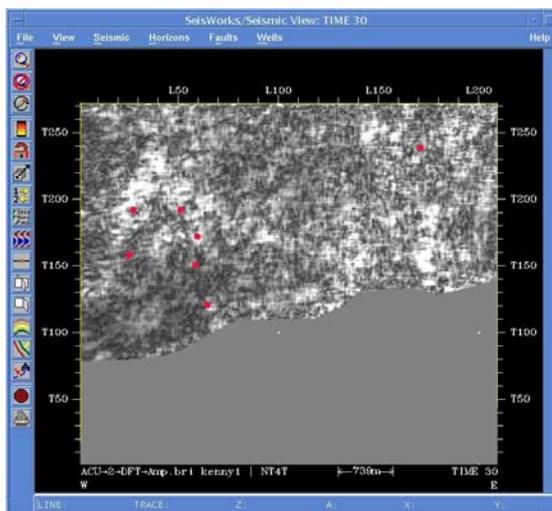


(b) Sem interpretação.

Fig. 4 – Mapas de amplitude do reservatório da zona A, obtidos com 59 Hz.

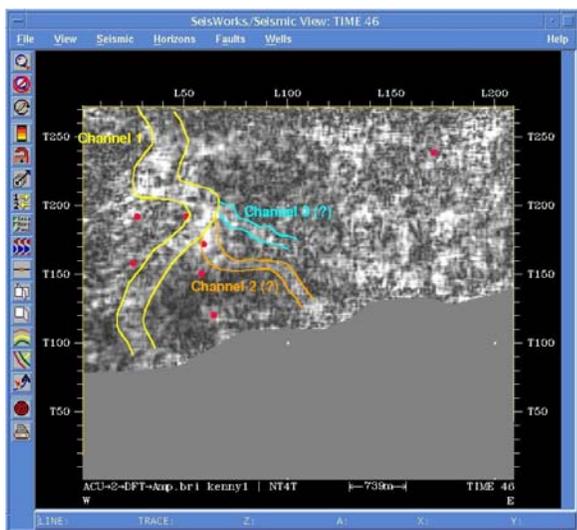


(a) Com interpretação.

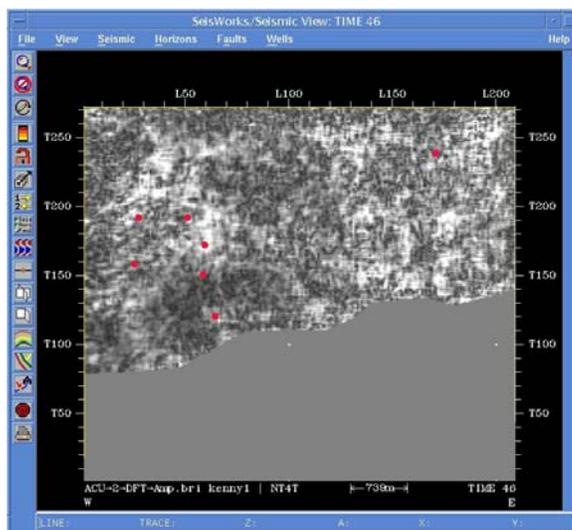


(b) Sem interpretação.

Fig. 5 – Mapas de amplitude do reservatório B, obtidos com 30 Hz.

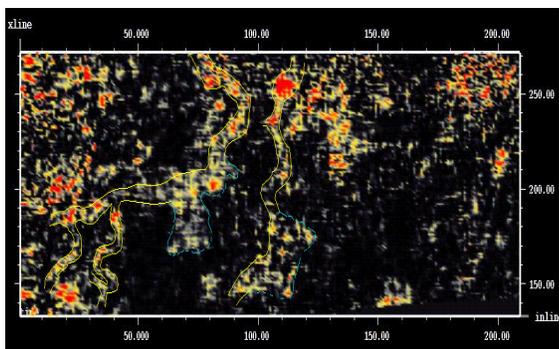


(a) Com interpretação.

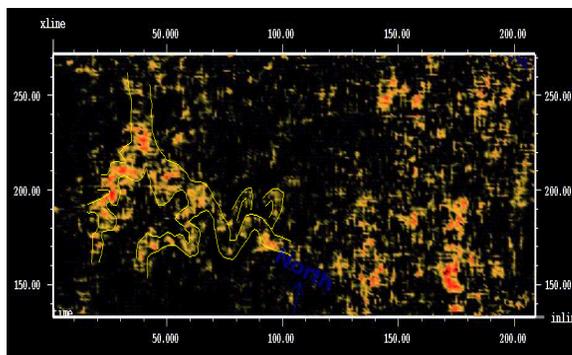


(b) Sem interpretação.

Fig. 6 – Mapas de amplitude do reservatório B, obtidos com 46 Hz.



(a) Reservatórios da zona A.



(b) Reservatórios da zona B.

Fig. 7 – Mapas obtidos com voxel dos reservatórios analisados.