



## Utilização de dados gravimétricos derivados de altimetria por satélites e geofísica marinha no estudo de estruturas do embasamento na região da Bacia de Santos, SP

Constantino, R., Molina, E. C., Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas da Universidade de São Paulo

Copyright 2011, SBGf - Sociedade Brasileira de Geofísica

Este texto foi preparado para a apresentação no 12º Congresso Internacional da Sociedade Brasileira de Geofísica, que será realizado no Rio de Janeiro, Brasil, entre 5 a 18 agosto de 2011.

Seu conteúdo foi revisado pelo Comitê Técnico do 12º Congresso Internacional da Sociedade Brasileira de Geofísica, 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.

### Abstract

Gravity data obtained from satellite altimetry can contain high frequency signals related to features that are not shown in the bathymetric models. This paper models the depth variations of the crust mantle interface (CMI) and the structures of the basement from gravity data inversion. The effect of the sedimentary cover is estimated from the thickness model available by NOAA and adapted to a model of sediment compaction. Bathymetric data of bathymetric Char General of The Oceans (GEBCO) and crustal thickness data obtained by seismic tomography are integrated in the inversion process, which includes the flexural isostatic model. This analysis results in the final inverted topography of the basement in the area of the Santos Basin, which coincides with the bathymetry only where there is no sediment cover and may reveal structures that are of interest for oil exploration.

### Introdução

O conhecimento do embasamento oceânico é de grande importância em diversas aplicações na área de geociências. Sua estrutura é composta principalmente por rochas ígneas e metamórficas e representa a situação tectônica e a história de uma determinada região.

O fundo oceânico sofre um constante processo de sedimentação. Em algumas áreas, a cobertura de sedimentos pode ocultar feições tectônicas do embasamento como lineamentos, blocos crustais inclinados, cordilheiras e eixos de espalhamento.

Segundo Braitenberg et al. (2006), os elementos responsáveis pela composição estrutural do embasamento podem ser úteis em diversos estudos, como por exemplo na determinação da densidade lateral ou variações da espessura da litosfera através do princípio do balanço hidrostático utilizando o campo gravimétrico observado. Neste caso é necessário estimar a carga da crosta, que é determinada pela profundidade do embasamento, profundidade oceânica, espessura crustal e suas respectivas densidades, (Ebbing et al., 2006).

Obter dados de aceleração da gravidade através de altimetria por satélite pode ser um método rápido para avaliar a estrutura sedimentar do fundo oceânico devido sua distribuição global e boa qualidade (Woodward e Wood, 2000).

Em áreas oceânicas a componente de curto comprimento de onda do sinal observado geralmente está correlacionada com a batimetria. Isto foi usado em trabalhos pretéritos como de Smith e Sandwell (1997) e Sandwell e Smith (2001) para criar modelos de batimetria a partir de dados de aceleração da gravidade.

Na crosta oceânica existem três descontinuidades de densidade predominantes: i) A superfície da água, que marca a transição da atmosfera para a água; ii) o fundo oceânico, delimitando a transição da água para um material sólido, geralmente os sedimentos e iii) o embasamento, marcando a transição dos sedimentos para rocha consolidada. Na nomenclatura utilizada neste trabalho, a batimetria corresponde ao fundo oceânico e as ondulações do embasamento correspondem à topografia do embasamento. Os mapeamentos do fundo oceânico realizados a bordo de navios cartografam exclusivamente a batimetria. O fundo oceânico coincide com a topografia do embasamento apenas em regiões onde não há cobertura de sedimentos.

No presente trabalho, através da análise combinada de dados do campo de anomalia gravimétrica, modelo batimétrico, modelo de espessura sedimentar e espessura da crosta, pretende-se determinar a estrutura do subsolo oceânico na Bacia de Santos. Trabalhos como o de Braitenberg et al. (2006) utilizaram estes dados e metodologia e determinaram com sucesso a estrutura do embasamento oceânico do Mar da China.

A hipótese científica do estudo é a de que feições tectônicas podem estar sendo ocultadas pelo processo de sedimentação marinha e para que sejam estudadas é preciso ter o conhecimento da topografia do embasamento, ou seja, o subsolo que está sob esta camada de sedimentos.

### Metodologia

O ponto inicial para o estudo é a base de dados contendo: observações de anomalia da gravidade, obtidas por Molina (2009) através de altimetria por satélite e geofísica marinha; estimativa da espessura crustal obtida através de tomografia sísmica (Lloyd et. al 2010); modelo de espessura sedimentar, obtido do banco de dados da NGDC e compilados pela NOAA, e modelo de batimetria global, disponível publicamente pela GEBCO (Figura 1).

Em áreas oceânicas, para formular um modelo de batimetria global, é possível usar a parte de curto

comprimento de onda do campo de gravidade. (Smith and Sandwell, 1997).

Durante a inversão dos dados de anomalia gravimétrica, a batimetria calculada deve ser tão próxima quanto possível da batimetria adquirida em medidas diretas. Quando se estima a batimetria, o sinal gravimétrico pode ser mascarado onde há presença de uma espessa camada de sedimentos, que enterra as estruturas do embasamento. O objetivo deste trabalho é modelar as estruturas do embasamento, estejam elas enterradas por sedimentos ou coincidindo com a batimetria. A fim de se alcançar tal objetivo, a metodologia a ser empregada utiliza o sinal completo da anomalia gravimétrica e combina a inversão destes dados com uma análise flexural.

A metodologia é proposta por Braitenberg et al. (2006), e é realizada seguindo-se as seguintes etapas:

Etapa 1 - Modelagem das variações de profundidade da Interface Crosta Manto (ICM) através da inversão das anomalias gravimétricas;

Etapa 2 - Esta etapa utiliza um modelo flexural para determinar as ondulações da ICM. Aqui é calculada a flexura da crosta pela a carga topográfica e intracrustal (referente à camada sedimentar);

Etapa 3 - Em seguida é calculada a anomalia gravimétrica referente às variações da espessura crustal;

Etapa 4 - Por último é realizada a inversão das anomalias gravimétricas residuais, obtidas através da correção da anomalia gravimétrica observada para levar em consideração as variações de espessura crustal e da cobertura sedimentar.

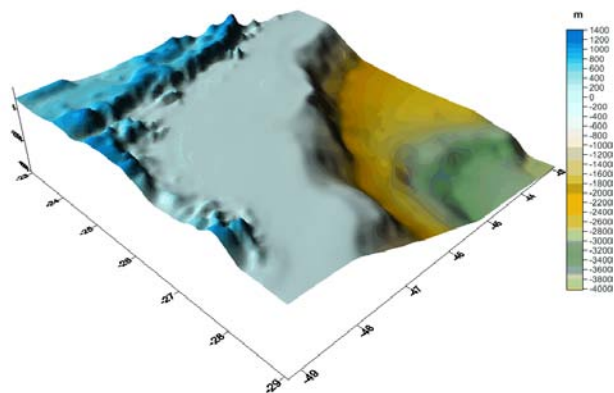


Figura 1 – Batimetria na região da Bacia de Santos. Fonte de dados: GEBCO.

### Resultados e Discussões

A topografia do embasamento é calculada seguindo as 4 etapas descritas anteriormente. O primeiro passo envolve corrigir as anomalias gravimétricas para remover o efeito da cobertura sedimentar. Para tanto, utiliza-se o modelo de compactação sedimentar descrito por Sclater e Christie (1980). O campo resultante é invertido por meio de uma modelagem inversa iterativa com vínculos (Braitenberg et al., 1997) para valores de profundidade de referência (d) entre 20-30 km e contraste de

densidade ( $\Delta\rho$ ) entre 350 e 700 kg/m<sup>3</sup>. A diferença RMS entre valores da ICM obtidos por tomografia sísmica e valores calculados por esta inversão é então calculada para escolher os parâmetros que gerem o modelo mais próximo do observado por dados independentes. A melhor concordância foi encontrada para  $\Delta\rho=660$  kg/m<sup>3</sup> e  $d=30$  km, com RMS=0.8 km (figura 2). O comprimento de onda de corte utilizado foi de 145 km, estimado a partir do decaimento do espectro radial dos dados gravimétricos (Russo e Speed, 1994).

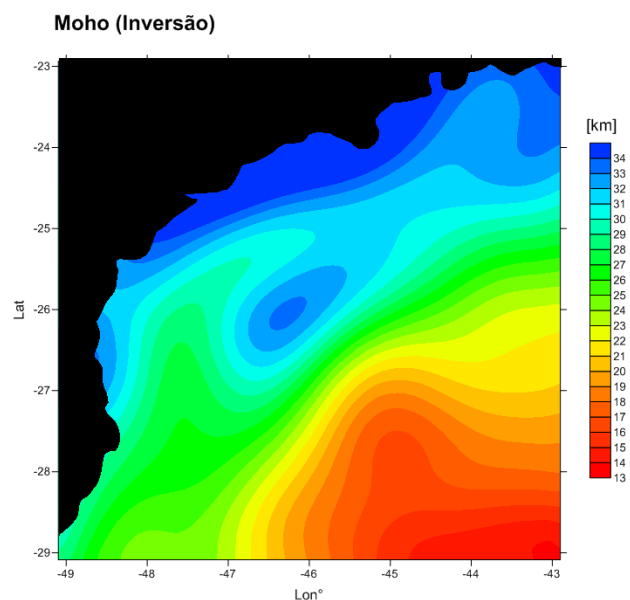


Figura 2 – Interface Crosta Manto obtida por inversão

Para o cálculo da componente flexural da etapa 2 primeiramente foi calculada a carga que atua sobre a placa, que é gerada pela soma da carga topográfica e da carga intracrustal (referente aos sedimentos). A análise flexural é feita com base no procedimento descrito em Braitenberg et al. (2003). A ICM calculada nesta etapa está de acordo com a obtida na etapa anterior, como mostra o mapa de diferenças entre as duas ICM calculadas (figura 3). No geral, a diferença é bem pequena, e os maiores valores estão sobre a região onde há uma camada sedimentar mais espessa (aproximadamente 8 km).

A próxima etapa é calcular a anomalia gravimétrica gerada pela ICM estimada. Este efeito mais o efeito gravimétrico dos sedimentos serão subtraídos da anomalia gravimétrica total observada, resultando na anomalia gravimétrica residual (Equação 1), que será invertida no último passo.

$$g_{res} = g_{obs} - g_{CM} - g_{sed} \quad (1)$$

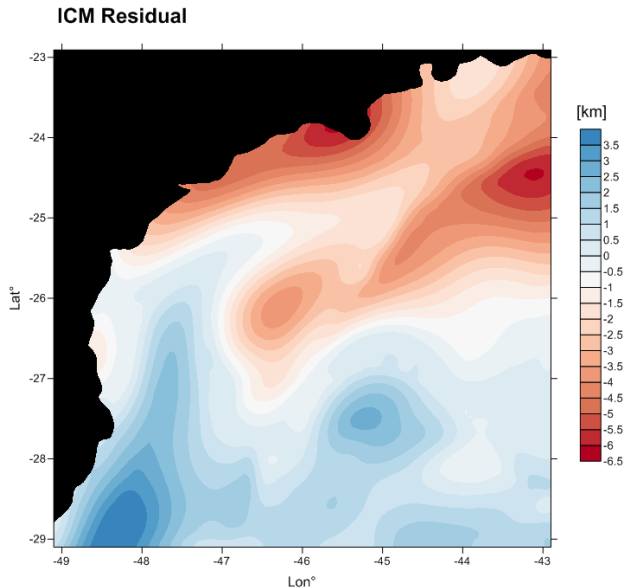


Figura 3 – Diferença entre as ondulações da ICM obtidas por inversão de dados gravimétricos e por análise flexural.

Para a inversão das anomalias gravimétricas residuais (gres) será adotado um contraste de densidade constante de  $1770 \text{ kg/m}^3$ , que corresponde ao contraste de densidade entre a crosta ( $2800 \text{ kg/m}^3$ ) e a água ( $1030 \text{ kg/m}^3$ ), visto que o efeito da camada sedimentar já foi removido dos dados. Todos os comprimentos de onda do campo gravimétrico residual serão levados em conta e a profundidade de referência neste caso é adotada como 0 (Hwang, 1999). O resultado obtido corresponde à topografia do embasamento na região da Bacia de Santos (Figura 4).

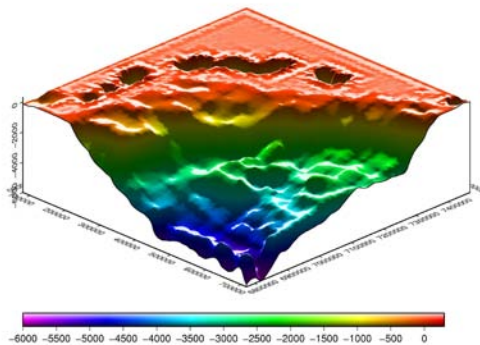


Figura 4: Topografia do embasamento na região da Bacia de Santos, em metros.

Comparando os resultados desta topografia do embasamento com os dados batimétricos obtidos pela GEBCO, nota-se uma maior quantidade de feições,

sendo que a mais evidente corresponde à parte mais profunda do embasamento, podendo estar associada à alguma feição estrutural mais profunda.

### Conclusões

O conhecimento do embasamento oceânico é crucial em estudos que visam construir a história tectônica e geodinâmica de uma área oceânica. O embasamento que tem sido alterado por eventos tectônicos em escala geológica, tem sofrido constante processo de sedimentação, o qual, com o passar do tempo, resulta no enterramento de estruturas morfológicas. As estruturas de baixa amplitude serão as primeiras a desaparecer, distorcendo o quadro tectônico observável da região. Neste trabalho foram delineadas feições estruturais do embasamento da Bacia de Santos que, se comprovadas, estão enterradas sob a camada sedimentar (Figura 5) e não aparecem no mapeamento do fundo oceânico (Figura 1). A estimativa da profundidade do embasamento realizada no presente trabalho pode ser uma importante ferramenta para futuras investigações na região.

A partir da metodologia proposta neste trabalho, nota-se que é possível gerar um modelo tridimensional do embasamento para regiões oceânicas a partir de um banco de dados contendo dados gravimétricos, dados batimétricos, e valores de espessura sedimentar e espessura crustal.

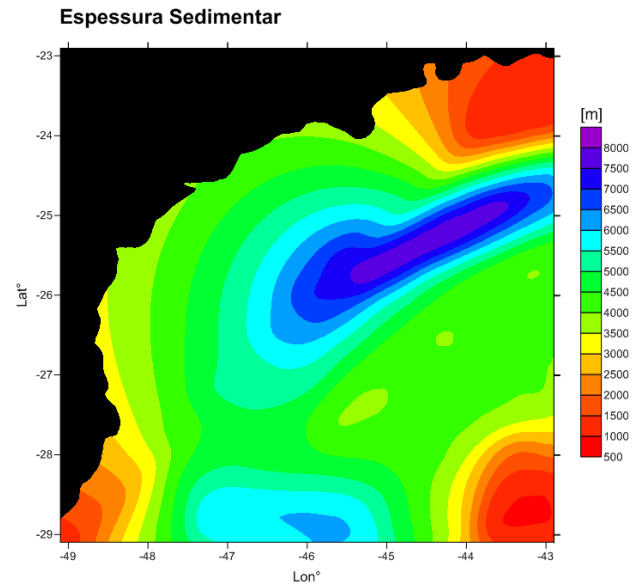


Figura 5: Modelo de espessura sedimentar na região da Bacia de Santos.

### Agradecimentos

Ao CNPq, pela bolsa de mestrado relacionada a este projeto; a Carla Braitenberg pela cessão do software Lithoflex; a Symon Loyd e colegas pelo fornecimento dos dados de profundidade da Moho.

## Referências

Braitenberg, C., F. Pettenati, and M. Zadro (1997), Spectral and classical methods in the evaluation of Moho undulations from gravity data: The NE Italian Alps and isostasy, *J. Geodyn.*, 23, 5–22.

Braitenberg, C., Y. Wang, J. Fang, and H. T. Hsu (2003), Spatial variations of flexure parameters over the Tibet-Quinghai plateau, *Earth Planet. Sci. Lett.*, 205, 211–224.

Braitenberg, C., S. Wienecke, e Y. Wang (2006), Basement structures from satellite-derived gravity field: South China Sea ridge, *J. Geophys. Res.*, 111, B05407, doi:10.1029/2005JB003938.

Ebbing, J., C. Braitenberg, e H.-J. Götze (2006), The lithospheric density structure of the Eastern Alps, *Tectonophysics*, 414, 145–155

Hwang, C. (1999), A bathymetric model for the South China Sea from satellite altimetry and depth data, *Mar. Geod.*, 22, 37–51.

Lloyd, S., Van der Lee, S., França, G. S., Assumpção, M. Feng, M. (2010). Moho map of South America from receiver functions and surface waves. *J. Geophys. Res.*, 115: B11315. DOI: 10.1029/2009JB006829.

Molina, E.C., (2009). O uso de dados de missões geodésicas de altimetria por satélite e gravimetria marinha para a representação dos elementos do campo de gravidade terrestre. Tese de livre docência. Departamento de Geofísica do IAG-USP. Universidade de São Paulo. 100pp.

Sclater, J. G., and P. A. F. Christie (1980), Continental stretching: An explanation of the post mid-Cretaceous subsidence of the central North Sea basin, *J. Geophys. Res.*, 85, 3711–3739.

Russo, R. M., e R. C. Speed (1994), Spectral analysis of gravity anomalies and the architecture of tectonic wedging, NE Venezuela and Trinidad, *Tectonics*, 13(2), 613–622.

Smith, W. H. F., e D. T. Sandwell (1997), Global sea floor topography from satellite altimetry and ship depth soundings, *Science*, 277, 1956–1962.

Woodward, D. e Wood, R. (2000), Bathymetry sediment thickness and crustal structure from satellite gravity data, *Exploration Geophysics* 31(2) 89 - 93 doi:10.1071/EG00089 .