



Primeiros resultados do sonar de varredura lateral em águas profundas rebocado próximo ao fundo marinho

Pedro Orlando V. Piauilino, Paulo R. Maldonado e Georgina X. Castaños

PETROBRÁS S/A, Brasil

ABSTRACT

High resolution geophysical data has provided important results for petroleum industries facilities. Petrobras has been acquiring deep towed sonar data since 1997 in all Brazilian basins to obtain further detailed information of the sea floor to support pipeline installation. The seafloor imaging system (SIS-3000) described here uses the CHIRP technology to provide high resolution sonar images and CHIRP subbottom data profiles. The SIS 3000 system is composed by two subsystems as follows: tow vehicle and shipboard electronics. This paper will present an overview of the deep towed CHIRP sonar and some initial results in the Campos Basin.

INTRODUÇÃO

Os dados geofísicos de alta resolução são de especial importância na indústria do petróleo durante a fase de exploração e produção. Feições geológicas de interesse podem ser identificadas e dentre estas podemos destacar: *sand waves*, corais de água profunda e depósitos de escorregamento de massa. Em junho de 1997 a Petrobrás, através do Serviço de Engenharia (SEGEN), sentiu a necessidade de um mapeamento sonográfico de alta resolução que conduzisse a um melhor conhecimento do fundo e subfundo marinho, visando dar um melhor suporte à instalação dos dutos e *risers* que interligam plataformas além de baratear os custos destas instalações. Para isso, a Petrobrás adquiriu um sonar de varredura lateral que opera rebocado próximo ao fundo marinho, sendo capaz de trabalhar em pressões de até 3000 metros de coluna d'água e que utiliza a tecnologia CHIRP, ficando com isto na vanguarda da tecnologia de tais mapeamentos. Este sistema, de agora em diante denominado SIS-3000, permitiu identificar estruturas centimétricas, considerando-se que o efeito das perdas por transmissão foram minimizadas e que a altitude do veículo de reboque (peixe) foi, em média, de 40 metros do fundo marinho.

A TECNOLOGIA CHIRP E SUAS IMPLICAÇÕES

A tecnologia CHIRP utiliza um pulso com frequência modulada para produzir imagens e perfis de alta resolução, empregando o *matched filter* para processamento do sinal recebido.

- **Considerações sobre a tecnologia, características do sinal e suas implicações na resolução.**

Para um sinal conhecido, a distância de varredura é função da absorção e da intensidade do sinal de retorno. A absorção no oceano é menor para as baixas frequências e maior para as altas frequências.

Na década de 80 utilizava-se uma tecnologia cuja resolução de um pulso sonográfico era primariamente função do comprimento do pulso transmitido. Para um sistema que operava com alta frequência era esperado uma melhor resolução às expensas do decréscimo da distância de varredura. Mas, em contraste, as mais baixas frequências possibilitavam aos sistemas existentes alcançarem larga varredura, porém com perda de resolução.

O pulso CHIRP pode ser descrito como um sinal senoidal cuja frequência aumenta ou diminui com o tempo entre um valor inicial e um valor final. A resolução, na tecnologia CHIRP, é função da largura da banda do pulso e não do seu comprimento. A largura da banda do pulso é a diferença entre a frequência final e a inicial do pulso CHIRP, enquanto seu comprimento é o tempo transcorrido para transmitir da frequência inicial à final.

Então as mais baixas frequências podem ser utilizadas para alcançar alta resolução e distâncias de varredura maiores, fornecendo aproximadamente a mesma resolução a uma frequência central de 30 kHz do que um sonar a 100 kHz e com uma varredura 5 vezes maior. Neste sonar a largura do pulso é de 15 kHz (que é a diferença entre as frequências de 50 e 65 kHz) e seu comprimento é de 67 μ s, isto é, 1/15 kHz, considerando a velocidade do som na água do mar em torno de 1520 m/s, tem-se uma resolução teórica de 5 cm. A resolução de um imageamento é medida por sua habilidade em distinguir objetos. A resolução teórica do sonar é dada pela expressão abaixo:

$$\text{Resolução do sonar} = \frac{\text{comp.pulso} \times \text{Vel.som}}{2}$$

sendo que:

Comprimento do Pulso = 1 / largura pulso

Na prática, a resolução sonográfica perpendicular à trajetória (*crosstrack*) é a razão entre a varredura e o número de amostras coletadas em cada *ping*. A resolução sonográfica ao longo da trajetória (*alongtrack*) depende da velocidade do navio com o qual o peixe está sendo rebocado, assim como o intervalo entre *pings*. A tabela abaixo mostra a varredura a ser utilizada e as resoluções encontradas:

Varredura (m)	180	375	750	1500
Intervalo entre <i>pings</i> (s)	0,125	0,25	0,50	1,00
Resolução <i>crosstrack</i> (m)	0,09	0,18	0,37	1,36
Resolução <i>alongtrack</i> (m) Com Vel. navio de 1,9 a 4,3 nós	0,12 a 0,27	0,25 a 0,55	0,49 a 1,10	0,99 a 2,20

Pode-se notar que a resolução *crosstrack* é aproximadamente 10 vezes superior e a *alongtrack* é 20 vezes superior àquelas adquiridas em levantamentos com sonar rebocado próximo a superfície. Outros fatores em adição à frequência e largura do feixe recebido afetam intrinsecamente a resolução e são citados abaixo:

- Largura horizontal do pulso emitido;
- A velocidade do peixe;
- A distância entre o peixe e o fundo;
- A natureza do processamento do sinal.

O SISTEMA SIS-3000

Buscando obter dados sonográficos de alta resolução, a Petrobrás vem utilizando a tecnologia CHIRP através do sistema SIS-3000 fabricado pela Datasonics, que é composto de um subsistema peixe e de um subsistema barco. A configuração destes subsistemas está descrita abaixo:

- Subsistema peixe: é composto por sonar de varredura lateral e perfilador de alta frequência de 3,5 kHz.
 - Sonar de varredura lateral: trabalha com o peixe TTV-192, com transdutores ferro-elétricos localizados a bombordo e a boreste que criam um sinal elástico a partir de um sinal elétrico. Os transdutores de bombordo fornecem um CHIRP crescente de 50 a 65 kHz enquanto os de boreste fornecem um CHIRP decrescente de 65 a 50 kHz. Isto é feito para minimizar o efeito de interferência cruzada nos dados recebidos (*cross talk*). Os feixes emitidos possuem uma largura horizontal de 1,5° e vertical de 55°. Para uma maior redução dos lobos laterais cada elemento é tratado via coeficiente do filtro *Hamming*. Uma amostra das imagens geradas por esta tecnologia pode ser observada através do mosaico digital conforme a figura 1.
 - Perfilador de alta frequência (SBP): Consiste de um terceiro tipo de transdutor e um arranjo de receptores. Produz um pulso CHIRP crescente de 2 a 7 kHz. A resolução vertical é de aproximadamente 10 cm (Figura 2).
- Subsistema barco: este subsistema compreende um microcomputador e um software apropriado que é utilizado na aquisição, processamento, visualização e gravação dos dados em três canais (dois canais para o sonar e um para o SBP).

O FLUXO DE DADOS NO SISTEMA

O pulso emitido é armazenado para ser correlacionado com o sinal recebido. Os sinais de sonar e SBP são pré-amplificados, filtrados por um passa-banda e então são enviados às placas receptoras de sonar. As placas receptoras aplicam ganhos variando de 0 a 42 dB, em incrementos de 3 dB, depois um TVG (*time variant gain*), filtro anti-alias e um conversor 16 bit A/D. Então os dados são enviados a um sincronizador que organiza os dados em 16 bits. O conjunto de dados vindo do peixe é alimentado em 3 placas DSP (*digital signal processing*) para cada um dos 3 canais. Cada uma destas placas processa um canal específico continuamente a uma taxa de aproximadamente 33 μs. A FFT (*fast fourier transform*) é usada para executar continuamente o *matched filter* com 2048 amostras e com sobreposição de janelas para eliminar distorções de borda.

O PROCESSAMENTO DOS DADOS

O processamento digital melhora a resolução por atenuar componentes do feixe que degradam o sinal. Todos os pulsos transmitidos produzem lobos laterais que contém energia que esticam o pulso. No sonar tradicional a resolução é degradada pois o pulso recebido sofre um esticamento em relação ao pulso emitido, formando lobos laterais pronunciados. O processamento através do *matched filter* é utilizado para comprimir o pulso emitido em pulso de curta duração (*wavelet*). Este processo tem duas vantagens principais: A primeira é que os efeitos dos lobos laterais são atenuados em torno de 90 dB abaixo do pico do envelope através do *matched filter*, o qual atenua o sinal que não se correlaciona bem com o pulso emitido. A segunda é que a largura do pulso é insensível a absorção, então a resolução do pulso temporal não muda significativamente com o tempo. O *matched filter* tem a mais alta razão sinal/ruído dentre os filtros utilizados. Após os dados serem gravados, são corrigidos de *slant* para *range*, que é uma distorção causada pela compressão destes dados. Embora os dados de sonar de varredura lateral apareçam como uma imagem tomada diretamente acima do fundo marinho (como uma fotografia aérea), na realidade, um pulso de retorno contém informações de um feixe que incide desde a vertical até quase na horizontal, quando insonifica os pontos mais

afastados. Assim, cada um dos pontos que está entre o mais próximo e o mais distante apresentará alguma distorção lateral. A amostragem do sinal recebido (*slant*) não é uniforme em relação à distância horizontal ao nadir. Pode-se expressar o *slant* e o *range* da seguinte forma:

$$\text{Slant} = \frac{v \cdot t}{2}$$

$$\text{Range} = \sqrt{\left(\frac{v \cdot t}{2}\right)^2 - z^2}$$

Onde,

v = velocidade do som na água; t = tempo de ida e volta do sinal e Z = altitude do peixe.

Para se fazer a correção de *slant* para *range* é necessário se conhecer a velocidade de propagação do som na água (~1500 m/s) e a altitude do peixe. Os dados estão prontos para serem mosaicados e interpretados.

RESULTADOS E APLICAÇÕES INICIAIS

Os levantamentos sonográficos fazem parte da rotina necessária à implantação de qualquer projeto de engenharia da Petrobrás no mar, especialmente os de dutos submarinos. Os primeiros resultados do sonar de varredura lateral rebocado próximo ao fundo marinho em águas profundas (maiores que 1000 m) foram na Bacia de Campos. Os dados serviram para fornecer subsídios aos estudos geológicos e geotécnicos do fundo e subfundo marinho, suprimindo as necessidades dos projetos da engenharia de produção no planejamento da instalação de dutos e *risers* das plataformas da Petrobrás. A escolha da melhor diretriz para os dutos da Petrobrás passa primeiramente pela pesquisa da área de interesse em nível regional e posterior detalhamento, procurando por locais com variação suave do gradiente do fundo marinho e desviando dos obstáculos porventura existentes. Este procedimento tem proporcionado uma economia substancial para a Petrobrás com a diminuição do número de vãos livres. A utilização dos dados sonográficos e batimétricos proporcionou um melhor conhecimento e definição dos parâmetros básicos de projeto nas áreas pesquisadas com economia de divisas da ordem de U\$ 1,500,000.00 nas diretrizes do Campo de Roncador e Plataforma de Namorado-Marlim Sul, além de outros trabalhos aqui não quantificados.

REFERÊNCIAS

Datasonics Inc., 1996, SIS 3000 Seafloor Imaging System -technical overview .

Fish, J.P., and Carr, H.A, 1990, Sound Underwater Images-A guide to the generation and interpretation of side scan sonar data.

Fonseca, L.E.N, 1997, Correções radiométricas e geométricas dos dados sonográficos da Bacia de Campos: relatório interno PETROBRÁS/CENPES/DIVEX/SEMBA.

Malinverno, A, Edwards, M.H, and Ryan, W.B.F, 1990, Processing of SeaMARC Swath Sonar Data: IEEE Journal of oceanic engineering.

M. D. Parent, C. Fang, T. F. O' Brien and W. Danfort, 1993, First results of a deep tow chirp sonar seafloor imaging system: 25th Annual OTC in Houston, Texas, USA.

Le Blanc, R. L., Shock, S.G. and Dalton W.L., 1990, FM chirp subbottom profiler for pipeline surveys and bottom classifications.

Piauilino, P.O.V., Maldonado, P.R., and Fonseca, L.E.N., 1995, Aquisição de dados sonográficos e de perfis de alta frequência na Bacia de Campos: 4^o Congresso Internacional da Sociedade Brasileira de Geofísica.

Urlick, R. J., 1983, Principles of underwater sound for engineers: 3rd edition., McGraw-Hill.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos à PETROBRÁS/SEGEN/DENPRO/SETIM pela permissão para publicar este trabalho e em especial aos colegas Anídio Corrêa, Cláudio Gino Gallea e Luciano Fonseca pelas valorosas discussões técnicas que possibilitaram a confecção deste trabalho.

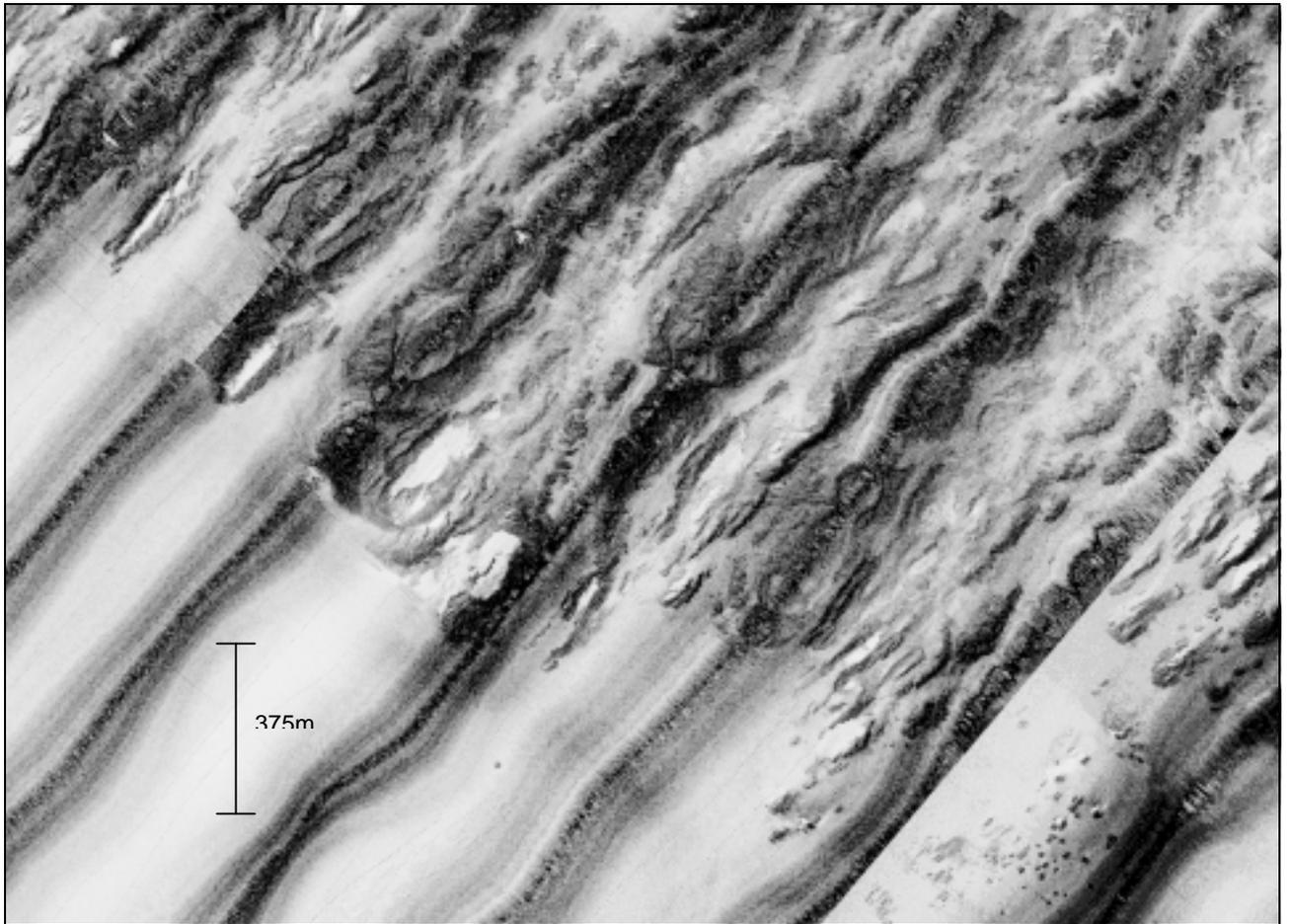


Figura 1: Dados sonográficos mosaicaos evidenciando alta refletividade dos corais de águas profunda.

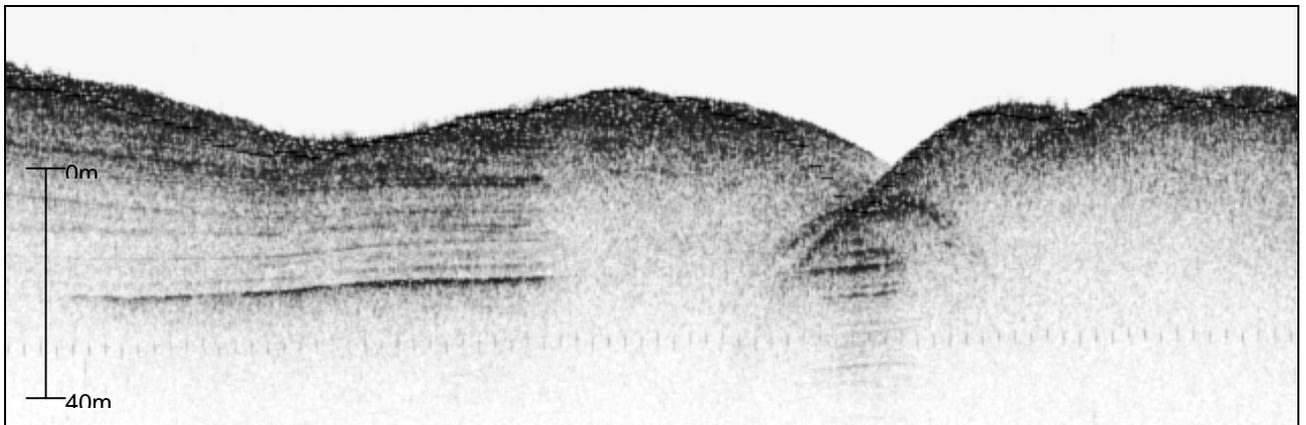


Figura 2: Perfil de subfundo 3,5 kHz (SBP)