

ESTUDO COMPARATIVO USANDO WAVELETS PARA ANÁLISE DE IMAGENS SÍSMICAS EM RESERVATÓRIOS DE PETRÓLEO

Moisés Dantas dos Santos *
José Patrocínio da Silva **

RESUMO

Os sismogramas, a princípio, apresentam uma boa aproximação de uma determinada estrutura geológica. No entanto, as imagens apresentadas por estes muitas vezes são contaminadas por informações irrelevantes. Contido nestas imagens, o ruído de rolamento superficial ou “ground roll” pode contribuir de maneira relevante para distorção dos dados presentes na informação desejada, devido ao espalhamento de ondas nas regiões mais profundas das camadas geológicas. Neste trabalho, foi utilizado um método baseado nas Transformadas Wavelets de Haar e Doubechies para atenuação do ruído de rolamento presente em imagens sísmicas terrestres semelhantes às encontradas em reservatórios de petróleo. Os resultados obtidos demonstram que após a remoção do “ground roll” as características originais relevantes presentes nas imagens são preservadas e apresentam uma boa concordância com os modelos encontrados na literatura podendo assim, ser utilizado como ferramenta no tratamento de imagens sísmicas.

Palavras-chave: Transformadas Wavelet. Ruído *Ground Roll*. Ruído Impulsivo. Imagens Sísmicas e Digitais.

* Departamento de Informática, Centro de Informática, Universidade Federal da Paraíba. E-mail: mdantas@ci.ufpb.br

** Departamento de Engenharia Elétrica, Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte.

1 INTRODUÇÃO

O ambiente geológico onde o petróleo é gerado e armazenado é um meio heterogêneo e complexo, em geral, a milhares de metros de profundidade na crosta terrestre e com algumas dezenas de metros de espessura (YILMAZ, 2001; LINVILLE; MEEK, 1997). A obtenção de dados desse meio pode ser feita através de métodos diretos, como a perfuração de poços, que possuem um custo operacional elevado, ou através dos métodos indiretos, tais como a sísmica de

reflexão ou refração, que são mais baratos (CORSO et al., 2003). A sísmica de reflexão é o principal método utilizado na prospecção de hidrocarbonetos por fornecerem informações com maior precisão da subsuperfície, bem como das propriedades físicas das camadas que a compõem. Neste método, observa-se o comportamento das ondas sísmicas que, após penetrarem na crosta, são refletidas por descontinuidades das propriedades elásticas do meio e, retornando à superfície, são detectadas por geofones estrategicamente dispostos para esta finalidade.

Os geofones registram as superposições das reflexões que representam amplitudes físicas individuais, caracterizadas por uma série temporal (THOMAS, 2001). A partir da série temporal, é construído um sismograma, que pode ser definido como uma matriz onde, as colunas são os índices dos receptores, e as linhas os índices dos instantes de tempo, e em seu conteúdo serão armazenadas as amplitudes das ondas capturadas. Para efeito de análise, por se tratar de uma matriz, um sismograma pode ser identificado como uma imagem, sendo

que cada elemento da matriz corresponde a um pixel. A partir desta identificação, podemos utilizar as técnicas ou algoritmos de processamento de imagens através das transformadas de wavelets para eliminar os ruídos indesejáveis (DEIGHAN; WATTS, 1997; MALLAT, 1989).

Um dos maiores problemas do processamento sísmico é o ruído presentes nas imagens, pois, corresponde a uma energia indesejada. A necessidade de atenuar este ruído é motivada pelo fato de que eles podem mascarar informações relevantes de estruturas geológicas de uma determinada área explorada. No processamento sísmico, geralmente utiliza-se um conjunto de técnicas que atuam sobre os dados, de forma a retirar ou minimizar estes eventos indesejáveis. Tal procedimento é utilizado para preservar as características originais das imagens e possibilitar o máximo de informações possíveis das camadas geológicas.

Um dos principais ruídos na sísmica terrestre é o ruído de rolamento superficial, usualmente denominado "*ground roll*". Durante a obtenção dos dados sísmicos, cerca de dois terços da

energia produzida corresponde a este tipo de ruído de rolamento, também conhecido por ondas de “*Rayleigh*” (LEITE et al., 2008). Estas formas de onda se propagam na superfície como ondas rolantes e são caracterizadas pela baixa frequência, baixa taxa de decaimento e alta amplitude (YILMAZ, 2003). Dessa forma, as amplitudes que constituem o *ground roll*, não carregam informações sobre as estruturas geológicas mais profundas, tornando-se um sinal indesejável, se sobrepondo nas camadas de interesse, mascarando as informações relevantes para a interpretação das imagens. O *ground roll* está sempre presente nos levantamentos terrestres, nos sismogramas ele aparece na forma geométrica de um cone (YILMAZ, 2003).

Neste trabalho, as transformadas wavelets de Haar e Daubechies foram aplicadas para análise de imagens sísmicas terrestres, semelhantes aos encontrados em reservatórios de petróleo. Foi feito um estudo comparativo objetivando formular um modelo computacional capaz de identificar de forma eficiente uma wavelet ortogonal para eliminação do *ground roll*, através de técnicas de processamento de imagens.

Na próxima seção, a metodologia e o modelo matemático são resumidamente apresentados, os resultados são exibidos na seção 3, e finalmente são apresentadas as principais conclusões deste trabalho.

2 METODOLOGIA E MODELO MATEMÁTICO

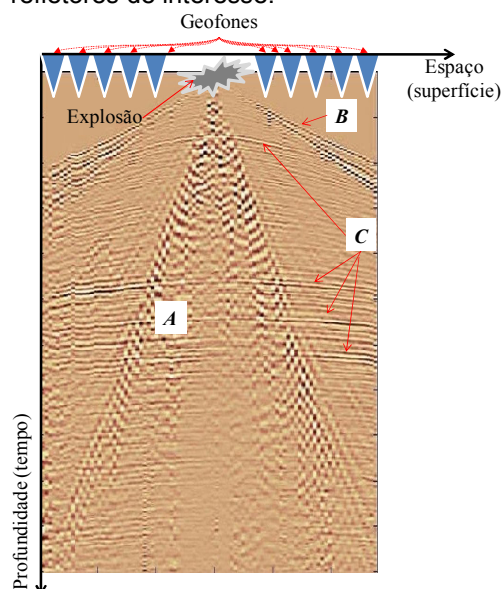
a) Metodologia

As wavelets utilizadas neste trabalho são dos tipos ortogonais, de Haar e Daubechies (PAN, 2001; DAUBECHIES, 1990), aplicadas em conjunto com os algoritmos de análise e decomposição propostos por Mallat (MALLAT, 1989). Utilizando essas técnicas no processamento das imagens, torna-se possível fazer uma análise em diferentes níveis de resolução para que se tenha uma estimativa da contribuição que cada tipo de wavelet oferece para redução do ruído de rolamento superficial.

Para testar a eficiência das técnicas utilizadas neste trabalho, foi usada uma imagem ou conjunto de dados conhecido como Oz 25 (YILMAZ, 2003), como ilustrado na Fig. 1. Em adição, a imagem mostrada na Fig. 1, apresenta

uma grande quantidade de ruído superficial e todo o centro do conjunto de dados é contaminado pelo *ground roll* (região A). Este tipo de ruído pode mascarar a visualização dos eventos de interesse, dificultando a interpretação das estruturas de subsuperfícies (região C). Na região B, observa-se o ruído causado pelas ondas aéreas que também contaminam a imagem.

Figura 1 - Sismograma, onde **A** é uma região contaminada pelo ruído de rolamento superficial, **B** é a região contaminada pela onda de choque aérea e **C** representa os refletores de interesse.



Fonte: Dados da Pesquisa

b) Modelo Matemático

A teoria das wavelets é um recente e fascinante desenvolvimento matemático com importantes aplicações nas diversas áreas da ciência e engenharia. A transformada de wavelet surgiu para complementar algumas deficiências que ocorrem na técnica básica da transformada de Fourier (SANTOS, 2011).

A rigidez das janelas tempo-frequência associadas à transformada de Fourier, impõe uma limitação dessa técnica em determinadas aplicações. Por outro lado, a transformada de wavelet permite ultrapassar essa dificuldade originando uma análise com janelas flexíveis cuja largura e alturas se adaptam as frequências (SANTOS, 2011). A teoria sobre as wavelets envolve representação de dados em termos de funções de bases em diferentes escalas e posições. Ela permite uma análise de multiresolução local, tanto no domínio espacial quanto no domínio das frequências.

As wavelets são obtidas a partir de uma função simples $\psi(x)$, denominada de wavelet mãe, definida por (PAN, 2001):

$$\psi_{a,b} = \psi_a(t-b) = \frac{1}{\sqrt{|a|}} \psi\left(\frac{t-b}{a}\right) \quad (1)$$

onde, a representa a dilatação e b representa a translação ou o deslocamento. Segundo Pan, G. W (PAN, 2001), toda fundamentação teórica sobre as wavelets ortogonais e a análise em multiresolução são decorrentes das funções escalas de Haar e funções wavelet de Haar definidas por:

$$\varphi(t) = \begin{cases} 1 & \text{se } t \in [0,1] \\ 0 & \text{se } t \notin [0,1] \end{cases} \quad (2)$$

$$\varphi(t) = \begin{cases} 1 & \text{se } t \in \left[0, \frac{1}{2}\right] \\ -1 & \text{se } t \in \left(\frac{1}{2}, 1\right] \\ 0 & \text{se } t \notin [0,1] \end{cases} \quad (3)$$

As equações (2) e (3), quando generalizadas podem ser representadas pelas seguintes equações:

$$\varphi_{e,d}(t) = 2^{e/2} \varphi(2^e t - d) \quad (4)$$

$$\psi_{e,d}(t) = 2^{e/2} \psi(2^e t - d) \quad (5)$$

onde, e denota a escala ou nível de resolução e d a dilatação ou

deslocamento. Na prática a equação (4) é uma discretização da equação (5) para $a = 2^{-e}$, $b = 2^{-e} d$ com $e, d \in \mathbb{Z}$. A família de funções $\{\varphi_{e,d}, \psi_{e,d}; e, d \in \mathbb{Z}\}$ forma um sistema ortonormal completo do espaço $L^2(\mathbb{R})$ (PAN, 2001). Com esta característica, associado às particularidades de uma análise em multiresolução (DAUBECHIES, 1988), que é definida por uma seqüência de subespaços fechados $V_e \in L^2(\mathbb{R})$ e uma função escala φ que satisfazem as seguintes propriedades:

- I. $V_e \subset V_{e+1} \Leftrightarrow \dots \subset V_{-2} \subset V_{-1} \subset V_0 \subset V_1 \subset \dots$
- II. $\bigcap_{e \in \mathbb{Z}} V_e = \{0\}$ e $\bigcup_{e \in \mathbb{Z}} V_e = L^2(\mathbb{R})$
- III. Se $f(t) \in V_e \Leftrightarrow f(2t) \in V_{e+1}$
- IV. $\exists \varphi(t) \in V_0; \{\varphi(t-d); d \in \mathbb{Z}\}$, forma uma base ortonormal de V_0 .

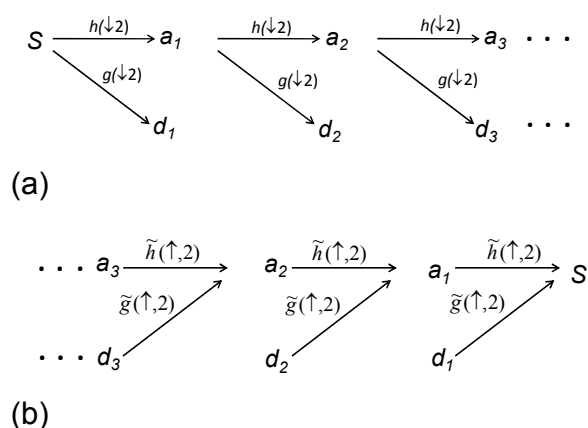
A partir das propriedades da análise em multiresolução, qualquer função $f \in L^2(\mathbb{R})$, que represente uma imagem ou um sinal, pode ser representada por uma decomposição de wavelets:

$$f = a_{-n,0} \phi_{-n,0} + \sum_{e=-n}^N \sum_{d=0}^{2^{e+n}-1} c_{e,d} \psi_{e,d} \quad (6)$$

Em adição, através da teoria de análise em multirresolução desenvolvida

por Daubechies (1988), Mallat (1989) desenvolveu um algoritmo eficiente de decomposição e reconstrução para aplicação de wavelets em análise de imagens e sinais através de filtros. O procedimento baseia-se na decomposição e reconstrução das imagens em várias escalas como ilustrado nas Figs. 2a e 2b. Através desta técnica, podem-se obter as características presentes na imagem em cada um dos níveis presentes na mesma.

Figura 2 - Representação do algoritmo: (a) de análise e decomposição rápida com filtros h e g seguida por uma decimação de $(\downarrow 2)$ e (b) de análise e reconstrução rápida com filtros \tilde{h} e \tilde{g} seguida por uma inserção $(\uparrow 2)$.



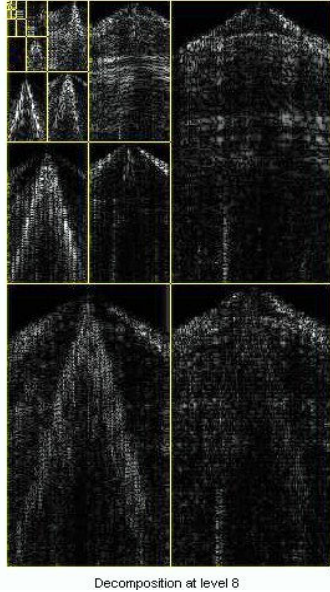
Fonte: Dados da Pesquisa

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Para efeito de retirada do ruído de rolamento superficial, foi utilizado o processo de decomposição em multiescala, com oito níveis de decomposição como mostrado na Fig. 3. Neste processo de decomposição, o ruído presente na imagem fica restrito aos coeficientes das escalas maiores, ou seja, ruído de baixa frequência que podem ser visualmente localizados, como pode ser observado na Fig. 4. Desta forma, o procedimento de filtragem consiste em atenuar os coeficientes da wavelet na região que corresponde à energia do ruído.

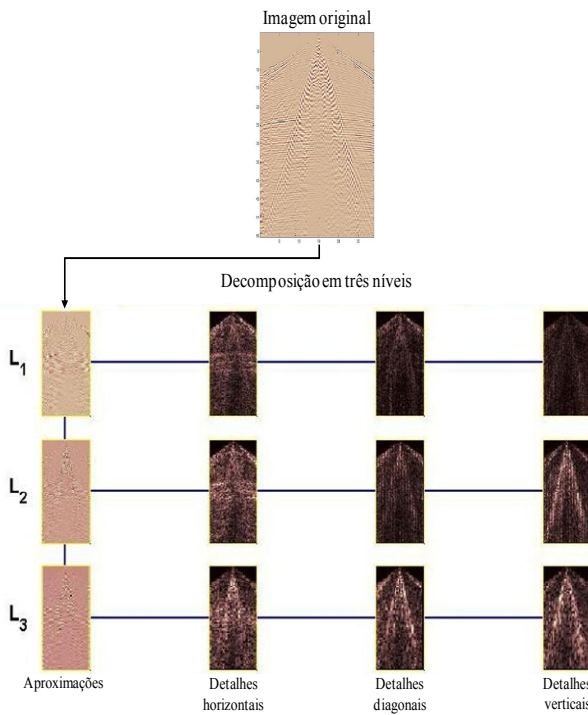
Em adição, no processo de filtragem, define-se um limiar de corte dos coeficientes das wavelets, para maximizar a remoção do ruído a partir de inspeções visuais da imagem. A escolha do limiar depende da quantidade visual do ruído presente no dado sísmico.

Figura 3 - Decomposição, em oito níveis através do método de decomposição em wavelets para o sismograma da Fig 1.



Fonte: Dados da Pesquisa

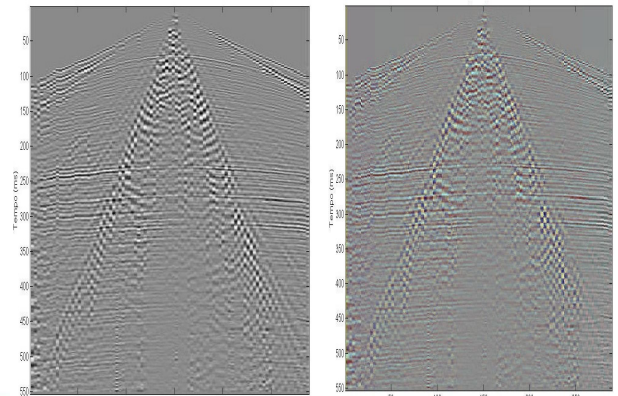
Figura 4 - Representação, em três níveis de resolução, através do método de decomposição em wavelets para o sismograma da Fig 1.



Fonte: Dados da Pesquisa

A Fig. 5 mostra uma comparação entre a imagem original semelhante a um sismograma contendo o *ground roll*, apresentada na Fig1, e a imagem após a filtragem do *ground roll* utilizando a wavelet de Haar no oitavo nível de resolução. Observa-se que as características originais da imagem são preservadas nas regiões de interesse e uma porção quase imperceptível do ruído foi removido.

Figura 5 - Comparação entre sinais: (a) Imagem original contendo o *ground roll* e (b) Imagem com atenuação do *ground roll* através da decomposição em multiescala utilizando wavelet de Haar.



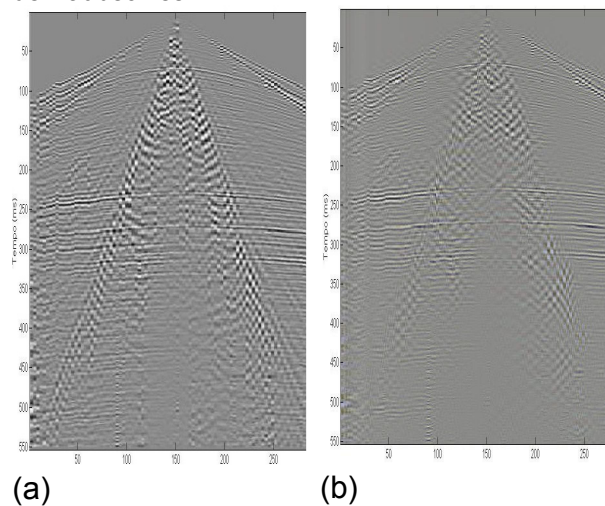
(a) (b)
Fonte: Dados da Pesquisa

A seguir, a wavelet de Doubechies é utilizada na imagem original mostrada na Fig. 1, para filtragem do ruído. A Fig. 6 mostra uma comparação entre a imagem original e a imagem após a filtragem do *ground roll* utilizando a wavelet de

Daubechies no oitavo nível de resolução. Pode-se observar, visualmente, que a através desta transformada wavelet houve uma remoção significativa do ruído, preservando principalmente as características originais da imagem nas linhas horizontais onde, são fornecidas as informações de maior interesse para análise de registros sísmicos em reservatórios de petróleo. A Fig. 7 mostra o resíduo removido através da wavelet de Daubechie.

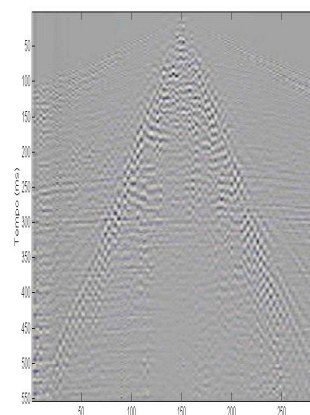
Em observação, destaca-se que para maior eficiência da técnica utilizada, este processo pode ser repetido considerando apenas sub-blocos da matriz associada a imagem, ou seja, considera-se partes desta imagem onde exista maior presença do ruído.

Figura 6 - Comparação entre sinais: (a) Imagem original contendo o *ground roll* e (b) Imagem com atenuação do *ground roll* através da decomposição em multiescala utilizando wavelet de Daubechies.



(a) (b)
Fonte: Dados da Pesquisa

Figura 7 - Resíduo removido através da wavelet de Daubechies.



Fonte: Dados da Pesquisa

4 CONCLUSÕES

Neste trabalho, o método de decomposição em multiescala, utilizando as wavelets de Haar e Daubechies foi aplicado com sucesso, na análise de registros sísmicos semelhantes aos encontrados em reservatórios de petróleo. Os resultados obtidos mostram que a através da wavelet de Daubechies é possível se obter uma melhor visualização da imagem após a retirada do *ground roll*.

A partir do estudo comparativo apresentado neste trabalho, pode-se perceber claramente, que a escolha da wavelet adequada é de fundamental importância na otimização do processo de filtragem para retirada ou remoção do *ground roll*.

AGRADECIMENTOS

Os autores deste trabalho agradecem a UFERSA, a CAPES e a FINEP pelo apoio financeiro.

A COMPARATIVE STUDY USING WAVELETS TO ANALYZE SEISMIC IMAGES IN PETROLEUM RESERVOIR

ABSTRACT

The seismograms, at first, show a good approximation of geological structure. However, some images featured by them, sometimes, are tainted with irrelevant information. In these pictures, the ground roll noise may contribute to some interference that affects the accurateness of the information, due to the spread of the waves in the deepest geological layers. In this study it was used a method based in the Haar wavelet and Daubechies wavelets to reduce the ground roll noise present in the terrestrial seismic images such as the one presents in the petroleum reservoir. The results of this study demonstrate that after the ground roll noise be reduced the original characteristic present in the images are kept and match with the theoretical models. Therefore, it might be used as a tool in the processing of seismic images.

Keywords:

Wavelet Transforms. Ground Roll Noise. Impulse Noise. Seismic and Digital Images.

REFERÊNCIAS

- CORSO, G. et al. Seismic ground roll time–frequency filtering using the Gaussian wavelet transform. **Physica**, v. 318, p. 551–561, sep. 2003.
- DAUBECHIES, I. Orthonormal Bases of Compactly Supported Wavelets. **Communications on Pure and Applied Mathematics**, v. 41, p. 909–996, 1988.
- _____. The Wavelets Transform, Time-Frequency Localization and Signal Analysis. **IEEE Transactions on Information Theory**, v. 36, p. 961-1005, 1990.
- DEIGHAN, A. J.; WATTS, D. R., Ground roll suppression using the wavelet transform. **Geophysics**, v. 62, p. 1896–1903, 1997.
- LEITE, F. E. A. et al. Optimal wavelet filter for suppression of coherent noise with an application to 28 seismic data. **Physica**. v.387. p. 1439–1445, 2008.
- LINVILLE, A. F.; MEEK, R. A. Título. **Geophysics**, v. 60, n.1, oct. 1997.
- MALLAT, S. A. Theory for Multiresolution Signal Decomposition: Wavelet Representation. **IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intellig.**, n. 11, p. 674-693, 1989.
- PAN, G. W. **Wavelet in Electromagnetic and Devices Modelling**. New York: John Wiley & Sons Inc, 2001.
- SANTOS, M. D. et al. New antenna modelling using wavelets for heavy oil thermal recovering methods. **Journal of petroleum science and engineering**, v. 76, p. 63-75, 2011.
- THOMAS, J. E. **Fundamentos de Engenharia de Petróleo**. Rio de Janeiro: Interciência Petrobras, 2001.
- YILMAZ, O. Seismic Data Analysis. **Society of Exploration Geophysicists**, Tulsa (USA), v. 1, p. 150-169, 2001.
- _____. Seismic data processing. **Society of Exploration Geophysicists**, Tulsa, USA, 2003.