



UTILIZAÇÃO DE MÉTODOS GEOFÍSICOS PARA MAPEAMENTO DE LAMA FLUIDA NO PORTO DE TUBARÃO, VITÓRIA (ES-BRASIL)

Alex Cardoso Bastos – LABOGEO/UFES
Diego Venturini Loureiro – UMISAN/UFES
Sandro de Paula Paixão – UMISAN

Copyright 2009, SBGf - Sociedade Brasileira de Geofísica

This paper was prepared for presentation during the 11th International Congress of the Brazilian Geophysical Society held in Salvador, Brazil, August 24-28, 2009.

Contents of this paper were reviewed by the Technical Committee of the 11th International Congress of the Brazilian Geophysical Society 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

An acoustic geophysical survey was undertaken along Tubarão harbour in order to map the spatial distribution of fluid mud deposits. Side scan sonar, dual-frequency echosounder (200 and 33 kHz) and high resolution sub-bottom profiler (3.5kHz) were used to characterize and map the occurrence of fluid mud deposits over the navigational channel. Cores were taken to determine the bulk density of the mud deposits. Results showed that the difference between the measured depth from the 200 and 33kHz can be used to determine the thickness of fluid mud deposits. In addition, over fluid mud deposits, sonograms shows a very low backscatter signal (sometimes with no first signal return) and sub-bottom sections present a reflection free seismic facies.

Introdução

Por definição, lama fluida seria sedimento coesivo em suspensão em concentrações entre 10 e 100g/L (densidades inferior a 1200kg/m³), sendo que este seria um estágio no processo de consolidação e formação de fundos coesivos (Winterwerp e van Kesteren, 2004). Geralmente, lamas fluidas são formadas a partir de um rápido processo de assoreamento. A ocorrência de depósitos de lama fluida é muito comum em canais de navegação e seu mapeamento e caracterização são muito importantes para o conceito de profundidade de navegação, bem como, para o cálculo do volume a ser dragado. Como o processo de consolidação do sedimento coesivo pode ser descrito por um perfil vertical com variação de densidade do meio, a aplicação de métodos acústicos de investigação do fundo pode ser usada para o mapeamento da variação espacial de espessura deste depósito.

O Porto de Tubarão está localizado no limite norte da baía do Espírito Santo, conhecido originalmente como Ponta de Tubarão. Sendo o principal porto de exportação de minério de ferro do Brasil, o Porto de Tubarão passará por uma ampliação que exigirá o aumento da profundidade do canal de acesso e bacia de evolução.

Com isso, se fez necessário um estudo geofísico do canal de acesso visando a identificação dos substratos sedimentares, bem como a caracterização e o mapeamento de ocorrência de lama fluida.

Com isso, o objetivo deste trabalho foi de aplicar o método acústico de investigação geofísica para investigar a ocorrência de depósitos de lama fluida na região de estudo. Para tanto, foram realizados levantamentos sísmicos, batimétricos, sonográficos e coleta de testemunhos para determinação da densimetria dos depósitos. Dessa forma, a utilização de todos esses métodos auxilia no planejamento de atividades de dragagem e ainda na análise de áreas com fundos de lama fluida que admitam calados de navios superiores a profundidade batimétrica.

Metodologia

O trabalho realizado no Porto de Tubarão consistiu na aquisição e interpretação de dados batimétricos, sonográficos e sísmicos de alta resolução. Em geral, as linhas de sondagem foram dispostas transversalmente ao canal de acesso do porto, com espaçamento de 5 m, no levantamento sísmico e batimétrico, e varredura de 100 a 150 m no levantamento sonográfico. Ao todo, foram realizadas cerca de 550 Km de linhas sísmicas e batimétricas e 30 km de linhas sonográficas.

Para o levantamento sonográfico foi utilizado um sonar de varredura lateral da marca Edgetech modelo 4100, com transdutor TD-272 e sistema de aquisição digital 560P (software Discover) recebendo dados de posicionamento através de um sistema GPS. O levantamento foi realizado utilizando-se uma frequência de 500 kHz e os padrões de reflexão gerados permitiram estabelecer o domínio superficial de lama fluida na área de estudo.

Para obtenção das profundidades, foi utilizado um ecobatímetro digital modelo MKIII, fabricação Odom, operando com um transdutor de 210/33 Khz dotado de registro digital e analógico em papel graduado. O ecobatímetro foi calibrado, no início e no final de cada dia de levantamento, com uma placa metálica fixada a um cabo de aço graduado de metro em metro, sendo deslocada abaixo do transdutor do ecobatímetro.

O levantamento sísmico foi realizado utilizando-se um perfilador da marca SyQwest, modelo Stratabox 3510, operando com uma fonte ressonante de alta frequência que emite pulsos a 3,5 kHz. O dado sísmico foi adquirido em formato digital (SEGY) com posicionamento simultâneo por meio de um sistema DGPS conectado ao software de aquisição sísmica. A interpretação do registro sísmico se baseou na identificação dos principais

refletores sísmicos que limitavam pacotes contendo lama fluida, para comprovar a presença desta faciologia na área de estudo.

Com o objetivo de determinar a densidade total e o teor de água do fundo lamoso, foram coletados 6 testemunhos ao longo do canal e na bacia de evolução. A posição destes testemunhos foi marcada através da observação e interpretação dos registros acústicos dos transdutores de 200 kHz, 33 kHz e 3,5 kHz.

A testemunhagem foi feita com tubos de PVC, os quais possuem 1m de comprimento. Ao longo do tubo, foram feitos furos de 3 mm de diâmetro a cada 20 cm. Uma vez coletado o testemunho, este foi sub-amostrado a bordo, usando uma seringa de 50ml. As amostras foram acondicionadas em potes, sendo posteriormente pesadas em laboratório. O peso inicial das amostras foi considerado como o peso total (sedimento + água), logo, como o volume amostrado era conhecido (50 ml), a densidade úmida da amostra foi obtida dividindo o peso pelo volume. Posteriormente, a amostra foi levada à estufa para secar à 40°C. O peso total menos o peso seco da amostra indica o teor de água.

Resultados

A análise do mosaico produzido permitiu a identificação e mapeamento de cinco padrões sonográficos distintos, de acordo com a classificação proposta por Ayres Neto & Aguiar (1993): padrão homogêneo de baixa reflexão (BR), padrão rugoso de alta reflexão (RUG), padrão de formas de fundo (MO), padrão heterogêneo de alta reflexão (HA). O padrão que representa a lama fluida é o de baixa reflexão, pois a elevada quantidade de água no sedimento e a granulometria fina em suspensão absorvem o sinal, dificultando o retorno do sinal o que muitas vezes implica na “perda do fundo” e a não observação do primeiro sinal de retorno (figura 1).

As análises dos registros batimétricos exibiram em toda área de estudo um descolamento da frequência de 200 kHz, que acompanha a superfície do fundo marinho, da frequência de 33 kHz (figura 2). A menor frequência tende a penetrar mais nos sedimentos classificados como lama fluida, mostrando que em grande parte da área de estudo são encontrados sedimentos lamosos. O eco de 200kHz reconhece o contraste de impedância acústica entre a água e a superfície da lama fluida. Com isso, o eco de 200kHz mapeia o fundo marinho como sendo o topo da camada de lama fluida, enquanto que o eco de 33kHz penetra nesta camada e reconhece o contraste de impedância acústica a partir de um fundo já consolidado.

Os registros sísmicos obtidos evidenciaram a presença de um pacote sedimentar próximo a superfície do leito marinho com características idênticas à lama fluida. Como os sedimentos constituintes da lama fluida apresentam-se em suspensão e em processo de consolidação, a impedância acústica destas camadas sedimentares é muito baixa, gerando um padrão claro, muitas vezes “reflection free” (figura 3). Como observado na sonografia e na batimetria, a perfilagem sísmica também demonstrou que as maiores espessuras de lama fluida foram encontradas no canal de acesso e na bacia de evolução (Figuras 4 e 5).

As densidades das amostras de lama fluida obtidas a partir dos testemunhos mostraram valores oscilando entre 1.156 kg/m³ e 1.360 kg/m³. Segundo o Manual de Restrições Operacionais da Marinha, densidades menores que 1200 kg/m³ não necessitam de dragagem e permitem calados maiores que a profundidade local. Entretanto, como os valores foram bem próximos do recomendado e considerando possíveis, seria seguro que toda lama fosse dragada. Com a observação do descolamento dos dados ecobatimétricos de 200 e 33kHz, foi possível gerar um mapa de distribuição e espessura de lama fluida a partir da diminuição da profundidade medida pelo eco de 200kHz (topo da lama fluida) e pelo de 33kHz (penetrou na lama fluida). A distribuição espacial mostra que no canal de acesso e, principalmente, na bacia de evolução foram observa-se as maiores defasagens entre as duas frequências, próximo a 2 metros de espessura (Figura 4).

Conclusões

A utilização de diferentes equipamentos geofísicos com frequências diferentes mostrou-se bastante eficaz, pois essas fontes penetraram diferentemente no sedimento, de forma que as maiores frequências mapearam superficialmente o fundo marinho, enquanto que as menores frequências penetraram nos fundos não consolidados, mapeando os pacotes de lama. Desta forma, os resultados combinados contribuíram para o mapeamento completo desses pacotes presentes na área de estudo.

Os dados obtidos com a batimetria de dupla frequência foram fundamentais, visto que a menor frequência penetra somente em materiais inconsolidados. Como a lama fluida se encaixa nesse perfil, a defasagem entre as duas frequências gerou um mapa de isópacos coerente, que quando analisados os perfis sísmicos, as espessuras confirmam o que foi gerado na batimetria.

As análises de densimetria corroboraram os resultados obtidos com métodos indiretos, confirmando a presença de lama. Segundo o Manual de Restrições Operacionais da Marinha do Brasil, camadas com densidades menores que 1200 kg/m³ podem admitir a navegação de embarcações com calados maiores que a profundidade. Entretanto, como os valores foram bem próximos do recomendado e considerando possíveis, seria seguro que toda lama fosse dragada.

De uma maneira geral, os resultados comprovaram que a metodologia utilizada apresentou-se bastante significativa, sendo uma excelente forma de mapear lama fluida em locais em que o predomínio desta faciologia possa interferir na navegação.

Acknowledgments

Este trabalho foi desenvolvido com recursos e apoio técnico da UMISAN-Serviços de Apoio à Navegação e Engenharia LTDA., e orientação do PhD. Alex Cardoso Bastos.

Referências

ALBINO, J.; OLIVEIRA, R.; MAYA, L. P.; ALENCASTRE, K. 2001. Processos Atuais de Sedimentação Marinha e Praial do Litoral de Vitória, ES. Relatório nº 1982506/2000 FACITEC - Prefeitura Municipal de Vitória.

AYRES NETO, A. & AGUIAR, A. C. K. V. Interpretação de reflexões de Side Scan Sonar: uma proposta de nomenclatura e padronização de métodos. **Anais do Congresso Internacional de Geofísica**. Rio de Janeiro. v. 1, p. 399 - 403. 1993.

Martin, L.; Suguio, K.; Domingues, J. M. L. & Flexor, J. 1997. *Geologia do Quaternário costeiro do Litoral Norte do Rio de Janeiro e Espírito Santo*. Belo Horizonte, CPRM. 112 p.

BENTLEY, S. & ROBERTS, H.H. 2002 Fluid Mud: World Wide importance in rapid Coastal Dispersal of Fine-Grained Sediments. Disponível em: http://www.aagp.confex.com/aagp/hu2002/techprogram/paper_43322.html

WINTERWERP, J., C. e VAN KESTEREN, W.G.M. 2004. Introduction to the Physics of Cohesive Sediment in the Marine Environment. *Developments in Sedimentology* 56. Elsevier, 465pp.

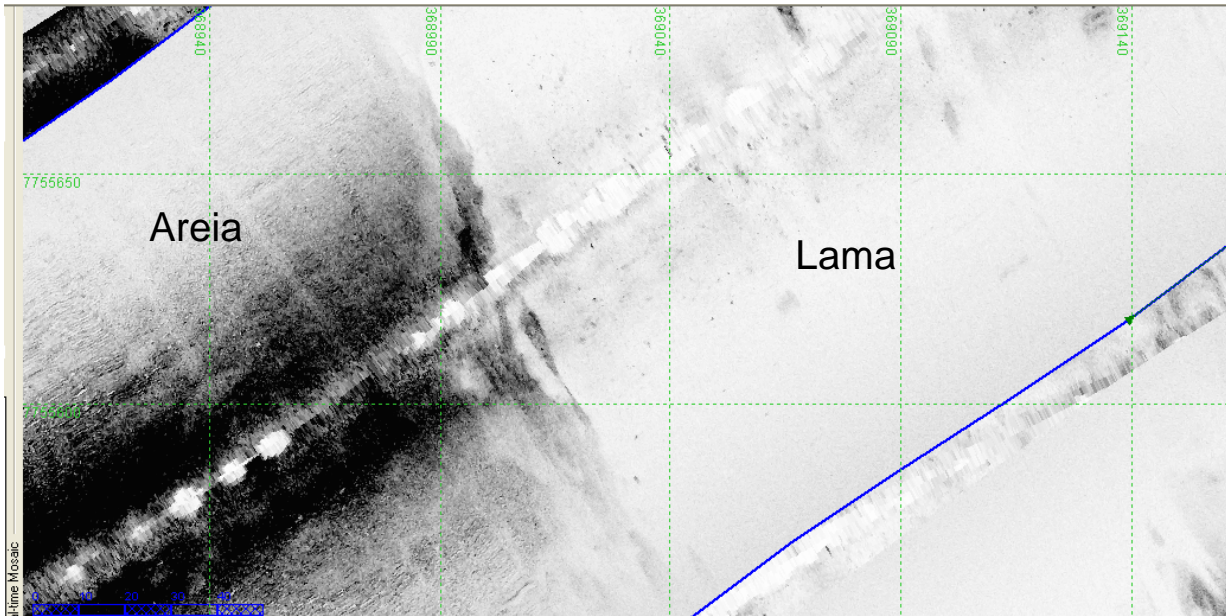


Figura 1: Sonograma mostrando em detalhe o contato entre os padrões homogêneo de baixa reflexão (lama) e de formas de fundo (areia). Este contato marca o limite do canal de acesso.

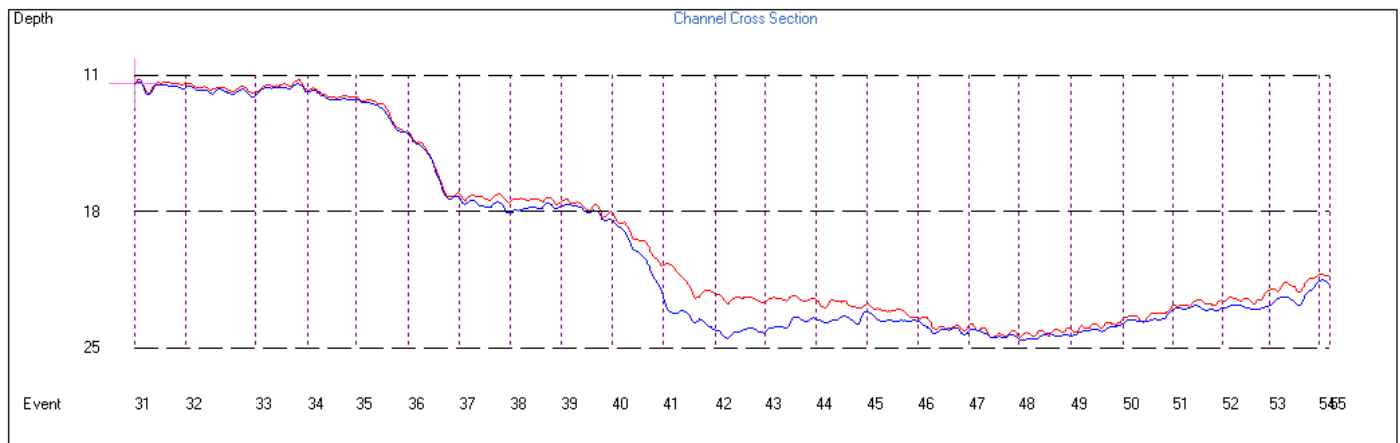


Figura 2: Seção batimétrica mostrando o descolamento dos ecos de 200kHz (vermelho, mostrando o topo da camada de lama fluida) e 33kHz (azul).

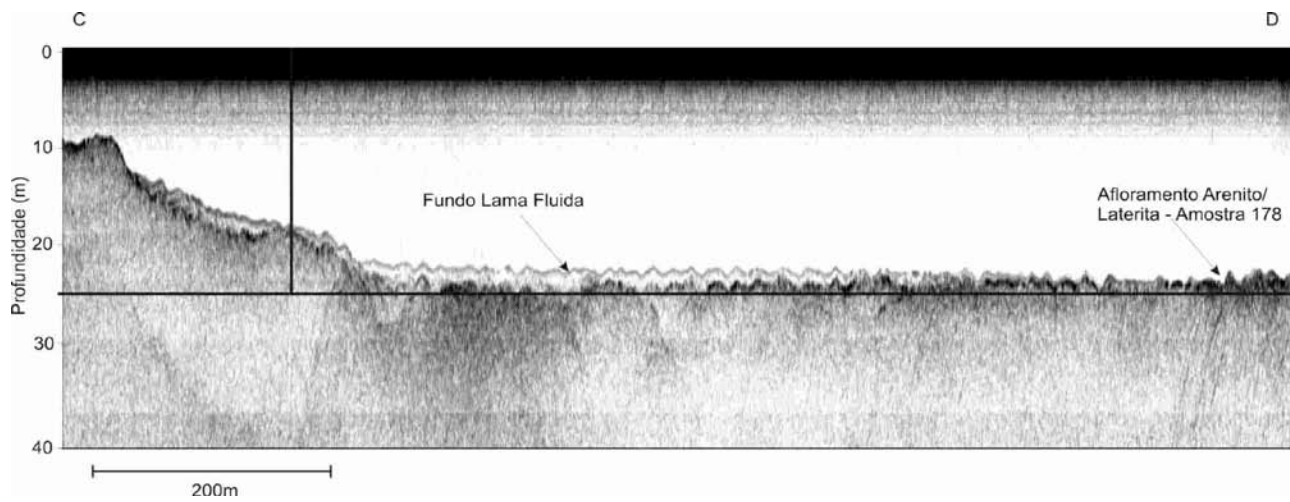


Figura 3: Seção sísmica (3,5kHz) longitudinal à bacia de evolução. O depósito de lama fluida é caracterizado por um padrão de "reflection free".

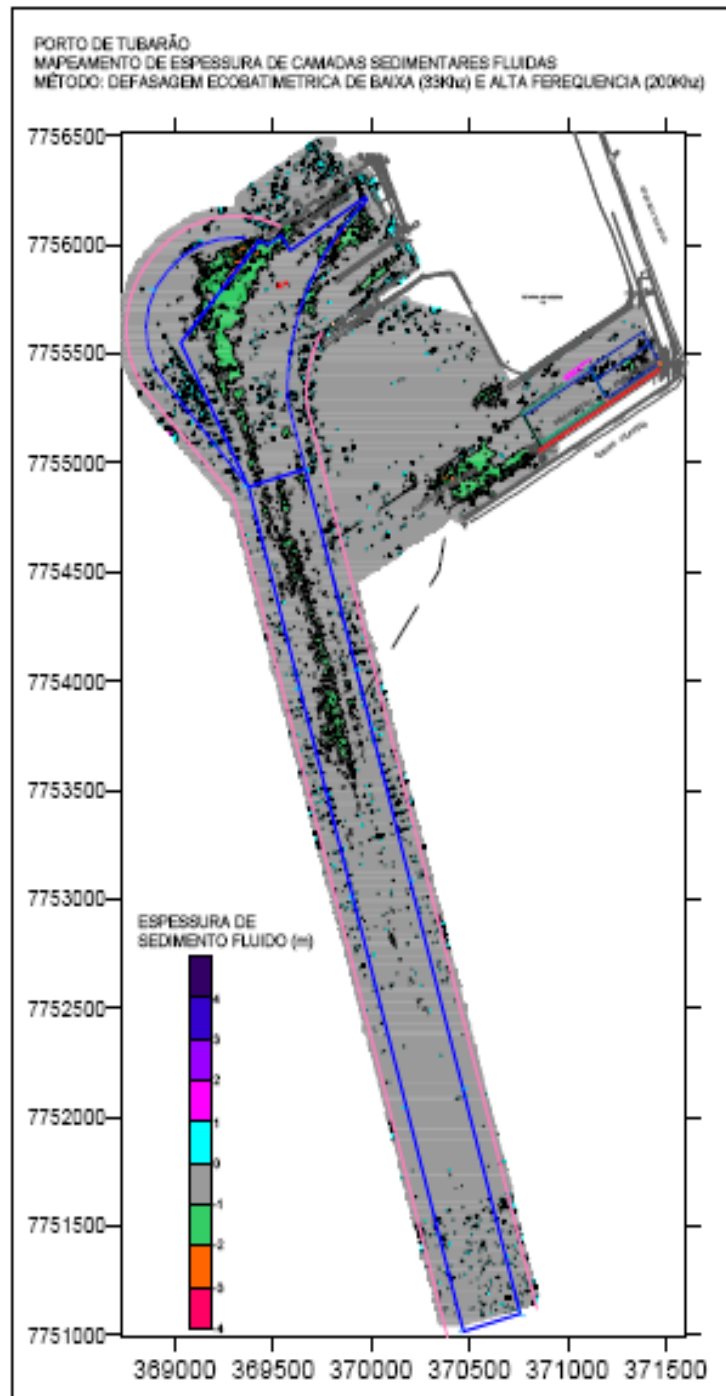


Figura 4: Mapa de distribuição e espessura de lama fluida a partir da diferença entre os registros de 200kHz e 33kHz.