



ESTRUTURA LITOSFÉRICA BASEADA NA ANOMALIA DE GEÓIDE, TOPOGRAFIA E ANÁLISE TÉRMICA: EMBASAMENTO ADJACENTE À BACIA SERGIPE-ALAGOAS, NE-BRASIL.

Das Flores, O. H. D. J¹ (DEG - UL, PPGeo - IGEO-UFBA); Dutra, A. C² (DFTMA - IF -UFBA)

¹*Departamento de Engenharia Geológica-Universidade Lúrio, Moçambique; Programa de pós-graduação em geofísica-Instituto de Geociência-Universidade Federal da Bahia, Brasil.*

²*Departamento de Física, Terra e Meio Ambiente, Instituto de Física, Universidade Federal da Bahia, Brasil.*

Copyright 2021, SBGf - Sociedade Brasileira de Geofísica

This paper was prepared for presentation during the 17th International Congress of the Brazilian Geophysical Society held in Rio de Janeiro, Brazil, 16-19 August 2021.

Contents of this paper were reviewed by the Technical Committee of the 17th 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

In this research work, we present a study that integrates geoid anomaly, topography and geothermal data to model the lithospheric structure in the basement region adjacent to the Sergipe-Alagoas Basin. The lithosphere modeling was performed in one-dimensional approach, considering the principle of local isostatic compensation, associated with temperature distribution equations in the crust. Therefore, we first deal with geoid and topography anomaly data by applying the low-pass filter in the frequency and harmonic domain to eliminate unwanted effects related to the sources. Finally, these data were used for modeling the crust and lithosphere by applying the equations of isostasis coupled with temperature distribution information. The results show a crust whose thickness varies from 36.0 to 38.4 km and lithosphere ranging from 190.0 to 202.5 km in the geotectonic domains that make up the basement adjacent to the Sergipe-Alagoas Basin, from north to south. The crust and lithosphere are thicker in the domains than in the coastal regions of the South Atlantic.

Introdução

Os métodos geofísicos potenciais, em especial a gravimetria combinada com a geotermia, desempenham um papel importante para investigar a estrutura interna da terra, além disso, fornecem modelos geodinâmicos que permitem explicar a sua evolução geotectônica. Outras informações relevantes sobre o comportamento

da estrutura interna da terra, em termos de densidade e geometria, podem ser obtidas através dos resultados da análise das velocidades das ondas sísmicas e resultados da tomografia sísmica.

A interpretação de dados gravimétricos são frequentemente utilizadas devido à sua eficiência para determinar a geometria da crosta, e é possível também fazer um mapeamento para obter diferentes informações sobre a distribuição de densidade na litosfera.

Além do exposto, esses dados geofísicos são utilizados também para determinar as profundidades da crosta e da litosfera, além de auxiliar no cálculo da rigidez da litosfera e do modelo de densidade no manto litosférico, principalmente quando existe a indisponibilidade de dados sísmicos.

Aqui apresentamos um estudo realizado com base nos dados de anomalia do geóide e de topografia combinada com uma análise térmica para determinar as espessuras da crosta e da litosfera nos diferentes domínios geotectônicos da região do embasamento adjacente à bacia Sergipe-Alagoas.

Localização da área de pesquisa

A bacia de Sergipe-Alagoas se localiza no nordeste brasileiro, nos estados de Sergipe e Alagoas. Este estudo foi realizado nos domínios geotectônicos resultados da colisão entre o maciço Pernambuco-Alagoas e o Cráton do São Francisco, e que constituem o embasamento adjacente à bacia de Sergipe-Alagoas (figura 1).

Das Flores, O. H. D. J.; Dutra, A. C

apresenta grau harmônico esférico e ordem igual 2190 (figura 5). Para evitar efeitos indesejáveis da altura geoidal ou seja, como forma de manter apenas a assinatura da distribuição de massa relacionada à estrutura litosférica, filtrou-se a anomalia do geóide, aplicando o filtro passa-baixa (low-pass) no domínio harmônico, para remover os coeficientes harmônicos até grau e ordem 10 (Jan Globig et al., 2019, Tunini et al., 2014), isto é, calculou-se a anomalia do geóide até o grau e ordem 10 que corresponde a anomalia regional e subtraiu-se ela da anomalia total para obter a anomalia residual (figura 6) ou seja: $N_{res} = N_t - N_{reg}$.

Onde: N_t é a anomalia de geóide total; N_{reg} é a anomalia do geóide regional; e N_{res} é a anomalia de geóide residual.

Os dados geotérmicos foram obtidos de campanhas terrestres do projeto Geoterm (IF-UFBA), da Rede Nacional de Gravimetria através do banco de dados da ANP (Petrobras e outras empresas petrolíferas) coadjuvado com informações da literatura.

A espessura da crosta e da litosfera foi calculada utilizando o método de Fullea et al. (2007). Esse método

A distribuição de densidade no manto litosférico é dependente da temperatura e aumenta linearmente com a profundidade e é calculada pela expressão abaixo:

$$\rho_m = \rho_a [1 - \alpha(T_a - T_m(z))]$$

Onde: α é o coeficiente de expansão térmica, T_a é a temperatura na profundidade do limite litosfera-astenosfera e $T_m(z)$ é a temperatura do manto litosférico em função da profundidade.

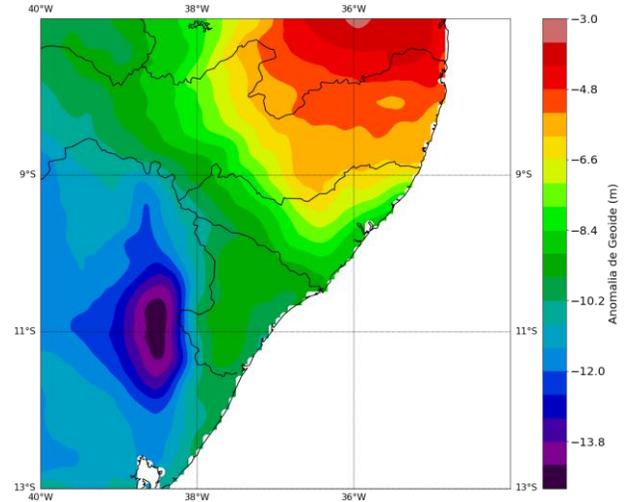


Figura 5: Mapa da anomalia do geóide de total.

. A anomalia de geóide é calculada, em relação ao nível de referência que depende da escolha de uma coluna de referência, aquela que permite obter as melhores espessuras crustais e litosféricas e também considerando a elevação igual a zero.

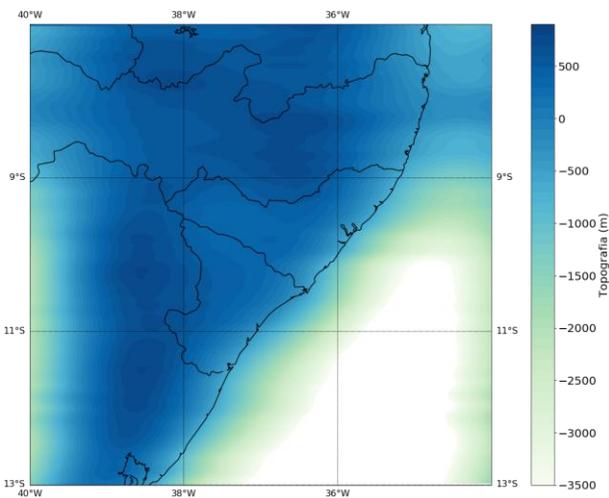


Figura 4: Mapa topografia filtrada (Regional).

considera o princípio de compensação isostática local abaixo do limite Litosfera-Astenosfera e também considera um modelo de quatro camadas constituído por crosta, manto litosférico, água do mar e astenosfera.

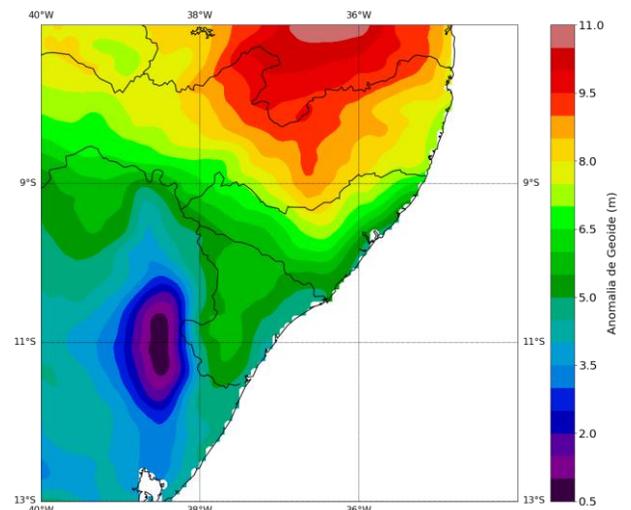


Figura 6: Mapa da anomalia de geóide residual.

Estrutura Litossférica baseada na Anomalia de Geóide, Topografia e Análise Térmica: Bacia Sergipe-Alagoas.

A equação da isostasia local combinada com informações térmicas utilizada para obtenção das profundidades da crosta (z_L) e da litosfera (z_L) é:

$$z_L(T_a k_m - \theta) + z_L \left(z_L(T_a(k_m - 2k_c) + 2\theta) - \delta + T_a - \frac{2k_c}{\rho_a \alpha} [(\rho_a - \rho_c)z_c] + n \right) + \left(z_c[\delta - T_a(z_c \Delta k + E k_m) - z_c \theta] - \frac{2}{\rho_a \alpha} [(z_c \Delta k + E k_m)(n + (\rho_a - \rho_c)z_c)] \right) = 0$$

$$n = -(\rho_a L_0 + E(\rho_c - \rho_w))$$

Onde: k_m e k_c são as condutividades térmicas da crosta e do manto; α é o coeficiente de expansão térmica, ρ_c , ρ_w , ρ_a são as densidades da crosta, água e da astenosfera (Para detalhes, Fullea et al. 2007).

Os parâmetros utilizados na modelagem estão descritos na tabela 1.

O valor da densidade média no manto litossférico foi calculado, utilizando a equação a seguir:

$$\bar{\rho}_m = \rho_a \left[1 - \frac{\alpha}{2} (T_a - T_{mh}) \right]$$

Onde: T_{mh} é a temperatura na base da crosta (moho)

Parâmetros	Símbolo	Valores
Densidade da crosta	ρ_c	2770 kg/m ³
Densidade da água	ρ_w	1030 kg/m ³
Densidade da astenosfera	ρ_a	3200 kg/m ³
Coeficiente de expansão térmica	α	3,5.10 ⁻⁵
Calor Radiogénico (Constante)	H_s	1,20 Wm ⁻³
Condutividade térmica da crosta	k_c	2,92 Wm ⁻¹ K
Condutividade térmica do manto	k_m	3,2 Wm ⁻¹ K ⁻¹
Temperatura na superfície	T_s	0 ^o C
Temperatura no LAB	T_a	1350 ^o C

Tabela 1: Parâmetros físicos utilizados na modelagem.

Resultados

Com os dados da anomalia do geóide e de topografia filtrados no domínio harmônico e de frequência, combinado com informações de geotérmicas permitiram estimar as profundidades da crosta, da litosfera e a densidade média no manto litossférico, para os diferentes

domínios geotectônicos do embasamento adjacente a Bacia Sergipe-Alagoas.

A figura 7 apresenta os resultados da modelagem para espessura da crosta, onde os valores mínimos são observados ao longo da zona costeira (Bacia Sergipe-Alagoas) do Atlântico Sul variando entre 30 à 35 km, e o valores máximo são observados na Bacia do Tucano onde a profundidade chega a atingir valores aproximadamente entre 39 a 40,2 km.

Nos domínios Poço Redondo, Marancó e Canindé as profundidades variam entre 37,8 a 39,0 km. No domínio Pernambuco-Alagoas (PEAL) a profundidade vai de 34,4 a 38,4 km. Nos domínios Macururé e Rio Coruripe as profundidades da interface crosta-manto vão de 37,2 à 37,8 km. Nos domínios Estância, Vaza-Barris e Salvador-Esplanada-Boquim essa profundidade varia entre 36,6 à 39,0 km.

Estudos realizados de modelagem e inversão de dados magnético e gravimétrico na mesma região indicam uma profundidade média da interface crosta-manto no domínio Pernambuco-Alagoas variando entre 37 à 39,2 km, no o domínio Rio Coruripe é de 34,0 à 37 km. Os domínios

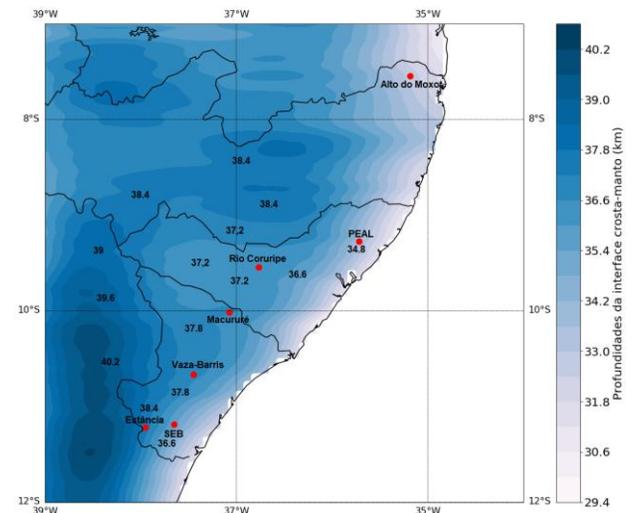


Figura 7: Mapa das profundidades da interface crosta-manto. Os pontos destacados no mapa são os pontos das estações sismológicas e sondagens de poço.

Macururé, Vaza-Barris e Estância apresentam uma profundidade variando entre 34,4 a 36,7 km (Dutra et al. 2019). A figura 8, mostra o mapa das profundidades do

Das Flores, O. H. D. J.; Dutra, A. C

limite litosfera-astenosfera (LAB) obtido pela modelagem, onde o nível de compensação está abaixo da profundidade do limite litosfera-astenosfera. De acordo com o mapa apresentado, os valores mínimos da espessura da litosfera também são observados ao longo da zona costeira variando entre 180 a 195 km e os valores máximos são observados na bacia do tucano nas regiões adjacentes à bacia ~225 km. Nas regiões do domínio Pernambuco - Alagoa a espessura da litosfera varia aproximadamente 192,5 à 202,5 km, nos domínios Rio Coruripe e Macururé a litosfera tem uma profundidade igual a 200,0 km, respectivamente. Nos domínios Vaza-Barris e Estância, a litosfera chega a atingir profundidades variando aproximadamente de 205,0-210,0 km. O Cinturão Salvador Esplanada Boquim chega a atingir uma profundidade máxima de aproximadamente 195,0 km.

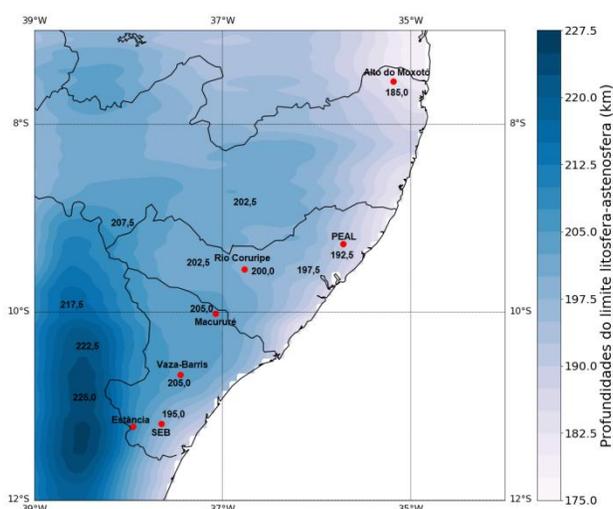


Figura 8: Mapa das profundidades do limite litosfera-astenosfera e os pontos destacados no mapa representam pontos das estações sismológicas e sondagens de poço.

Para avaliar a consistência estes resultados foram comparados com os valores obtidos da pelo projeto geoterm nos pontos indicados nos mapas das figuras 7 e 8, e também calculou-se o erro relativo para avaliar a discrepância e os resultados estão nas tabelas 2 e 3.

A figura 9 mostra o mapa de distribuição média da densidade no manto litosférico. Nele pode-se observar que a litosfera é mais densa ao longo da região costeira

com uma densidade máxima de aproximadamente igual a $3.252,0 \text{ kg/m}^3$, diferente quando adentra para os domínios onde se observa uma litosfera menos densa, com valores variando entre $3.247,2$ à $3.249,6 \text{ kg/m}^3$.

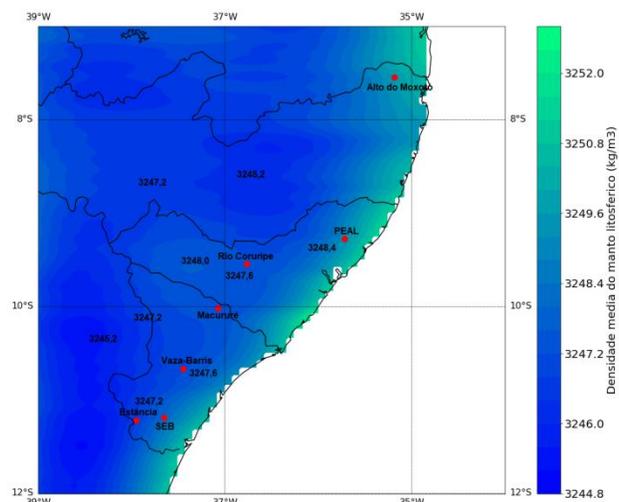


Figura 9: Mapa da distribuição média da densidade no manto litosférico e os pontos destacados no mapa representam pontos das estações sismológicas e sondagens de poço.

Domínio Geotectônico	Profundidades de Moho		
	Geotermia	Calculado	Erro relativo (%)
Alto do Moxotó			
Rio Coruripe	37,2	37,2	0
Vaza-Barris	37,2	37,8	1,6
Estância	34,6	38,4	10,9
Macururé	35,0	37,8	6,2
PEAL	35,3	34,8	1,4
SEB	34,4	36,6	6,3

Tabela 2: Comparação das profundidades da interface crosta-manto da geotermia e calculada, e seus respectivos erros relativos.

Domínio Geotectônico	Profundidades da Litosfera		
	Geotermia	Calculada	Erro relativo (%)
Alto do Moxotó	?	185	
Rio Coruripe	197,2	200,0	1,4
Vaza-Barris	186,3	205,0	10,0

Estrutura Litosférica baseada na Anomalia de Geóide, Topografia e Análise Térmica: Bacia Sergipe-Alagoas.

Estância	174,6	210,0	20,2
Macururé	?	205,0	
PEAL	205,3	192,5	6,2
SEB	213,6	195,0	0,88

Tabela 3: Comparação das profundidades da interface crosta-manto da geotermia e calculada, e seus respectivos erros relativos.

Conclusão

Apesar das várias complexidades nesta região, os resultados apresentados nos mapas da crosta e da litosfera obtidos pela integração de dados de anomalia do geóide e topografia combinado com análise térmica são satisfatórios, permitindo que fosse possível encontrar valores coerentes nos diferentes domínios geotectônicos da área de estudo.

Os resultados mostram uma crosta cujo espessura varia de 38,4 à 36,0 km e litosfera que vai de 202,5 a 190,0 km do norte a sul dos domínios geotectônicos que compõem a região do embasamento adjacente à Bacia Sergipe-Alagoas. A crosta e a litosfera mostram-se mais espessas nos domínios que nas regiões costeiras do Atlântico Sul.

Quando se observa a tabela de comparação das profundidades da litosfera obtida pela geotermia, observa-se a existência de alguns domínios sem informações das espessuras da crosta e da litosfera, como é o caso dos domínios Alto do Moxotó do estado de Pernambuco e Macururé. Portanto, com este estudo foi possível fazer um mapeamento dessas profundidades bem como a densidade média do manto litosférico nesses domínios.

Como sugestão, um estudo voltado para inversão conjunta 3D destes dados seria interessante para fazer um refinamento das informações obtidas.

Agradecimentos

Agradecemos ao Promob – Cenpes – Petrobras pelo apoio através do projeto Petrobras 0050.0082543.13-9 e

à CPRM, ANP e ICGEM pelos dados fornecidos, e a todos os pesquisadores contribuintes deste projeto.

References

DUTRA, Alanna Costa. Determinação da espessura da interface sedimento-embasamento da Bacia Sergipe Alagoas a partir da assinatura gravimétrica. *Revista de Geociências do Nordeste*, v. 3, n. 1, p. 28-47, 2017.

Fullea, J., et al. "A rapid method to map the crustal and lithospheric thickness using elevation, geoid anomaly and thermal analysis. Application to the Gibraltar Arc System, Atlas Mountains and adjacent zones." *Tectonophysics* 430.1-4 (2007): 97-117.

Globig, Jan, et al. "New insights into the crust and lithospheric mantle structure of Africa from elevation, geoid, and thermal analysis." *Journal of Geophysical Research: Solid Earth* 121.7 (2016): 5389-5424.

Sampaio, Mariana Rosário Conceição Sampaio. Interpretação e modelagem de dados geofísicos no embasamento adjacente à bacia de Sergipe-Alagoas. Trabalho de graduação. Universidade Federal da Bahia.

Tunini, L., Jiménez-Munt, I., Fernandez, M., Vergés, J., & Villasenor, A. (2014). Lithospheric mantle heterogeneities beneath the Zagros Mountains and the Iranian Plateau: a petrological-geophysical study. *Geophysical Journal International*, 200(1), 596-614.

Urchulutegui, Javier Fullea, Manel Fernández, and Hermann Zeyen. "Lithospheric structure in the Atlantic–Mediterranean transition zone (southern Spain, northern Morocco): a simple approach from regional elevation and geoid data." *Comptes Rendus Geoscience* 338.1-2 (2006): 140-151.