



Seção Gravimétrica Transversal à Província Borborema: Transecta 2 entre Anguera (BA) e Macau (RN)

João Marcelo Pinheiro, David Lopes de Castro, Rafael Saraiva Rodrigues – Programa de Pós-Graduação em Geodinâmica e Geofísica, UFRN
Reinhardt Adolfo Fuck – Universidade de Brasília

Copyright 2013, SBGf - Sociedade Brasileira de Geofísica

This paper was prepared for presentation during the 13th International Congress of the Brazilian Geophysical Society held in Rio de Janeiro, Brazil, August 26-29, 2013.

Contents of this paper were reviewed by the Technical Committee of the 13th 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

Since 2005, geophysical surveys have been carried out in the Precambrian Borborema Province, along two transects with 800 km long each one. A pool of public universities and institutions has been acquired deep refraction seismic, gravity and magnetotelluric, with the purpose to model the continental lithosphere of the region. This paper present the preliminar phase of the gravity survey, and the data already can show some thinning of the crust, and some structures caused by important tectonic events.

Introdução

A Província Borborema representa um importante conjunto geológico com uma complexa compartimentação tectônica e com um volume de estudos ainda insuficientes para sua total compreensão. Dessa forma, foi criado o Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia de Estudos Tectônicos (INCT-ET), no âmbito do Programa Institutos Nacionais de Ciência e Tecnologia do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), que tem como principal objetivo, detalhar as estruturas e limites tectônicos da Província Borborema. No âmbito do referido projeto, experimentos de geofísica profunda (refração sísmica, gravimetria e magnetotelúrico) e levantamentos geológicos vem sendo executados ao longo de duas seções transversais de cerca de 1.000 Km cada. A primeira transecta consiste em um perfil de direção NW-SE (Fig. 1), ao longo do qual foram realizados levantamentos de dados de refração sísmica, gravimétricos e magnetotelúricos, entre os municípios de Granja (CE) e Alcantil (PB).

O presente trabalho é dedicado ao levantamento gravimétrico da segunda transecta. O estágio atual desta pesquisa encontra-se na fase inicial de interpretação qualitativa dos dados.

Objetivos

O presente estudo tem como objetivo a aquisição, processamento e interpretação de dados gravimétricos, ao longo da Transecta 2, para que seja feita uma modelagem gravimétrica dos domínios crustais e suas relações tectônicas com o comportamento da interface crosta-manto.

Material e Métodos

Para a realização do levantamento gravimétrico, foi utilizado um gravímetro CG-5 da marca SCINTREX, e um GPS diferencial modelo 5700 da marca Trimble.

Estações de medidas foram estabelecidas com espaçamento de cerca de 2 Km entre cada uma, ao longo de um perfil SW-NE com cerca de 850 Km de extensão. Em cada um das estações, foram obtidos o valor do campo gravitacional e as coordenadas planialtimétricas. A utilização do GPS diferencial consistiu na instalação de um aparelho GPS fixo em uma estação de satélite do IBGE e outro aparelho em cada estação. O tempo de rastreamento de satélite no GPS móvel foi de 10 minutos. Já o levantamento gravimétrico foi realizado em circuitos fechados, com as leituras iniciais e finais de cada dia de levantamento estabelecidas em estações gravimétricas de 1^o ordem. As estações base tanto gravimétricas, como de GPS, devem ter um raio de alcance com no máximo 100 km, de forma que se não existir uma estação com dados já conhecidos, deve ser efetuada uma transferência de base, que no caso do gravímetro, consiste em abrir a leitura na base conhecida, realizar uma leitura na estação de transferência, voltar à estação base, efetuar a leitura, ir novamente na estação de transferência, e depois fechar a leitura na estação base. Já para transferir uma base de GPS, efetuou-se um rastreamento de 20 minutos na estação de transferência.

Para o processamento dos dados e criação de um banco de dados, foi usado *software Oasis Montaj* versão 7.0.1, no qual podem ser efetuadas as correções gravimétricas padrões.

Província Borborema

A Província Borborema (Fig. 2), localizada no nordeste do Brasil, possui cerca de 450.000 km² e tem o Cráton São Francisco como limite sul, e se estende até o Cráton São Luiz-Oeste África a norte. Ela está encoberta pelas rochas sedimentares fanerozóicas da Bacia do Parnaíba e a leste pelas bacias costeiras e de margem continental com idade mesocenozóica. Em escala global, as estruturas da Província Borborema podem ser correlacionadas com as faixas móveis africanas Trans-Saara, Nigéria e Oubanguides-África Central, hoje separadas pelo Oceano Atlântico em consequência da ruptura continental de Gondwana/Pangea a partir do Cretáceo (Trompette 1994, Arthaud *et al.* 2008, Van Schmus *et al.* 2008, Santos *et al.* 2008, Dada 2008).

Em seus domínios podem ser encontradas rochas de idade arqueana, porém predominam litologias com idades paleo a meso proterozóico, que são agrupadas nas subprovíncias setentrional, transversal e meridional, separadas pelos lineamentos Patos e Pernambuco (Van Schmus *et al.* 1995, Brito Neves *et al.* 2000). As subprovíncias são, por sua vez, divididas em domínios com diferentes características geológicas

e ainda com certas dúvidas sobre sua evolução e origem.

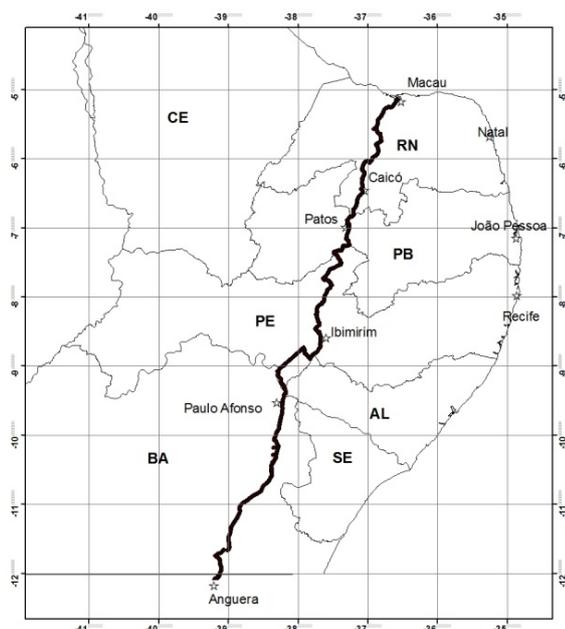


Figura 1: Mapa de localização das estações gravimétricas da Transecta 02.

Resultado e discussões

Ao todo 470 estações gravimétricas foram estabelecidas ao longo da Transecta 2. O perfil tem direção SW-NE e corta uma parte considerável da região nordeste, começando em Macau no Rio Grande do Norte e finalizando em Anguera na Bahia (fig.1), seccionando o domínio tectônico Rio Grande do Norte, os Terrenos Orogênicos mesoproterozóicos Alto Moxotó, Rio Capibaribe, Pernambuco-Alagoas e Canindé-Maracó, porção NE do Cráton São Francisco, as zonas de cisalhamentos Picuí-João Câmara, São Vicente, Serra da Jabitaca, Jatobá- Itaíba e Belo Monte- Jeremoabo, e os lineamentos Patos e Pernambuco (Fig. 2).

Com os dados obtidos foi construído um banco de dados, onde foram realizadas as correções de deriva do gravímetro, latitude, ar-livre e Bouguer. Ao longo da transecta, as anomalias Bouguer possuem picos em -156,2 e 25,5mGal. O perfil de anomalia residual foi obtido através da separação regional-residual, utilizando-se o método polinomial. A ordem do polinômio escolhido foi 4. As anomalias residuais variam entre -70,8 e 60,0 mGal (Fig. 3).

Já as anomalias regionais se diferenciam por um maior comprimento de onda e variação entre -88,0 e -16,5 mGal. É possível observar um suave decréscimo geral nos valores das anomalias à medida que se afasta da costa, referentes ao espessamento da crosta. No perfil podem ser identificadas feições regionais, como os principais domínios tectônicos e zonas de cisalhamento. O Domínio Rio Grande do Norte possui picos em 17,9 e 30,3 mGal, que é limitado pela Zona de cisalhamento Patos, que é representada no perfil por decréscimo mais abrupto de quase 15 mGal em menos de 5 km, onde começa a Zona Transversal, com valores de anomalias Bouguer variando entre -37,8 e -54,7 mGal, fazendo contato com a Bacia de Jatobá, identificada por um baixo gravimétrico de até -80,4

mGal (Fig. 3). O Domínio Meridional, que encontra-se entre as bacias de Jatobá e Tucano, e apresenta um aumento relativo nos valores das anomalias Bouguer, seguido novamente por um grande baixo gravimétrico de até -156,2 mGal, que corresponde à Bacia de Tucano. A Bacia de Tucano faz contato direto com o Cráton São Francisco o que, ao contrário do que se esperava, pois no Cráton devia haver um espessamento da crosta, gera um expressivo aumento nos valores das anomalias Bouguer.

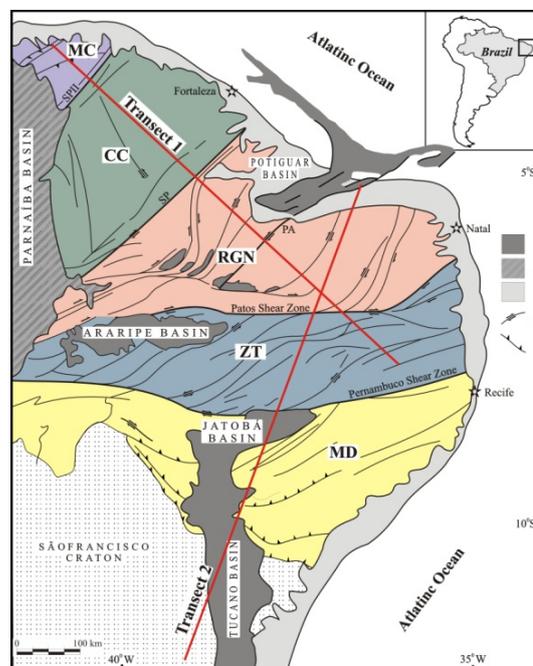


Figura 2: Domínios geotectônicos da Província Borborema. MC – Médio Coreau; CC – Ceará Central; RGN – Rio Grande do Norte; ZT – Zona Transversal; MD – Meridional. 1: Bacias Intracratônicas cretáceas; 2: Sedimentos Paleozóicos da bacia do Parnaíba; 3: Sedimentos costeiros; 4: Zonas de cisalhamento (PA – Portalegre, SP – Senador Pompeu, SP11 – Sobral-Pedro II); 5: Empurões (Modificado de Bizzi et al., 2003).

Modelagem Gravimétrica

Com base em variações sub-superficiais da densidade, técnicas de modelagem computacional permitem a transformação das anomalias gravimétricas, obtidas nas estações de medida em 10^{-5} m/s^2 ou mGal, em profundidades dos limites espaciais das fontes, revelando assim sua arquitetura interna (De Castro et al., 2005). Uma desvantagem dos métodos de interpretação quantitativa de dados gravimétricos, é a não unicidade, ou ambigüidade, das soluções possíveis para uma determinada anomalia. Este problema pode ser minimizado, utilizando-se de informações sobre características das fontes anômalas, obtidas a partir dos próprios dados gravimétricos através de procedimentos como análise espectral e Deconvolução de Euler (Fig. 4), bem como informações adicionais de outros métodos geofísicos, como a sísmica de refração, e do mapeamento geológico. As informações geológicas foram baseadas no mapa geológico regional da Província Borborema da CPRM de Bizzi et al. (2003), além de mapas de maior detalhe como o de Bertrani et al. (1990) na Bacia Potiguar, o de Brito Neves et al. (2005) na Zona Transversal, o de Jardim De Sá et al. (1992),

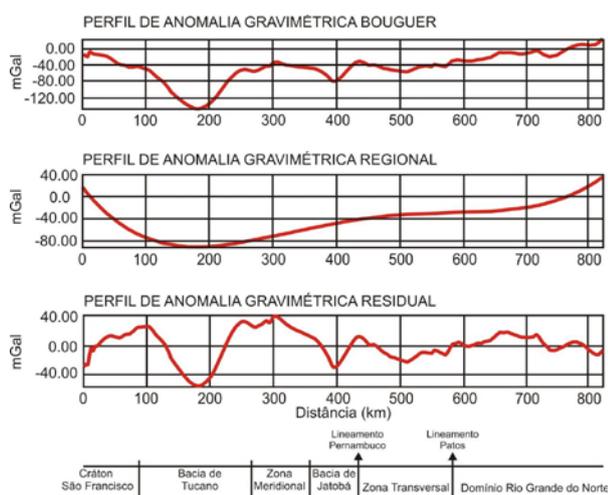


Figura 3: Anomalias gravimétricas da Transecta 02 entre Angüera (BA) e Macau (RN).

entre outros. As densidades das fontes gravimétricas, inseridas no modelo geofísico, foram obtidas em trabalhos clássicos, como Reynolds (1997) e Telford et al. (1998), e estudos gravimétricos na Província Borborema (Oliveira, 2008; Osako et al., 2011).

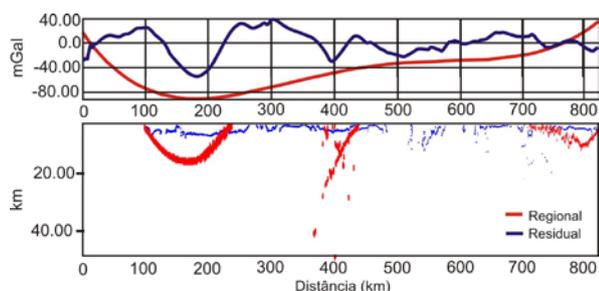


Figura 4: Deconvolução de Euler dos dados gravimétricos regionais e residuais da da Transecta 02 entre Angüera (BA) e Macau (RN).

A modelagem gravimétrica 2,5D da transecta foi efetuada através de métodos computacionais baseados no algoritmo de Talwani *et al.* (1959). Na modelagem da componente regional, foram interpretadas variações de profundidades na interface crosta-manto, que oscilaram entre 19 a 28 Km. A Zona Meridional é o domínio crustal mais espesso onde a profundidade da *Moho* chega a 28 km. No limite com a Zona Transversal, no Lineamento Pernambuco, a espessura crustal é de 24 km, a mesma de toda a porção da Zona Transversal até o Lineamento Patos. No Domínio Rio Grande do Norte, a espessura crustal é de 24 km até uma distância de 120 km da costa. A partir daí, em direção ao oceano a espessura diminui para 20 km (Fig. 5). É notável um afinamento da crosta em direção à margem continental no limite NE da transecta. A crosta localmente mais fina está associada ao rifteamento do período Neocomiano-Barremiano, evento de abertura do Atlântico e separação Brasil-África, ocasionando um estiramento seguido de ruptura crustal, evento classificado como parte de um Ciclo de Wilson clássico. De acordo com esse processo, esperava-se que o mesmo aconteceria na região da Bacia de Tucano, que tem sua geração em um processo de rifteamento Jurássico. No entanto, o que se observa através da modelagem gravimétrica 2,5D é

um espessamento da crosta na região (Fig. 5). Conforme modelos crustais prévios baseados em dados sísmicos e gravimétricos, tal espessamento relativo pode ser explicado por modelos de descolamento subhorizontal entre as crustas inferior dúctil e superior rúptil, deslocando os blocos falhados da crosta afinada pelo o processo de rifteamento.

Para a modelagem da componente residual, foram individualizadas fontes anômalas intracrustais, como unidades litoestratigráficas, corpos intrusivos e bacias sedimentares, assim como os limites dos principais blocos geotectônicos da Província Borborema. Como a componente residual reflete as fontes mais rasas, foram modelados apenas os primeiros 12 km da crosta, onde estima-se ser a profundidade média do embasamento gnáissico. A modelagem da componente residual teve um grande auxílio nas soluções da Deconvolução de Euler (Fig. 4), que facilitou a determinação dos limites entre os blocos geotectônicos da Província Borborema, bem como a forma e profundidade de grande parte das feições geológicas.

A modelagem gravimétrica do Cráton São Francisco não se apresentou como o esperado, que seria de uma crosta mais espessa do que a Província Borborema. Observa-se que os valores das anomalias aumentam na região do Cráton São Francisco, mesmo a componente regional. Acredita-se que possa um acréscimo relativo na densidade nas rochas compõem seu embasamento, por mais que a Descontinuidade Moho esteja mais profunda nesta região.

Na região do limite entre a Zona Meridional e Cráton, abaixo dos sedimentos da Bacia de Tucano, foi modelada uma rocha mais densa, provavelmente caracterizando a Faixa Sergipana que se assemelha a uma *nappe* empurrada sobre o Cráton São Francisco (Fig. 5).

Na Zona Meridional, encontram-se os grábens de Tucano e Jatobá, com coberturas sedimentares mesozóicas de até 7 Km de profundidade (Fig.5) corroborando levantamentos geofísicos prévios, envolvendo sísmica de reflexão e gravimetria. O limite entre a Zona Meridional e Transversal ocorre exatamente no Lineamento Pernambuco de idade Brasileira. Esta zona de cisalhamento possui uma expressiva concentração de soluções da Deconvolução de Euler, revelando uma importante descontinuidade lateral de densidade, com profundidades de cerca de 30 km (Fig. 4). O Lineamento Pernambuco é bem marcado por uma falha com mergulho de direção SW, que corta a crosta possivelmente até o manto litosférico.

Na Zona Transversal, as fontes modeladas representam uma intrusão leucogranítica/migmatítica Neoproterozóica da Suíte Riacho do Forno e rochas vulcânicas do Complexo São Caetano com cerca de 10 km de profundidade. No Terreno Alto Moxotó, foram modeladas fontes de até 10 km de profundidade (Fig. 5), provavelmente pertencentes às rochas Paleoproterozóicas do Complexo Sertânia e a rochas metavulcânicas do Terreno Riacho Gravatá. Entre os terrenos Alto Pajeú e Riacho Gravatá, foi identificada uma zona de cisalhamento bem marcada, caracterizando a Zona de Cisalhamento afogados da Ingazeira. Próximo ao Lineamento Patos, é encontrada uma pequena cobertura de sedimentar de cerca de 1,0 km de profundidade e 10km de extensão (Fig. 5), correspondente à Formação Olho D'Água do Terreno

Piancó-Alto Brígida. O Lineamento Patos, apesar de não muito expressivo, é facilmente observado por um gradiente nos valores localizado no limite entre a Zona Transversal e o Domínio Rio Grande do Norte

No Domínio Rio Grande do Norte, encontra-se o Terreno Granjeiro, que possui provavelmente a mesma espessura crustal que as unidades geológicas a sul da Zona de cisalhamento Patos. Encontram-se ortognaisses Proterozóicas dos complexos Caicó e São Vicente. Ainda neste domínio, foram modeladas também as intrusões graníticas da Suíte Poço da Cruz do Terreno Rio Piranhas, com cerca de 10 km e 5 km de extensão. Estes litotipos são representantes do embasamento paleoproterozóico, de idade pós-Brasiliana, deste domínio crustal. Na extremidade NE da transecta, onde observa-se a menor espessura crustal do perfil, encontra-se a Bacia Potiguar, onde são reconhecidos os grábens de Guimarães e do Umbuzeiro e a Plataforma de Touros. Esta última é uma plataforma marginal, cuja profundidade varia entre 1,0 e 0,5 km de espessura, e que ocorre por cerca de 50 km de extensão ao longo da transecta (Fig. 5).

Conclusão

O presente trabalho abordou a aquisição, processamento e interpretação de dados gravimétricos ao longo de uma transecta geofísica de 820 km de extensão, cruzando importantes domínios crustais e

feições estruturais da Província Borborema, assim como a zona de contato com o Cráton São Francisco. Em relação a levantamentos pretéritos, a principal contribuição desta pesquisa reside na modelagem gravimétrica 2,5D de detalhe ao longo da Transecta Angüera - Macau, vinculada a informações oriundas de análise do espectro de potência e soluções de Euler. O espaçamento entre as estações gravimétricas levantadas de 2,0 km permitiu um maior detalhe na interpretação, para que se determinasse a forma, tamanho e profundidade as feições geológicas mapeadas em superfície.

O modelo gravimétrico revela uma crosta parcialmente estirada na porção NE da Província Borborema, relacionada aos esforços distensionais mesozóicos que culminaram com a abertura do Atlântico Sul; um forte decaimento dos valores na Região da Bacia de Tucano, resultante da baixa densidade das rochas sedimentares pertencentes a tal bacia. O contato entre a Província Borborema e o Cráton São Francisco é marcado por um forte aumento de densidade no embasamento do Cráton, e é caracterizado por um empurrão da Província Borborema sobre o Cráton São Francisco. A feição estrutural melhor definida nesse trabalho foi o Lineamento Pernambuco, que representa uma zona de cisalhamento de idade Brasiliana, com reativações cretáceas associadas à ruptura entre os continentes sul-americano e africano e com prolongamento até o manto superior.

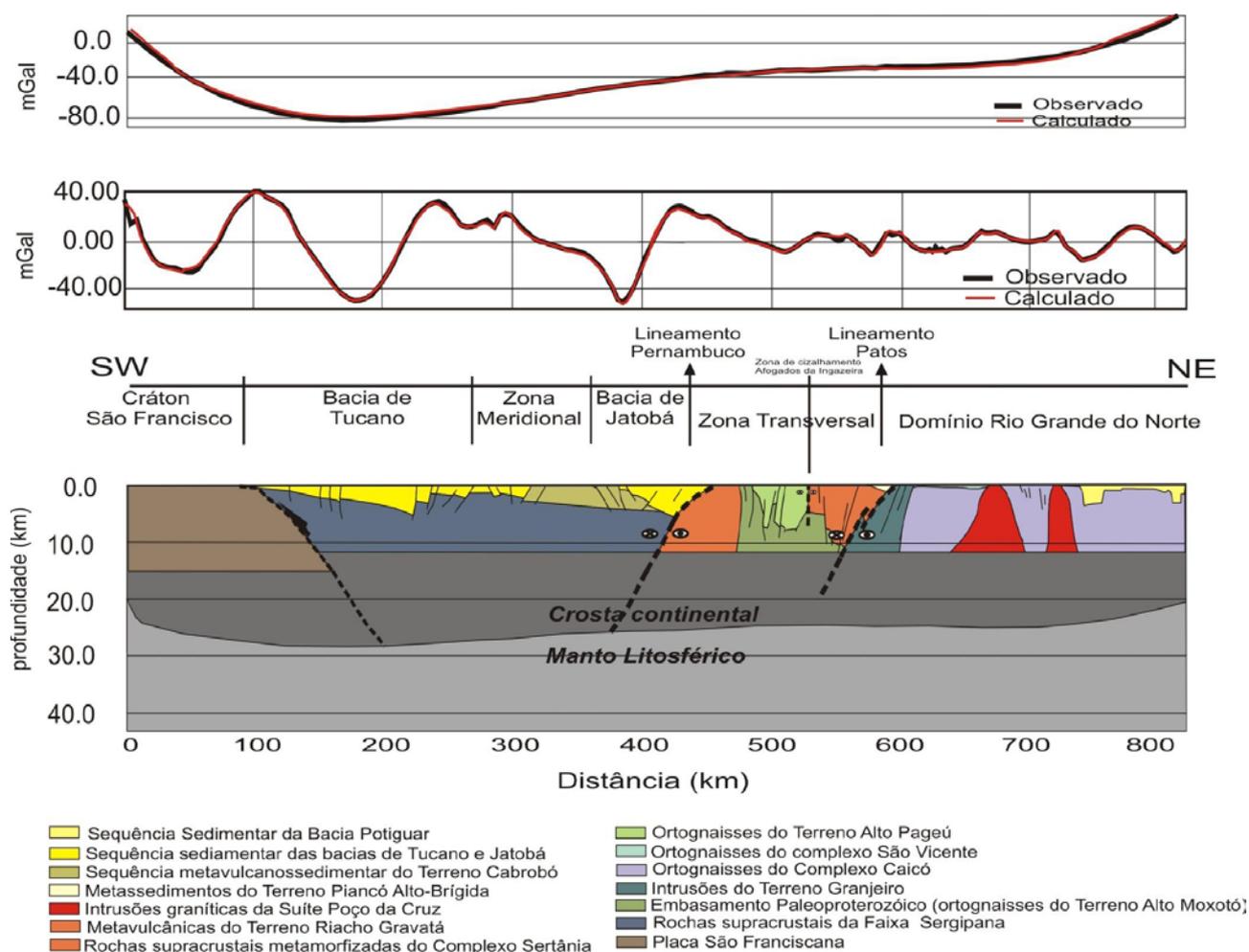


Figura 5: Modelagem gravimétrica 2,5D regional e residual da Transecta entre Angüera (BA) e Macau (RN).

Agradecimentos

Ao Projeto Institutos Nacionais de Ciências e Tecnologia em Estudos Tectônicos (INCT-ET / CNPq). À CAPES pelas bolsas de mestrado de JMP e RSR e ao CNPq pelas bolsas de produtividade de DLC e RAF.

Bibliografia

- ALMEIDA, F. F. M., HASUI, Y., NEVES, B. B. B., FUCK, R. A. - 1977 - Províncias Estruturais Brasileiras - Atas VIII Simp. Geol. Nordeste, Campina Grande, 363-391.
- ALMEIDA, F. F. M., HASUI, Y., NEVES, B. B. B., FUCK, R. A. - 1981 - Brazilian structural provinces: an introduction. *Earth Sciences Reviews*, 17: 1-29.
- ARTHAUD, M.H., CABY, R., FUCK, R.A., DANTAS, E.L., PARENTE, C.V. -2008- Geology of the northern Borborema Province, and its correlations with Nigeria, NW Africa. In Pankhurst, R.J., Trouw, R.A.J., Brito Neves, B.B., de Witt, M.J., West Gondwana, Pre-Cenozoic Correlations Across the South Atlantic Region. Geological Society, London, Special Publications, 294, pp.49-67.
- BIZZI LA, SCHOBENHAUS C, VIDOTTI RM & GONC.ALVES JH. 2003. Geologia, tectônica e recursos minerais do Brasil. Mapa Geológico 1:2.500.000. CPRM - Serviço Geológico do Brasil, 692 p.
- BRITO NEVES, B. B., SANTOS, E. J., VAN SCHMUS, W. R. - 2000 - Tectonic history of the Borborema Province, northeastern Brazil. In Cordani, U.G., Milani, E.J., Thomaz Filho, A., Campos, D.A. (Eds.) *Tectonic Evolution of South America*. Rio de Janeiro, 31 International Geological Congress, p.151-182.
- CASTRO, D.L.; MEDEIROS, W.E.; SÁ, E. F. JARDIM; MOREIRA, J.A.M.- 1998-. Gravity map of part of Northeast Brazil and adjacent continental margin and its interpretation based on the hypothesis of isostasy. *Revista Brasileira de Geofísica*, Rio de Janeiro - Brasil, v. 16, n. 2-3, 1998.
- DADA, S.S. -2008- Proterozoic evolution of the Nigeria-Borborema Province. In Pankhurst, R.J., Trouw, R.A.J., Brito Neves, B.B., de Witt, M.J. West Gondwana, Pre-Cenozoic Correlations Across the South Atlantic Region. Geological Society, London, Special Publications, 294, pp.121-136.
- GOMES, R.A.A.D. 1996, O novo mapa Bouguer do estado da Bahia In SBG, Congresso Brasileiro de Geologia, 39, Salvador. *Anais*, 423-424.
- LACERDA, C.M.M. 2000. Nd isotope evidence of basement contribution to the Genesis of Ambrosio dome, Itapicuru River greensotne belt- Bahia- Brazil In. International Geological congress, 31, Rio de Janeiro. *Abstracts volume*, CPRM, 1 CD- ROM.
- LUIZ, J.G.,1995. Geofísica de Prospecção, Vol. 1 p.115-201.
- MATOS, R.M.D. - 1992a - The Northeast Brazilian Rift System. *Tectonics*, 11: 766-791.
- MATOS, R.M.D. - 1992b - Deep seismic profiling, basin geometry and tectonic evolution of intracontinental rift basins in Brazil. Ph.D. Thesis, Cornell University, Ithaca, New York, 276 pp.
- OLIVEIRA, N.V., ENDO, I., OLIVEIRA,L.G.S. - 2005- Geometria do Sindinal Gandarela baseada na deconvolução Euler 2D e 3D - quadrilátero ferrífero (MG). *Revista Brasileira de Geofísica*, São Paulo, Brasil. vol.23 no.3 . 2005.
- OSAKO, S.L - 2009 - Investigação Gravimétrica da litosfera na porção setentrional do Nordeste do Brasil: Compartimentação Estrutural da Província Borborema. Tese de Mestrado. Universidade do Ceará p. 1- 33.
- SANTOS, R.A., MENEZES,F., N.R. SOUZA, J.D.. (orgs) 1988. *Carrira folha SC.24-Z-CIII, estado da Bahia*. Mapas, escala 1:100 000. Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil - PLGB. Brasília, CPRM, 156p.
- SANTOS, T.J.S., FETTER, A.H., NOGUEIRA NETO, J.A. -2008- In Pankhurst, R.J., Trouw, R.A.J., Brito Neves, B.B., de Witt, M.J. West Gondwana, Pre-Cenozoic Correlations Across the South Atlantic Region. Geological Society, London, Special Publications, 294, pp.101-119.
- SILVA FILHO, A.F., GUIMARÃES, I.P., SCHUMUS, W.R. 2002. Crustal evolution of the Pernambuco-Alagoas Complex, Borborema Province, NE Brazil: Nd Isotopic Data from Neoproterozoic Granitoids. *Gondwana Research*, 5 (2): 409-422.
- SILVA FILHO, M.A., BOMFIM, L.F.C., SANTOS, R.A., LEAL, R.A., SANTANA, A.C., BRAZ FILHO, P.A. 1977. *Projeto Baixo São Francisco/ Vaza Barris: Geologia da Geossinclinal Sergipana e do seu Embasamento*, Salvador, CPRM, Relatório Final, 19v.
- TROMPETTE, R, 1994, Geology of Western Gondwana (2000-500 Ma) Pan African-Brasiliano Aggregation of South America and Africa. AA Balkema Publishers, 350p.
- VAN SCHMUS, W. R.; BRITO NEVES, B. B.; HACKSPACHER, P. C. & BABINSKI, M. - 1995- U-Pb and Sm-Nd geochronologic studies of the eastern Borborema Province, Northeastern Brazil: initial conclusions. *Journal of South American Earth Sciences*. vol 8; 3/4; p.267-288.
- VAN SCHMUS, W. R., OLIVEIRA, E.P., SILVA FILHO, A.F., TOTEU, S.F., PENAYE, J., GUIMARÃES, I.P. - 2008- Proterozoic links between the Borborema Province, NE Brazil, and the Central African Fold Belt. In Pankhurst, R.J., Trouw, R.A.J., Brito Neves, B.B., de Witt, M.J., West Gondwana, Pre-Cenozoic Correlations Across the South Atlantic Region. Geological Society, London, Special Publications, 294, pp.69-9