



Atenuação em sedimentos marinhos: uma estimativa com base em dados experimentais.

Antonio Hugo Saroldi Chaves(*), Marco Polo Pereira Buonora, Departamento de Geologia - LAGEMAR – UFF.

Copyright 2008, SBGf - Sociedade Brasileira de Geofísica

Este texto foi preparado para a apresentação no III Simpósio Brasileiro de Geofísica, Belém, 26 a 28 de novembro de 2008. Seu conteúdo foi revisado pelo Comitê Técnico do III SimBGf, mas não necessariamente representa a opinião da SBGf ou de seus associados. É proibida a reprodução total ou parcial deste material para propósitos comerciais sem prévia autorização da SBGf.

RESUMO

A atenuação em sedimentos marinhos é uma característica importante para os modelos de propagação acústica. Um modelo matemático da teoria da relaxação foi utilizado para atenuar um sinal chirp linear de banda larga com frequências de 2-16 kHz e, com a correlação de sinais, foram criados padrões para serem comparados com dados de um experimento acústico realizado na plataforma continental, próximo a Arraial do Cabo - RJ, Brasil, usando como fonte um perfilador de sub-fundo *chirp*. Análise foi feita em frequência comparando-se a correlação do sinal matematicamente atenuado e o sinal recebido pelo hidrofone durante o experimento. A profundidade de penetração no sedimento foi estimada com base na frequência instantânea do sinal analítico do tempo convertido em distância no sinal refletido. Os cálculos permitiram a estimativa da atenuação, tamanho médio dos grãos e tipo de sedimento com relações estabelecidas empiricamente na literatura.

INTRODUÇÃO

Os principais fatores que influenciam a propagação do som em águas rasas são o perfil da velocidade do som e as propriedades geoacústicas do fundo. Este trabalho tem como objetivo estimar uma propriedade geoacústica de importância para os sistemas de previsão de alcance sonar e para os modelos de propagação acústica: a atenuação.

O perfilador de sub-fundo *chirp* é utilizado para identificar a estratigrafia do sub-fundo e para calcular a profundidade de impedâncias acústicas. Através da análise dos seus sinais, após sua passagem pelo meio, podemos realizar a inversão acústica visando à determinação das propriedades dos sedimentos.

Le Blanc [1] estabeleceu um modelo baseado na teoria da relaxação para frequências menores que 100 kHz, utilizando a frequência instantânea do sinal analítico para a estimativa da atenuação. Gutowski [2] fez a

comparação entre diferentes geometrias e frequências de sinais *chirp* com a finalidade de compará-los, Claassen [3] avaliou as diferenças entre técnicas de filtros casados e espectrais.

Este trabalho faz uma abordagem utilizando as três técnicas acima para caracterizar o sedimento. Para isso utilizou-se do modelo de relaxação para atenuar um sinal matemático *chirp* linear com frequências de 2 a 16 kHz, fez comparações entre espectros de frequências utilizando filtros casados e, estimou a distância percorrida pelo sinal no sedimento pela frequência instantânea do sinal recebido.

MODELO MATEMÁTICO

Baseado no fenômeno da relaxação, onde o tempo de relaxação caracteriza o tipo de sedimento e, utilizando uma relação quadrática da atenuação com a frequência estabelecida por Le Blanc [1], foi utilizado um modelo matemático para criar padrões de atenuação em frequência para serem comparados com os dados experimentais.

O modelo utilizado gera um sinal *Chirp linear* de 2 a 16 kHz (fig.1a) com uma função envoltória *Blackman-Harris* (fig.1b) para gerar o sinal emitido (fig.1c). O sinal foi atenuado em frequência para diferentes valores de $\tau \times$ (tempo de relaxação multiplicado pela distância), variando de 0,02 μ s a 9,2 μ s englobando valores de argila, silte e areia para distâncias de penetração de até 30 metros (fig.2a).

Os sinais atenuados foram correlacionados com o sinal sem atenuação (fig.2b) criando-se 20 padrões para serem comparados com os sinais do experimento.

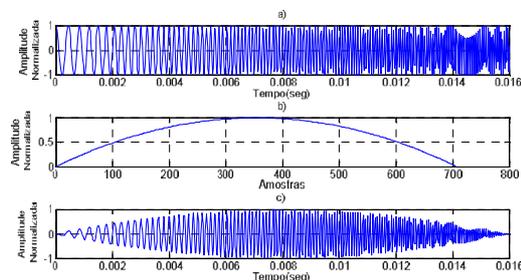


Figura 1. a) *Chirp* linear de 2-16kHz. b) Função Blackman-Harris. c) *Chirp* com janela Blackman-Harris.

Para um tempo de relaxação e velocidade do som no sedimento temos a atenuação α [1]:

$$\alpha \approx \omega^2 \tau / 2V \tag{1}$$

Onde: τ = Tempo de relaxação; V = velocidade do som no sedimento; $\omega = 2\pi f$ = velocidade angular. e; f = Frequência.

E a função de transferência $H(\omega)$:

$$|H(\omega)| = e^{-\alpha x} \tag{2}$$

Onde: x = distância percorrida pelo sinal no sedimento;

Se $S(\omega)$ é a transformada de Fourier do pulso de entrada $s(t)$, então a saída $Y(\omega)$ é [2]:

$$|Y(\omega)| = |S(\omega)| |H(\omega)| \tag{3}$$

A figura 2a mostra a amplitude espectral do sinal atenuado para diferentes τx .

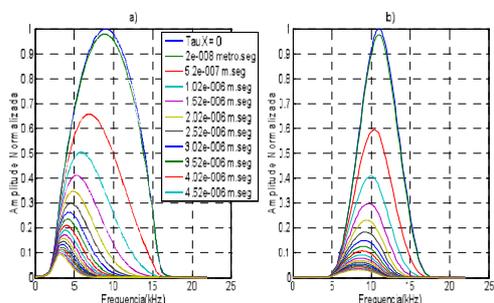


Figura 2. Representação do modelo. a) Espectro de amplitude normalizado, atenuado para diferentes τx . b) Correlação cruzada entre o sinal sem atenuação e os sinais atenuados da fig.2a.

EXPERIMENTO

O experimento foi realizado no dia 09 de fevereiro de 2007, na plataforma continental, próximo a cidade de Arraial do Cabo (fig.3), Rio de Janeiro, Brasil, entre as Bacias de Santos e Campos, na área conhecida como Alto de Cabo Frio.

As profundidades variaram entre 30 e 60 metros. Os equipamentos utilizados foram um perfilador de sub-fundo *Chirp* com frequências de 2 a 16 kHz, na profundidade de 10 metros, e um hidrofone na profundidade de 20 metros.

A fonte emitiu 6 pulsos por segundo com duração de 0,016 μ s cada e, a taxa da amostragem da recepção foi de 44,1 kHz na estática.

As emissões ocorreram no ponto 5 (22° 59'37" S/042° 02'29" W), os motores permaneceram desligados e a incidência do sinal emitido foi normal ao fundo, a medida escolhida para o cálculo (fig.3), profundidade

da fonte e do hidrofone a 10 metros e 20 metros da superfície, respectivamente, foi a que obteve a melhor separação entre o sinal direto e refletido.

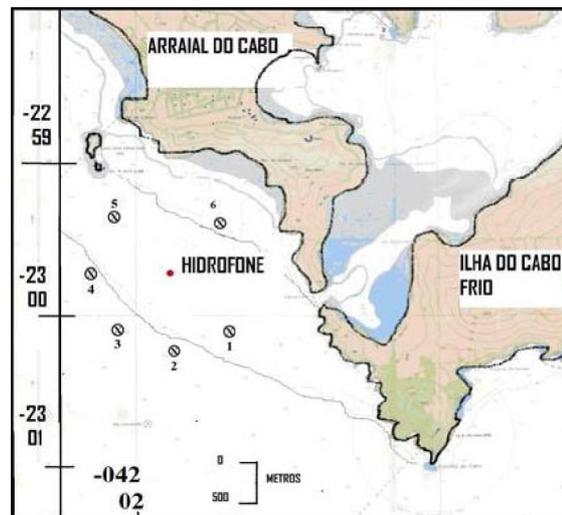


Figura 3. Localização do experimento

O sinal medido e utilizado para o cálculo (fig.4a), possui um pulso grande, representando o sinal direto, e um menor que representa a reflexão no fundo. Com este sinal foi calculada a transformada rápida de Fourier (FFT) e obteve-se o espectro de frequências (fig.4b). Para aumentar a relação sinal/ruído, o sinal direto foi correlacionado com o refletido (fig.4c) e, a autocorrelação do direto foi feita para a obtenção de uma referência para o refletido correlacionado.

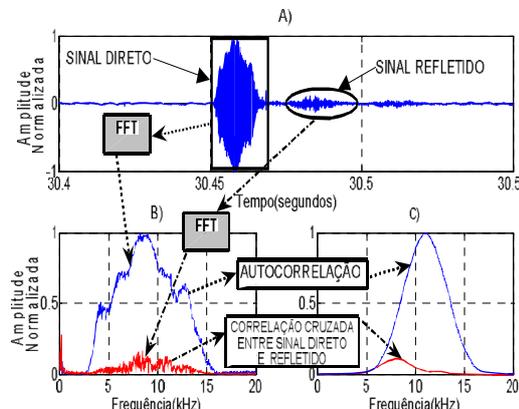


Figura 4 Sinal do experimento. a) Sinal utilizado para o cálculo. b) Espectro de amplitude normalizado do sinal direto (azul) e refletido (vermelho) da fig.4a. c) Autocorrelação do sinal direto da fig.4b e correlação cruzada entre o sinal direto e refletido da fig.4b (sinal a ser comparado com o modelo).

ANÁLISE

A análise foi feita com base em filtros casados (*matched filters*), artifício matemático que correlaciona

os sinais aumentando a relação sinal/ruído. Com a utilização de padrões de atenuação calculados através do modelo matemático de tempos de relaxação (fig.2), variando de 0,02 μ s a 0,016 μ s e, para uma distância de penetração máxima no sedimento de 30 metros, calcularam-se 20 padrões de τ x (tempo de relaxação multiplicado pela distância) de 0,02 μ ms a 0,16*30*2=9,2 μ ms, com intervalos de 0,5 μ ms. Esses padrões foram comparados (fig.5), fazendo-se a diferença entre os valores máximos da correlação dos sinais atenuados do modelo com a correlação entre o sinal direto e refletido do experimento. O menor valor indica um maior grau de semelhança entre o padrão e o sinal recebido (fig.06). A comparação feita para 20 diferentes retornos indicou o mesmo padrão número 11.

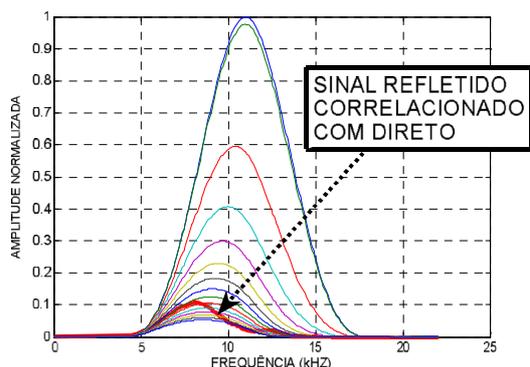


Figura 5 – Comparação entre o modelo e o experimento.

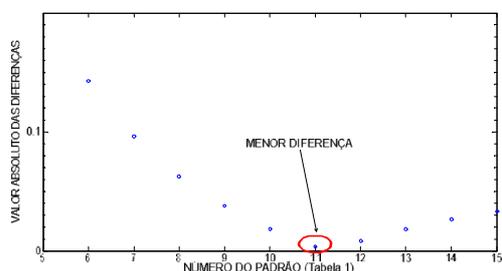


Figura 6 – Diferença dos máximos do modelo e do experimento.

ESTIMATIVA DA PENETRAÇÃO

Na figura 7a temos uma amostra do sinal no tempo onde observamos a sinal direto e refletido do experimento.

A profundidade de penetração no sedimento foi estimada utilizando-se a freqüência instantânea do sinal recebido (fig.7b), para tal, calculou-se a distância do sinal refletido pelo tempo convertido em distância utilizando a velocidade de propagação de 1500 m/s. O tempo entre o início e o final do sinal refletido é de 0,0170 \pm 0,0005 segundos (fig.7b), que convertido em

distância, corresponde a aproximadamente 24 \pm 2 metros para 20 diferentes retornos.

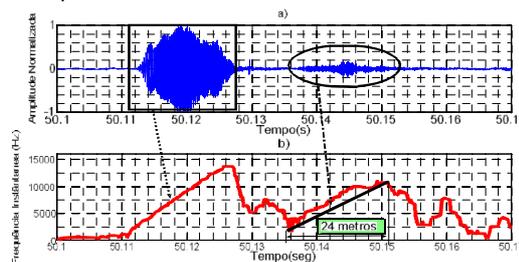


Figura 7 – Sinal experimento. a) Sinal direto e refletido. b) Estimativa da distância com base no tempo.

CÁLCULOS

O tempo de relaxação encontrado foi de 0,187 μ s \pm 0,025 e a atenuação de 0,6x10⁻³ dB/m/kHz \pm 0,10 como descrito abaixo:

- 1) O valor encontrado na comparação do modelo e do experimento foi do padrão número 11, τ x = 4,5 μ ms \pm 0,3.
- 2) A distância estimada da penetração no sedimento foi de 24 \pm 2 metros.
- 3) Dividindo-se τ x = 4,5 \pm 0,025 μ ms pela distância de 24 m temos o resultado 0,1875 μ s \pm 0,025.
- 4) Com o tempo de relaxação de 0,187 \pm 0,025 μ s e utilizando-se da relação estabelecida empiricamente por Le Blanc[1] (fig.8) chegamos a um tamanho médio dos grãos de 3,6 phi \pm 0,5 que corresponde a areia fina.
- 5) Com o tamanho médio dos grãos encontramos o valor da atenuação de aproximadamente 0,6x10⁻³ dB/m/kHz \pm 0,1 na relação estabelecida por Le Blanc [1] utilizando dados de diversos autores (fig.9).

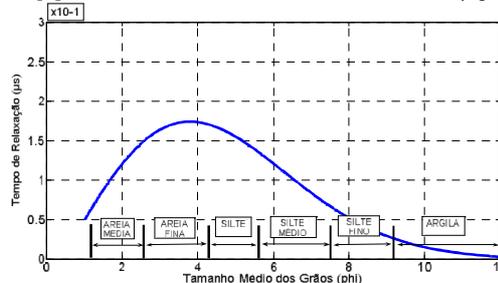


Figura 8 – Tamanho médio dos grãos em sedimentos marinhos versus tempo de relaxação [1].

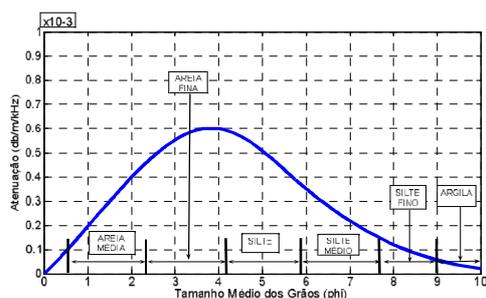


Figura 9 – Tamanho médio dos grãos (phi) versus atenuação para frequências menores que 100kHz [1].

RESULTADOS E DISCUSSÕES

O resultado encontrado para o tipo de sedimento corresponde ao tipo de sedimento do local do experimento de acordo com o mapa sedimentológico de diâmetro médio [2], e os valores de tempo de relaxação e atenuação estão de acordo com os dados encontrados na literatura [1].

A velocidade de propagação da onda no sedimento utilizada no modelo foi de 1500m/s e tem pouca influência nos resultados dos cálculos [1] devido a relação quadrática da frequência com a atenuação para frequências menores que 100 kHz.

A utilização de filtros casados permitiu um aumento da relação sinal/ruído de forma que os máximos dos sinais puderam ser calculados sem ambigüidade.

CONCLUSÃO

Através da comparação de um sinal matematicamente atenuado pelo modelo de atenuação em sedimentos, baseado na teoria da relaxação, e do sinal *chirp* recebido de uma experiência prática com incidência normal ao fundo foi possível estimar o tempo de relaxação, caracterizar o tipo de sedimento e estimar a atenuação da camada superficial de sedimentos do local do experimento.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi realizado com o apoio logístico do IEAPM – Instituto de Estudos da Mar Almirante Paulo Moreira da Marinha e do CASOP- Centro de Apoio a Sistemas Operativos da Marinha do Brasil, do Departamento de Oceanografia da Universidade Estadual do Rio de Janeiro (UERJ), do Laboratório de Geologia Marinha da Universidade Federal Fluminense (LAGEMAR-UFF).

REFERÊNCIAS

[1] Le Blanc, Lester R., Panda, S. and Shock, S. G., "Sonar attenuation Modeling for classification of marine

sediments", Journal of Acoustic Society of América. 91: 116-126. 1992.

[2] Gutowski, Martin, Bull, John, Henstock, "Chirp sub-bottom profiler source signature design and field testing", Marine Geophysical Researches. 23: 481-492. 2002.

[3] Claassen, D.M., Lourens, J.G., 1992 "Estimating acoustic attenuation of chirp sonar signals for marine sediment classification: Comparison of matched filtering and spectral-shift techniques", IEEE.