



## Oceanografia Sísmica: Desenvolvimento metodológico e aplicações

Leal Filho, J.R.\*, LOG-UFBA; Meireles, R.P., LOG-UFBA; Paulo, R.M., LOG-UFBA; Silva, M.G., GETA-UFBA

Copyright 2018, SBGf - Sociedade Brasileira de Geofísica

*Este texto foi preparado para a apresentação no VIII Simpósio Brasileiro de Geofísica, Salinópolis, 18 a 20 de setembro de 2018. Seu conteúdo foi revisado pelo Comitê Técnico do VIII 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

The seismic oceanography emerged as a powerful tool for detection stratas along of the water column, using seismic data acquired in the oil industry surveys of the Region of the Continental Margin of Bahia, NE Brazil, it's possible, detect mass differentiation and impedance along the column, creating, therefore, visible structures in seismogram. Starting for this concept, the current work has as general objective to enlarge the technological development of seismic signals, set a data processing routine for increasing the resolution, and thus characterize oceanographic structures, such as thermohaline structures..

### Introdução

A Oceanografia Sísmica promove o imageamento das estruturas da camada d'água dos Oceanos (termohalinas) em uma resolução maior quando comparado com as técnicas convencionais (ver Holbrook et al., 2003, para uma visão geral).

De acordo com Holbrook et al. (2003), Buffett (2008), e Wood et al. (2010), o aumento de resolução horizontal é de duas ordens de grandeza em comparação com métodos convencionais utilizando perfiladores CTD (*Conductivity, Temperature and Depth*) e XBT (*eXpendable BathyTermograph*). Desta forma, a reflexão sísmica emergiu como uma nova ferramenta para estudar o oceano em grande escala, visto que o extenso arquivo mundial de dados sísmicos marinhos constitui um grande e inexplorado recurso para a sondagem de estruturas na coluna d'água, auxiliando assim oceanógrafos a visualizar e identificar as estruturas na coluna d'água com resolução sem precedentes (Holbrook et al., op. cit.).

Nandi et al. (2004) validam a notável sensibilidade da reflexão da onda sísmica de baixa frequência (20-100 Hz) em um experimento para comparar as reflexões e a variação da temperatura do mar ao longo de 172 km no mar da Noruega.

Utilizando dados sísmicos multicanal adquirido no Projeto "Margem Íbero-Atlântica (IAM)" no Golfo de Cadiz em 1993, Biescas et al. (2008) confirmam o potencial dos dados de sísmica multicanal para localizar e dimensionar detalhadamente as estruturas denominadas meddies

No Brasil ainda a Oceanografia Sísmica é pouco explorada e apenas Barão (2017) buscou avançar nesse conhecimento para a Bacia de Santos, o que evidencia uma subutilização dos dados sísmicos, coletados pela indústria do petróleo, visto que ao se descartar a coluna d'água durante o processamento cerca de 15 a 30% dos dados adquiridos são eliminados. O presente trabalho visa preencher essa lacuna.

O objetivo geral do projeto é ampliar o desenvolvimento metodológico dos sinais sísmicos e estabelecer uma rotina de processamento dos dados com a finalidade de aumentar a resolução e dessa maneira caracterizar estruturas oceanográficas, de meso-escala, para a região da Margem Continental da Bahia, NE Brasil (Figura 1).

As Hipóteses de trabalho são: a) Os sinais sísmicos de baixa frequência são capazes de detectar variações na estrutura termohalina dos oceanos, quando analisados em meso-escala; e b) Estruturas termohalinas juntamente com as correntes, nos oceanos, são as grandes responsáveis pela transferência de calor e energia entre as diferentes massas de água e responsáveis pela fertilização e assimilação de Carbono, e podem ser observadas e descritas utilizando-se a Oceanografia Sísmica.

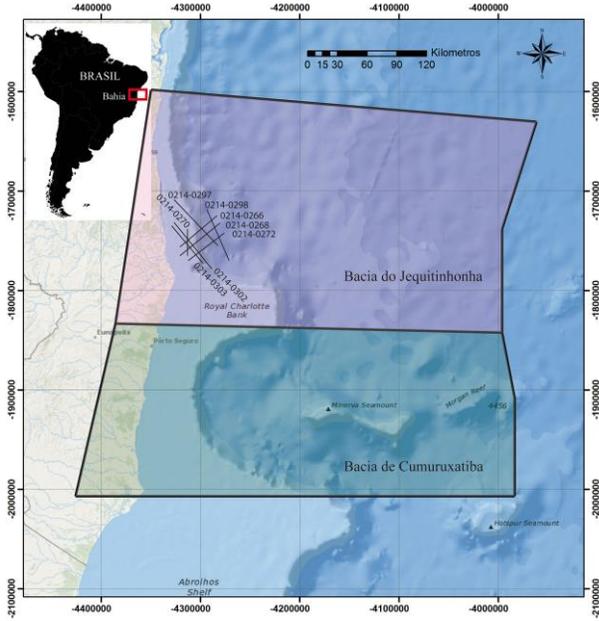


Figura 1 – Mapa da área de estudo (Bacia do Jequitinhonha e Bacia de Cumuruxatiba), com destaque para as 8 (oito) linhas sísmicas em processamento.

**Metodologia/ Problema Investigado**

Oito linhas sísmicas foram selecionadas inicialmente do Banco de Dados de Exploração e Produção (BDEP) regulado pela Agência Nacional do Petróleo (ANP) (Figura 1). Esse conjunto de dados brutos, não processados, são a base para a fase inicial que é o processamento e análise dos sinais, que segue a metodologia tradicional de processamento sísmico com adaptações devido a diferença do meio de estudo e do menor contrastes de amplitudes (Figura 2).

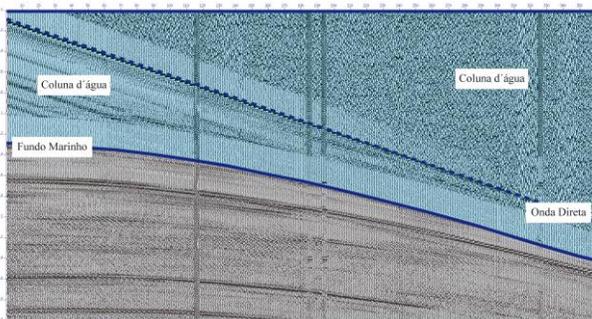


Figura 2 – Exemplo de uma linha sísmica, não processada, Bacia do Jequitinhonha – NE Brasil.

O processamento dos dados sísmicos foi feito através do software Seismic Unix, que possui um pacote de código aberto desenvolvido pelo Center for Wave Phenomena

(CWP) no Colorado School of Mines (CSM) e esta detalhada no fluxograma abaixo (Figura 3).

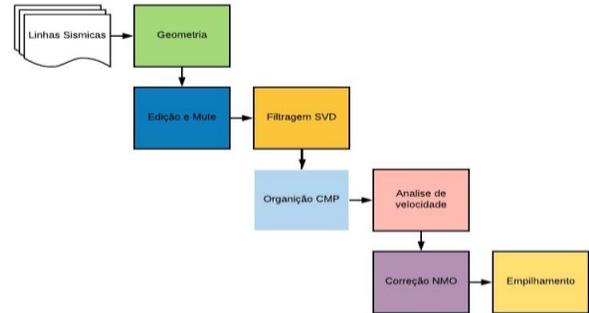


Figura 3 – Fluxograma adaptado para o processamento sísmico da coluna d'água.

Detalhadamente, as etapas do processamento serão:

- a) Geometria: definição das coordenadas da fonte e dos receptores, assim como as coordenadas dos CMPs (Ponto médio comum, Offsets), fundamental principalmente para se fazer o empilhamento das linhas.
- b) Edição e mute: etapa para a remoção da parte ruidosa ou que não é objeto de trabalho que no nosso caso é abaixo da onda direta, nessa etapa também será feita a correção da amplitude do sinal, devido à perda de energia do sinal com o aumento da distância entre a camada e a fonte.
- c) Filtragem SVD: o Método de decomposição em valores singulares, ou simplesmente SVD, é utilizado para destacar eventos de maiores coerências dentro de um sismograma, reduzindo assim a presença de ruídos aleatórios no mesmo.
- d) Organização CMP: Nessa etapa os dados serão organizados a partir do ponto médio comum para assim fazer a soma das amplitudes de traços do mesmo ponto investigado.
- e) Análise de velocidade: Nessa etapa é feita a associação das velocidades e as camadas existentes. A redundância do dado sísmico quando os CMPs são organizados e as velocidades das camadas são corretamente associadas torna possível o aumento da razão sinal/ruído que facilita a redução dos ruídos aleatórios.
- f) Correção NMO: Correção feita para planificação das curvas de hipérbole obtidas através das ondas refletidas, onde após essa correção é possível se obter o comportamento das camadas.
- g) Empilhamento: Nessa etapa é feita a soma dos traços obtidos após as correções, após essa etapa é possível ver as camadas e os seus comportamentos.

## Resultados

O projeto iniciado em 2018 conta ainda com resultados preliminares, porém sólidos que permitem afirmar o potencial desse estudo para análise e correlações importantes entre os dados sísmicos e os processos oceanográficos na Margem Continental Brasileira e de grande interesse para a comunidade científica.

A escolha das Bacias Sedimentares do Jequitinhonha e Cumuruxativa é importante pois apresentam configurações distintas em relação a plataforma continental, sendo a primeira uma plataforma extremamente curta e a segunda mais longa e em forma de baía; não associadas apenas ao tectonismo, mas também a processos Quaternários atuantes (Figura 1).

Outro ponto foi a escolha e obtenção dos dados sísmicos junto ao Banco de Dados de Exploração e Produção (BDEP/ANP) que tem possibilidade o avanço no processamento.

O processamento preliminar tem buscado identificar características intrínsecas do meio (coluna d'água) que deve levar em consideração a Temperatura, Salinidade, Densidade, Velocidade do Som e a Impedância Acústica Sintética e Refletividade, além de estabelecer uma rotina de pré-processamento dos dados que considere a Geometria, Edição dos Traços, Filtragem, Correção da Divergência Esférica, Remoção da Onda Direta, Análise da Velocidade, Correção do Sobre-Tempo, para ao final proceder o Empilhamento.

Dos dados oceanográficos, uma revisão da bibliografia possibilitou a identificação das principais massas d'água presentes na região, composta por: Corrente do Brasil (CB); Subcorrente Norte do Brasil (SNB); Corrente Norte do Brasil (CNB); Corrente de Contorno Intermediária (CCI); Corrente de Contorno Profunda (CCP); Água Tropical (AT); Água Central do Atlântico Sul (ACAS); Água Intermediária Antártica (AIA); Água Profunda do Atlântico Norte (APAN) (modificado de Soutelino, 2008) (Figura 4).

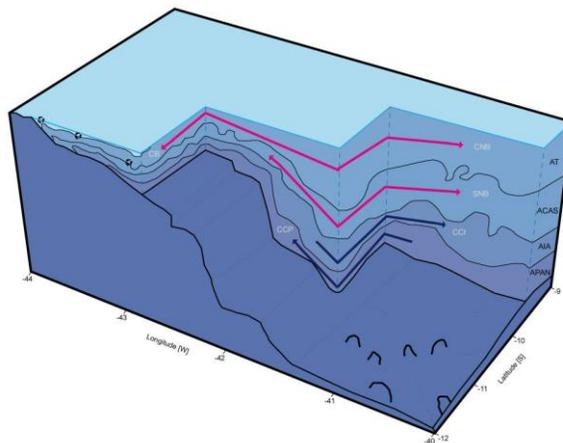


Figura 4 - Síntese do escoamento do sistema de Correntes de Contorno Oeste ao longo da margem continental brasileira, de acordo com os padrões esquemáticos de larga escala de Stramma e England (1999). Corrente do Brasil (CB); Subcorrente Norte do Brasil (SNB); Corrente Norte do Brasil (CNB); Corrente de Contorno Intermediária (CCI); Corrente de Contorno Profunda (CCP); Água Tropical (AT); Água Central do Atlântico Sul (ACAS); Água Intermediária Antártica (AIA); Água Profunda do Atlântico Norte (APAN) (modificado de Soutelino, 2008).

## Discussão e Conclusões

Podemos observar na literatura que existe um grande potencial na extração das informações termohalinas da coluna d'água através das linhas sísmicas, apesar disso também foi visto que ainda existe a necessidade da criação de uma metodologia para extrair esses dados, já que eram dados considerados como ruído.

No Brasil apenas Barão (2017) propôs uma metodologia para o aproveitamento desses dados, porém devido a limitações no processamento seu trabalho obteve resultados pouco aplicáveis mas indicou o grande potencial na extração de informações.

Não se observa na literatura a utilização de filtros de decomposição como o SVD, onde é possível se decompor o sinal como a soma de sinais, no qual cada um desses sinais obtidos possui uma informação dos dados como o comportamento linear ou circular das estruturas termohalinas, além de poder remover os ruídos que está presente no sinal. A partir da aplicação do SVD é possível ser processados os sinais que registram cada comportamento de forma diferente para que seja feita melhores correções e assim quando somadas ter uma informação mais próxima da real.

A principal dificuldade que será observada no processamento é devido as menores amplitudes do sinal

trabalhado devido ao menor contraste de velocidade nas estruturas termohalinas e também qual será a melhor frequência para se fazer o processamento, pois na correção da amplitude do sinal ruidoso pode ser ampliado e assim dificultar todo o processamento.

Espera-se nas próximas etapas de desenvolvimento solucionar esses problemas e aperfeiçoar o fluxograma metodológico a fim de evidenciar as estruturas ao longo dos perfis na coluna d'água.

Wood, W.; Lindwall, D.; Book, J.; Wesson, J.; Carniel, S.; Hobbs, R.W., 2010. Seismic oceanography allows a new view of the ocean. *Naval Research Laboratory*, v. 1, p. 113–121.

## Agradecimentos

Leal Filho, J.R. agradece a SBGf pela concessão de Bolsa de Iniciação Científica. A ANP (Agência Nacional do Petróleo) pela seção dos dados sísmicos. Ao LOG-UFBA (Laboratório de Oceanografia Geológica) e ao GETA-UFBA (Grupo de Estratigrafia Teórica e Aplicada).

## Referências

Barão, M. V. C., 2017. Desenvolvimento do procedimento metodológico da Oceanografia Sísmica em dados da indústria do petróleo. Dissertação (Mestrado) — p.232. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis.

Biescas, B.; Sallarès, V.; Pelegrí, J. L.; Machin, F. R.; Carbonell Buffett, G.; Dañobeitia, J. J.; Calahorrano, A., 2008. Imaging meddy finestructure using multichannel seismic reflection data. *Geophysical Research Letters*, Wiley Online Library, v.35, n. 11, p. 6.

Buffett, G. G., 2008. Seismic Oceanography: New perspectives on the physical characterization of oceanographic processes. Dissertação (Mestrado) — Departamento de Geofísica. Universidade de Barcelona. p.65.

Holbrook, W. S.; Páramo, P.; Pearse, S.; Schmitt, R. W., 2003. Thermohaline fine structure in an oceanographic front from seismic reflection profiling. *Science*, American Association for the Advancement of Science, v. 301, n. 5634, p. 821–824.

Nandi, P.; Holbrook, W. S.; Pearse, S.; Páramo, P.; Schmitt, R. W., 2004. Seismic reflection imaging of water mass boundaries in the Norwegian Sea. *Geophysical Research Letters*, Wiley Online Library, v. 31, n. 23, p. 4.

Stramma, L.; England, M., 1999. On the water masses and mean circulation of the South Atlantic Ocean. *Journal of Geophysical Research*, 104(C9): 20863-20883.

Soutelino, R. G. A., 2008. A origem da Corrente do Brasil. Dissertação (Mestrado) — p.130. Instituto Oceanográfico. Universidade de São Paulo. São Paulo.