

Correções Radiométricas dos Dados Sonográficos da Bacia de Campos.

LUCIANO EMÍDIO NEVES DA FONSECA
PETROBRAS-Cenpes
Cidade Universitária, quadra 7 - Ilha do Fundão
CEP 21910-900 Rio de Janeiro - RJ
lenf@cenpes.petrobras.gov.br

Abstract. A side-scan sonar survey was accomplished recently in the Campos Basin (Brazil). Analysis and interpretation of this data will provide detailed information of the seafloor and will help the installation of production facilities. Some techniques for radiometric restoration of sonographs are suggested: 1) switching compensation with global normalization. 2) beam angle compensation with moving average. 3) speckle noise removal with threshold rectangular median filter. The application of these restoration techniques to Campos Basin data provided restored sonographs, more adequate for both visual interpretation and quantitative analysis.

Key words: Sonar, restoration, speckle.

1 INTRODUÇÃO

A PETROBRAS, seguindo as diretrizes do Programa de Inovação Tecnológica e Desenvolvimento Avançado em Águas Profundas e Ultraprofundas (PROCAP-2000), realizou uma grande campanha de levantamento de dados sonográficos de varredura lateral na Bacia de Campos (Piauilino, 1995). Neste levantamento, foi utilizado o sonar de varredura lateral Sys09 da Seafloor Survey International, contratada da PETROBRAS, que operou o equipamento de dezembro de 1994 a março de 1995. A análise e a interpretação destes dados permitirá um conhecimento mais detalhado do fundo oceânico e maior segurança na instalação de equipamentos de produção e escoamento de petróleo.

Sonares de Varredura Lateral (SOunding NAVigation and Ranging) são sistemas ativos de sensoriamento remoto, que emitem e registram ondas acústicas para produzir imagens (registros sonográficos) do fundo oceânico. Estes registros contêm medidas da energia acústica que retorna para o transdutor eletro-acústico (Fish, 1990). A geometria da aquisição de dados sonográficos possui muitas semelhanças com a de dados de radar de visada lateral.

Devido ao grande volume de dados que vêm sendo adquiridos por este tipo de sensor, tem havido uma procura cada vez maior pelo desenvolvimento de métodos numéricos para processamento de dados sonográficos. No entanto, somente nos últimos anos se tornou viável o registro e o processamento digital destes dados, o que tem possibilitado a produção de imagens coerentes do fundo oceânico, com correções tanto radiométricas, quanto geométricas. Dentre as correções radiométricas, pode-se citar a calibração de ganho, a compensação do ângulo do feixe, a remoção de ruído

speckle, a normalização de histograma entre linhas adjacentes, o melhoramento de histogramas, etc. As correções geométricas incluem o cruzamento dos dados sonográficos com a navegação registrada, as correções de *pitch*, *roll* e *yaw* do sonar e o mosaicamento das linhas em coordenadas cartográficas.

2 O SISTEMA SYS09

O Sys09 é um sonar de varredura lateral que opera rebocado a uma profundidade de aproximadamente 100m e a uma velocidade de 5 a 10 nós (Hussong, 1995). Um esquema da geometria de aquisição de dados pode ser visto Figura 1. Este equipamento possui dois conjuntos de transdutores eletro-acústicos, que emitem e registram os sinais sonoros. O conjunto de transdutores de estibordo opera a uma frequência de 10kHz, enquanto o de bordo a 9kHz, o que minimiza interferência cruzada (*cross-talk*).

De acordo com a profundidade da área a ser levantada na Bacia de Campos, o Sys09 apresentou, para cada linha de varredura (também conhecida como *ping*), três modos distintos de operação. Estes modos de operação podem ser visto na Tabela I.

Uma linha sonográfica possui, tipicamente, de 3.000 a 6.000 *pings*. Em todo o levantamento, foram registrados aproximadamente 1.000.000 de *pings*. Por sua vez, o registro digital de cada *ping* apresenta 2048 amostras da componente em fase (F) e 2048 amostras da em quadratura (Q) do sinal acústico que retorna ao transdutor. Estes sinais são amostrados com variação dinâmica de 12 *bits*. Normalmente, desprezam-se os 4 *bits* menos significativos destes sinais, de modo a se reduzir a variação dinâmica para 8 *bits* por *pixel*. Em todos os processamentos que serão propostos a

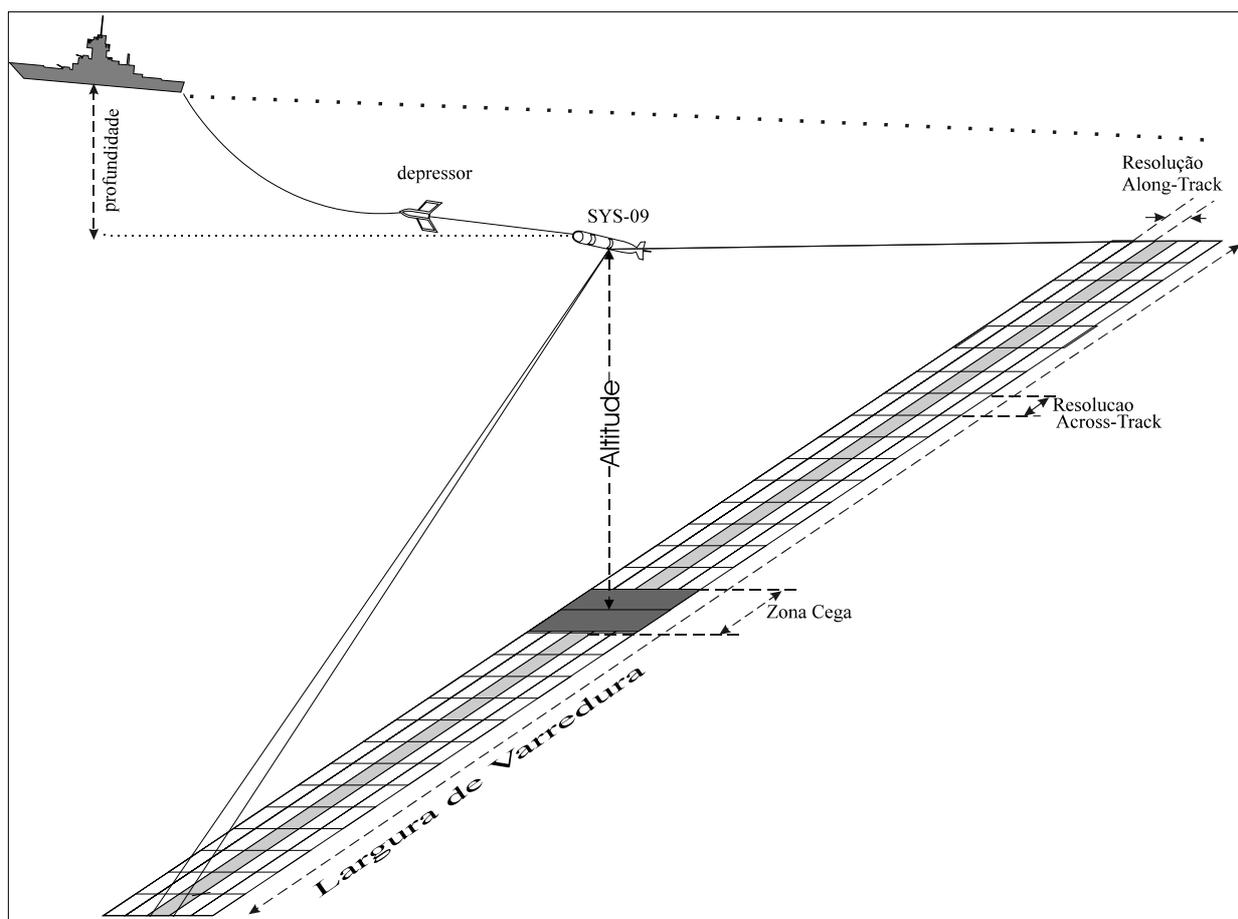


Figura 1 - Geometria de aquisição do Sys09.

Profundidade (m)	150.0 a 900.0	900.0 a 1800.0	1800.0 a 3000.0
Largura de Varredura (m)	2000.0	5000.0	10000.0
Intervalo entre Pings (s)	2.5	4.2	8.0
Resolução Across-track (m)	1.0	2.5	5.0
Resolução Along-track a 7 nós (m)	9.0	15.0	30.0

Tabela I Modos de Operação do Sys09.

seguir, utilizou-se toda a variação dinâmica do dado, isto é, 12 *bits* por *pixel*, o que permitiu a recuperação de detalhes perdidos no processamento convencional.

A intensidade sonográfica (I) será dada pela magnitude do número complexo formado por (F,Q) . Assim:

$$I = \sqrt{F^2 + Q^2} \quad (1)$$

O registro sonográfico dos sinais (F), (Q) e (I), podem ser vistos nas Figuras 2a, 2b e 2c respectivamente. A cota batimétrica Z será proporcional à fase do número complexo (F,Q) :

$$Z \propto \arctan\left(\frac{Q}{F}\right) \quad (2)$$

Para cada *ping* com largura de varredura LW (ver Tabela I), são registradas 2048 amostras de intensidade sonográfica. Assim, a resolução δx perpendicular à trajetória (*across-track*) será dada por:

$$\delta x = \frac{LW}{2048} \quad (3)$$

A resolução δy ao longo da trajetória (*along-track*) depende da velocidade (V) na qual o Sys09 está sendo rebocado e do intervalo (P) entre *pings* (vide Tabela I). Assim:

$$\delta y = V * P \quad (4)$$

Muitos outros parâmetros também fazem parte do registro digital para cada *ping*. Dentre os mais importantes, vale destacar :

- Ângulo de mergulho (*pitch*)
- Ângulo de rolamento (*roll*)
- Ângulo de deriva (*yaw*)

- Profundidade na qual o Sys09 é rebocado
- Altitude do Sys09 em relação ao fundo oceânico
- Largura de varredura
- Intervalo entre *pings*
- Parâmetros de ganho dos transdutores (Vide item 3)
- Data e hora

Outro registro digital, essencial para a correção geométrica dos dados sonográficos, é a navegação por **DGPS** (*Differential Global Positioning System*), na qual se tem, a cada cinco segundos, o registro de:

- Data e hora
- Latitude
- Longitude
- Rumo da navegação (*heading*)

O cruzamento dos registros do Sys09 com os da navegação irá permitir a confecção de mosaicos digitais geometricamente corrigidos.

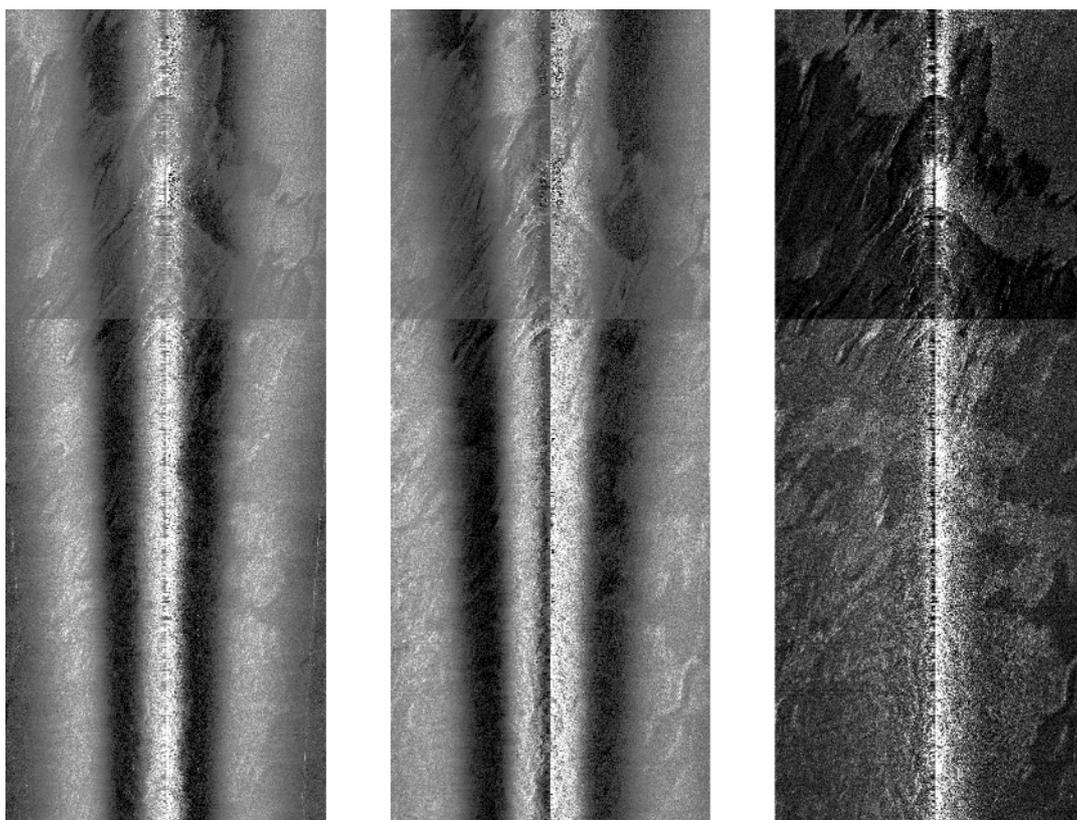
3 CALIBRAÇÃO DO GANHO DOS TRANSDUTORES.

São cinco os parâmetros que controlam o ganho dos transdutores do Sys09, conforme pode ser observado na Tabela II. Estes parâmetros são modificados manualmente durante o levantamento, por um operador de bordo.

O primeiro passo para a calibração de ganho do Sys09 com normalização global, isto é, normalização para todos os dados do levantamento, é a escolha de um local para teste, no qual serão ajustados os cinco parâmetros descritos. Toma-se estes valores como referência para o ajuste de ganho que será feito posteriormente em todos os dados do levantamento. Assim, para esta linha de teste, os valores de referência são:

Parâmetro	Sigla	Unidade	Faixa de variação
Ganho Relativo	GR	dB	0,3,6,9,12 e 15
Largura da Banda do feixe emitido	BW	kHz	0.3, 0.6, 1.2, 2.4
Largura do Pulso Emitido	PL	1/s	1 a 128
Tensão na Fonte de Alimentação	PW	—	0(desligada), 1(teste), 2(baixa) e 3(alta)
Largura de Varredura	LW	Km	0.5,1,2,5,10,15,20 e 25

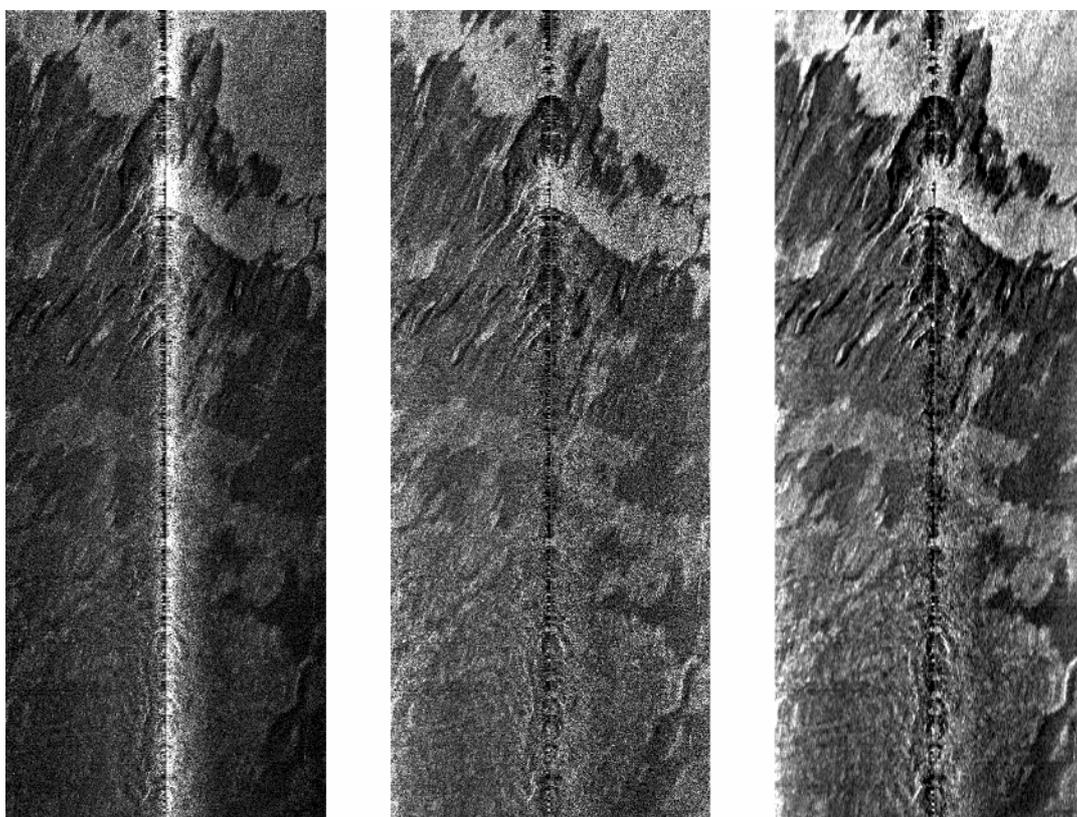
Tabela II - Parâmetros de ganho dos transdutores



a) Componente em fase

b) Componente em quadratura

c) Intensidade Sonográfica



d) Calibração de Ganho.

e) Correção do ângulo do feixe.

f) Remoção do ruído *speckle*.

Figura 2 - Fases do processamento sonográfico

$$\begin{aligned} GR &= GR_0; & BW &= BW_0; & PL &= PL_0; \\ PW &= PW_0; & LW &= LW_0; \end{aligned} \quad (5)$$

Para qualquer conjunto de parâmetros de ganho dos transdutores (GR,BW,PL,PW,LW), diferentes dos listados em (5), o ajuste de ganho β , segundo (Hussong, 1995) é:

$$\begin{aligned} \beta_1 &= \left(\frac{2PL_0}{(PL+1)} \right)^{\frac{1}{2}} \left(\frac{LW}{LW_0} \right)^2 \\ \beta_2 &= \frac{(GR_0-GR)+3(PW_0-PW)}{2} + \frac{BW}{4BW_0} \\ \beta &= \beta_1 * 2^{\beta_2} \end{aligned} \quad (6)$$

Das equações (1) e (6), tem-se que a intensidade sonográfica calibrada I_{cal} é:

$$I_{cal} = \beta * \sqrt{F^2 + Q^2} \quad (7)$$

O cálculo do ajuste de ganho β e do registro sonográfico calibrado I_{cal} para cada *pixel* em 16 *bits* permitiu que se recuperasse a densidade absoluta de energia que retorna ao transdutor. Isto não é possível no processamento convencional em 8 *bits*, no qual se tem que escolher um ganho de referência para cada linha sonográfica adquirida e não para todo o levantamento. Na Figura 2d, vê-se o efeito da calibração de ganho com normalização global em uma linha adquirida.

4 CORREÇÃO DO ÂNGULO DO FEIXE

Devido a limitações relativas à geometria de aquisição, o pontos no eixo ortogonalmente abaixo do Sys09 (nadir) apresentarão uma reflexão quase especular da energia acústica incidente, enquanto os postos mais afastados deste eixo, embora apresentem as mesmas características de rugosidade e de índice de reflexão, retornarão um sinal mais atenuado para o transdutor eletro-acústico (vide Figura 1). Este fenômeno causará uma distribuição de ganhos não-linear em função do ângulo de incidência do feixe acústico no fundo oceânico (Malinverno, 1990).

Normalmente, a compensação de ângulo de incidência do feixe não leva em consideração a variação de altitude do Sys09 para cada *ping*, mas somente a distância do *pixel* ao nadir (Chaves, 1986). No entanto, quando há uma grande variação de profundidade de levantamento, que é o caso da Bacia de Campos, o uso deste tipo de abordagem não irá restaurar o registro sonográfico. Com a utilização da informação de altitude do Sys09, pode-se calcular o ângulo verdadeiro de incidência para cada *pixel*. Assim, se a resolução na direção de varredura for δx , o número de amostras por *ping* for $2n$ (n para estibordo e n para bordo) e a altitude do peixe for H , o ângulo de incidência Θ do feixe será:

$$\theta = \arctan\left(\frac{i * \delta x}{H}\right) \quad -n \leq i < n; \quad (8)$$

Deve-se calcular a média $\mu(\theta)$ da intensidade sonográfica para cada ângulo de incidência θ (a passos de $\delta\theta$). A média deve ser tomada ao longo de um número mínimo de *pings*, de forma que variações locais da intensidade sonográfica se cancelem. Utilizou-se uma média móvel de 800 *pings* em torno do *ping* a ser corrigido, o que se mostrou mais adequado do que a abordagem convencional, na qual se toma a média para todos os *pings* da linha sonográfica. A abordagem proposta se mostra mais eficiente para responder a variações regionais do índice de reflexão e da rugosidade do fundo oceânico e a mudanças significativas da altitude do Sys09. O ajuste de ganho do feixe (G) para cada ângulo de incidência θ será:

$$G(\theta) = \frac{\mu(\theta)}{\max(\mu)} \quad (9)$$

Onde $\max(\mu)$ é a maior média registrada para todos os ângulos de incidência presentes no *ping* analisado.

A intensidade sonográfica corrigida I_{corr} de cada *pixel* de um determinado *ping*, levando-se em conta as equações (7), (8) e (9), será:

$$I_{corr} = I_{cal} * G(\theta) \quad (10)$$

Na Figura 2e, observa-se o efeito da correção do ângulo de feixe proposta.

5 REMOÇÃO DO RÚIDO *SPECKLE*

O sinal sonográfico que retorna para os transdutores do Sys09 sofre flutuações estocásticas que produzem ruído *speckle* na imagem sonográfica resultante. (Reed IV, 1989). Filtros de suavização de imagens, como máscaras de convolução ou mesmo filtragens passa-baixa no domínio da frequência, podem ser suficientes para a remoção deste tipo de ruído. No entanto, este procedimento causa o efeito indesejável de borrar os detalhes e bordas da imagem sonográfica. Isto ocorre, porque todos os *pixels* da imagem, mesmo que não estejam afetados pelo ruído *speckle*, serão alterados no processo de convolução.

Uma alternativa às máscaras de convolução lineares são as filtragens morfológicas, como o filtro de mediana. O filtro de mediana substitui o valor do *pixel* central de uma certa região da imagem pelo valor mediano do conjunto ordenado destes *pixels*, e não pela média aritmética dos mesmos. Com este tipo de filtro, obtém-se uma melhor suavização da imagem, com

menor perda de detalhes e bordas. No entanto, observa-se o mesmo efeito indesejável de se alterar todos os *pixels* da imagem, até mesmo os que não foram afetados pelo ruído em questão.

Para a remoção do ruído *speckle* nos registros sonográficos do Sys09, utilizou-se o filtro de mediana com limiar. Nesta filtragem, primeiro identificou-se o *pixel* central de uma certa vizinhança como sendo afetado ou não por ruído *speckle*. O *pixel* é identificado como afetado por tal ruído caso esteja no primeiro ou no último quartil do conjunto ordenado da vizinhança. Somente os *pixels* afetados pelo ruído foram substituídos pelo valor mediano do conjunto.

Como foi discutido no item 2, a resolução *across-track* é diferente da *along-track*, sendo esta última normalmente muito menor, pois está diretamente relacionada com a velocidade na qual o Sys09 é rebocado. A vizinhança para a qual será aplicado o filtro de mediana com limiar deverá contemplar esta geometria da aquisição. Na filtragem proposta, utilizou-se uma vizinhança 9x3 (9 *across-track* e 3 *along-track*) em torno de cada *pixel*. O resultado da aplicação deste filtro pode ser visto na Figura 2f.

6 CONCLUSÕES

Várias técnicas de restauração radiométrica foram aplicadas com sucesso aos dados sonográficos da Bacia de Campos. O processamento dos dados em 16 *bits* revelou detalhes que tinham sido perdidos com o processamento convencional em 8 *bits*. A calibração de ganho dos transdutores com normalização global permitiu a comparação direta entre linhas e a coerência radiométrica na confecção de mosaicos digitais. A correção de ângulo de feixe com média móvel se mostrou eficiente para responder a variações regionais do índice de reflexão e da rugosidade do fundo oceânico e a mudanças significativas da altitude do Sys09. A remoção de ruído *speckle* com filtro de mediana com limiar é simples e eficiente, tendo boa capacidade de discriminação entre *pixels* afetados ou não pelo ruído.

7 AGRADECIMENTOS

A pesquisa recebeu suporte financeiro da PETROBRAS e do projeto GEOTEC-PROTEM do CNPq.

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Piauilino, P. O.; Fonseca L. E. N.; Maldonado, P. R.. Aquisição de Dados Sonográficos, Batimétricos e de Perfis de Alta Frequência na Bacia de Campos. In: 4º

Congresso Internacional da Sociedade Brasileira de Geofísica, Agosto 20-24, 1995. *Anais*, Rio de Janeiro, SBGf, 1995, pp 619-622.

Hussong, D. M. A Swath Bathymetry, Side-scan Intensity and Shallow Subbottom Reflection Survey of the Campos Basin. PROCAP-2000, Project 11, Final Report. Seattle, April 1995.

Siljeström, A. P. M.; Rey, J. Seafloor Characterization through Side Scan Sonar Image Processing. International Journal for Remote Sensing, v. 16, n°. 4, pp 625-632, June 1994.

Le Bas, T.; Mason, D. Suppression of Multiple Reflections in Gloria Sidescan Sonar Imagery. Geophysical Research Letters, v. 21, n°. 7, pp 549-552, April 1994.

Stewart, W. K.; Jiang, M.; Marra, M. A Neural Network Approach to Classification of Sidescan Sonar Imagery from a Midocean Ridge Area. IEEE Journal of Oceanic Engineering, v. 19, n°. 2, pp. 214-224, April 1994.

Miller, R. L.; Dwan, F. S.; Cheng, C. Digital Preprocessing Techniques for GLORIA II Sonar Images. Geo-Marine Letters, v. 11, pp. 23-31, August 1991.

Johnson, H. P.; Helferty, M. The Geological Interpretation of Side-Scan Sonar. Reviews of Geophysics, v. 28, n°. 4, pp. 357-380, November 1990.

Fish, J. P., Carr, H. A. Sound Underwater Images. Orleans, MA, Lower Cape Publishing, 1990.

Malinverno, M. H. E.; Ryan, W. B. F. Processing of SeaMARC Swath Sonar Data. IEEE Journal of Oceanic Engineering, v. 15, n°. 1, January 1990.

Reed IV, T. B.; Hussong, D. M. Digital Image Processing Techniques for Enhancement and Classification of SeaMARC II Side Scan Sonar Imagery. Journal of Geophysical Research, vol 94, n°. B6, pp 7469-7460, June 1989.

Davis, E. E.; Currie, R. G.; Sawyer, B. S.; Kosalos, J. G. The Use of Swath Bathymetric and Acoustic Image Mapping Tolls in Marine Geoscience. MTS Journal, v. 20, n°. 4, pp. 17-27, May 1987

Chaves, P. S. Jr. Processing Techniques for Digital Sonar Images from GLORIA. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, v. 52, n°. 8, pp. 1133-1145, August 1986.