

Análise morfoestrutural na região da bacia de Pelotas a partir do emprego de mapas de anomalia Bouguer e perfis gravimétricos

RESUMO

Dados gravimétricos, inclusive aqueles advindos de missões satelitais, são uma grande ferramenta nos estudos regionais para áreas que envolvam aplicações geológicas e mesmo oceanográficas, pois auxiliam em estudos sobre a caracterização, evolução e o comportamento da crosta terrestre, tanto para áreas continentais como oceânicas. Dados de gravimetria foram usados como subsídio à análise morfoestrutural na região da Bacia de Pelotas-RS. Foi adotado o modelo geopotencial EGM2008 através das anomalias Bouguer, que possibilitou a elaboração de mapas e perfis gravimétricos. Através da análise dos mapas de anomalias Bouguer e perfis gravimétricos gerados, verificou-se que as anomalias Bouguer aumentam positivamente da costa em direção às maiores profundidades oceânicas, o que caracteriza um progressivo afinamento crustal associado à deriva continental. O comportamento das anomalias Bouguer evidenciou a presença de uma ruptura conhecida como Charneira Albo-aptiana ou Falha de Rio Grande na plataforma continental. A incidência de valores de anomalias significativamente positivas na região do Baixo de Mostardas sugere a presença de uma massa de maior densidade nesta região. A resolução dos dados gravimétricos utilizados neste estudo não permitiu evidenciar a presença de paleocanais na região, sendo necessária uma maior resolução espacial, associada a outros métodos de investigação.

PALAVRAS-CHAVE: Análise morfoestrutural. Anomalia Bouguer. Perfis gravimétricos.

Gilberto Gagg

gilberto.gagg@ufrgs.br

orcid.org/0000-0003-0641-8363

Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Instituto de Geociências, Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil.

Sérgio Florêncio de Souza

sergio.florencio@ufrgs.br

orcid.org/0000-0002-4720-6714

Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Instituto de Geociências, Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil.

INTRODUÇÃO

Devido à intensificação de atividades humanas em regiões costeiras, dentre elas a prospecção de recursos minerais, proceder ao estudo e análise da subsuperfície de áreas submersas rasas tem adquirido importância cada vez mais relevante nas últimas décadas.

Além disso, análises morfoestruturais baseadas em dados de gravimetria da plataforma continental para certa região possibilitam a caracterização da mesma, bem como podem revelar indícios de como foi sua evolução. Considerando-se a determinação da gravidade, a mesma é fundamental na obtenção de anomalias da gravidade, estudos oceanográficos, modelagem geofísica, prospecção geológica, cálculo dos modelos geoidais, estudos sobre espessura crustal, etc. (GAGG; SOUZA, 2017).

O conhecimento do campo de gravidade é importante nos estudos da forma da Terra, posicionamento GNSS (*Global Navigation Satellite System*), busca por hidrocarbonetos e minerais, presença de crateras nos corpos do sistema solar, etc.

O campo de gravidade é influenciado pela constituição geológica, pois a densidade das rochas é a componente geológica que gera pequenas variações nos valores de gravidade, associada à dimensão e profundidade de sua ocorrência. Nas proximidades de regiões litorâneas, o conhecimento da geologia da costa é essencial na compreensão da morfologia, estrutura e distribuição dos sedimentos da parte submersa.

Nos mapeamentos de subsuperfície visando interpretações de cunho geológico, densidades diferentes são evidenciadas no estudo gravimétrico através de distorções no campo de gravidade, que nada mais são que anomalias gravimétricas devidas às variações laterais de densidade. Estas variações evidenciam as estruturas geológicas do local e também os corpos rochosos ou depósitos minerais presentes. Santos et al. (2015) empregaram mapas de anomalia da gravidade correlacionados a mapas do relevo marinho e de geologia, de uma área situada na Bacia de Campos-RJ, o que possibilitou a identificação da Província de Diápiros de Sal formada por materiais de baixa densidade, evidenciada por uma forte e negativa anomalia da gravidade. Moro (2017) empregou dados gravimétricos, geomagnéticos e geológicos para estimar a profundidade do pacote sedimentar e do embasamento em áreas não expostas e fontes magnéticas associadas a estruturas tectônicas na região da bacia-rifte Araí (estados de Goiás e Tocantins), recorrendo a mapas do campo magnético anômalo e análise dos valores da anomalia Bouguer. Montanheiro (2015) recorreu a modelos gravimétricos aliados aos dados de reconhecimento geológico/estrutural na região de Laranjal Paulista-SP que constataram uma anomalia gravimétrica positiva de fechamento aparentemente circular, evidenciando a existência de um alto estrutural delimitado por lineamentos tectônicos no embasamento.

A porção sul do Oceano Atlântico carece de dados oceanográficos “in situ”. Neste sentido, dados obtidos a partir de missões por satélite, como por exemplo, dados gravimétricos da missão GRACE (*Gravity Recovery and Climate Experiment*), que apresentam boa resolução espacial e temporal podem ser usados para diversos estudos. Dentre as anomalias gravimétricas, a análise do comportamento da anomalia *Bouguer* constitui ferramenta importante para evidenciar

características geológicas de uma região, sendo representativa de variações de densidade e da espessura crustal.

Dentre os objetivos deste estudo consta a avaliação do uso de dados gravimétricos obtidos com uso do modelo EGM2008 (*Earth Gravitational Model 2008*) na evidencição de feições geológicas importantes, entre elas as falhas geológicas, caracterização da espessura da crosta, e determinação do comportamento gravimétrico através da geração de mapas de anomalias *Bouguer* e de perfis gravimétricos de linhas definidas na área de estudo, com ênfase na porção oceânica.

DEFINIÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

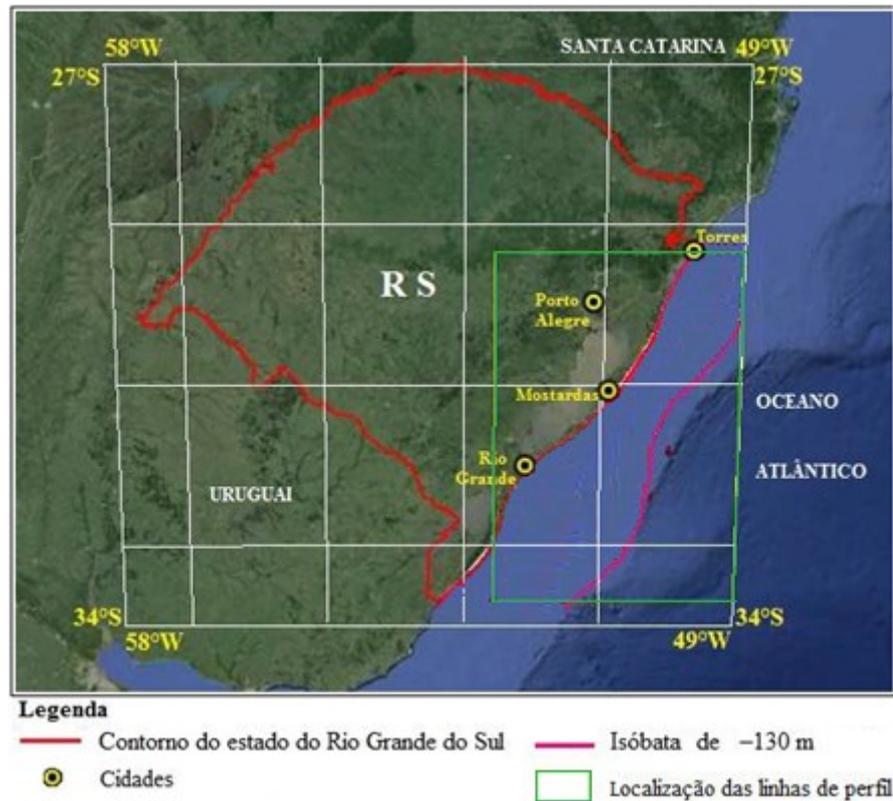
A bacia sedimentar de Pelotas é uma bacia marginal do tipo aberta, situada no extremo sul da margem continental brasileira, tendo uma área em território brasileiro de cerca de 210.000 km², até a lâmina d'água de 2.000 m. No Brasil, tem como limite ao norte, o Alto de Florianópolis, que a separa da bacia de Santos, indo até a divisa ao sul com o Uruguai. A espessura sedimentar na Bacia de Pelotas pode atingir mais de 9.000 m.

A evolução tectonoestratigráfica apresentada por Bueno et al. (2007), indica que a Bacia de Pelotas começou sua evolução como bacia de rifte intracontinental, evoluindo para bacia de margem continental passiva, sendo que parte da fase rifte foi preenchida por sequências vulcânicas. O rifteamento que originou a formação da Bacia de Pelotas está vinculado ao processo de ruptura do Gondwana, e ocorreu anteriormente às demais bacias da Margem Leste Brasileira. Portanto, essa sequência caracteriza a Bacia de Pelotas como uma típica bacia de margem passiva vulcânica, com grande influência magmática.

A área estudada está inserida na planície costeira e plataforma continental adjacente do estado do Rio Grande do Sul. Esta área é definida pelo polígono situado entre as latitudes 27°S e 34°S, e longitudes 49°W e 58°W, a qual recobre todo o estado do Rio Grande do Sul, na qual a área principal de estudo está inclusa (Figura 1). Foram extraídos funcionais do campo da gravidade por meio do emprego de um modelo global do geopotencial, no caso EGM2008. Definiu-se uma grade de pontos a cada 5' (em torno de 9 km), diretamente vinculada à resolução espacial do EGM2008, na extração dos dados gravimétricos.

As diversas linhas de perfil geradas neste estudo para análise gravimétrica a partir da anomalia Bouguer situam-se na área compreendida entre a cidade de Torres e a latitude 33°45'S e as longitudes 49°W e 52°30'W, compreendendo porções continental e oceânica. A isóbata de -130 m encontra-se nas proximidades do limite entre a plataforma continental e o talude. Nessa região, a largura da plataforma continental não é homogênea ao longo da costa, sendo mais estreita em Torres, alarga-se até 160 km da costa em Tramandaí, estreita-se até Mostardas aonde chega a 100 km. De Mostardas a Rio Grande chega a ter 190 km de largura, e volta a ter estreitamento em direção ao sul, com 150 km. Já a Planície Costeira do Rio Grande do Sul é um dos mais amplos registros sedimentares quaternários do Brasil. A evolução desta planície costeira foi marcada pela recorrência de períodos de elevação e rebaixamento do nível do mar, que desenvolveram sistemas deposicionais do tipo laguna-barreira (VILLWOCK; TOMAZELLI, 1995).

Figura 1 – Área de estudo



Fonte: Adaptado de Gagg (2014).

FUNDAMENTOS TEÓRICOS

O valor 'g' da força da gravidade na superfície terrestre varia com a posição geográfica do ponto. Um corpo em rotação com a Terra experimenta a força gravitacional das massas da Terra e de outros corpos celestes (F), bem como a força centrífuga (C) em virtude da rotação da Terra. A resultante dessas forças é a força da gravidade (TORGE, 2001), dada pela Equação 1:

$$g = F + C \quad (1)$$

De acordo com a Teoria do Potencial, a qual é utilizada no estudo da estrutura do campo da gravidade e suas influências na definição da forma da Terra, pode-se escrever a Equação 2, onde W é o potencial da gravidade ou geopotencial:

$$g = \text{grad } V + \text{grad } \phi = \text{grad } W \quad (2)$$

O geopotencial W é composto pelo potencial de atração (V) e pelo potencial centrífugo (ϕ). Sua relação com o vetor gravidade se dá pelo operador matemático gradiente (grad).

O conhecimento do campo de gravidade terrestre permite modelar a distribuição de massa e o efeito de rotação terrestre, e desta forma deduzir a forma do planeta Terra. Uma das formas adotadas para a Terra é o geóide, o qual é muito semelhante ao elipsoide de revolução ou Terra normal. Considerando a forma, a diferença entre geóide e elipsoide consiste na ondulação geoidal N

medida ao longo da normal ao elipsoide; em termos de potencial, essa diferença consiste no potencial perturbador (T) (BLITZKOW;CAMPOS;FREITAS, 2004).

O potencial perturbador, também chamado potencial anômalo (T), resulta da pequena diferença entre o geopotencial (potencial de gravidade da Terra real W) e o esferopotencial (potencial de gravidade da Terra teórica ou Terra normal U), apresentado na Equação 3:

$$T = W - U \quad (3)$$

Na teoria do Potencial, a determinação do potencial perturbador se relaciona com o chamado Problema de Hilbert, uma vez que a anomalia da gravidade observada geralmente sobre a superfície física, é uma combinação linear do potencial perturbador com sua derivada normal (BLITZKOW; CAMPOS; FREITAS, 2004).

O potencial perturbador é uma função harmônica externamente à superfície da Terra, e pode ser desenvolvido em série de harmônicos esféricos. Através do potencial perturbador T pode-se proceder a modelagem matemática do campo de gravidade terrestre. Segundo Barthelmes (2013), o potencial perturbador expresso em série de funções harmônicas esféricas é apresentado na Equação 4:

$$T(r, \lambda, \phi) = \frac{GM}{r} \sum_{n=0}^{\infty} \left(\frac{R}{r}\right)^n \sum_{m=0}^n \bar{P}_{nm} \sin(\phi) \left(\bar{C}_{nm}^T \cos m\lambda + \bar{S}_{nm}^T \sin m\lambda \right) \quad (4)$$

Considerando a Equação 4, (r, λ, ϕ) são as coordenadas geocêntricas esféricas do ponto; GM é o produto da constante gravitacional G pela massa da Terra M; R corresponde ao raio da Terra; n, m são grau e ordem dos harmônicos esféricos; \bar{P}_{nm} são funções de Legendre plenamente normalizadas; $\bar{C}_{nm}^T, \bar{S}_{nm}^T$ são os coeficientes de Stokes plenamente normalizados (BARTHELMES, 2013).

O campo de gravidade é um tipo de campo potencial, que é influenciado por vários parâmetros, entre eles a constituição geológica. Quando são efetuadas reduções matemáticas com o propósito de eliminar a influência de fatores que interferem no campo de gravidade, entre eles a diferença de altitude entre o ponto de observação e o nível médio do mar e o efeito gravitacional de massas rochosas existentes entre o ponto de medida e o nível médio do mar, resta um valor denominado anomalia de *Bouguer*, que reflete fundamentalmente a influência da geologia.

ANOMALIA GRAVIMÉTRICA

Uma anomalia gravimétrica consiste na diferença entre a aceleração da gravidade g, a qual foi obtida por medição na superfície terrestre ou próxima a ela (aerogravimetria, por exemplo), corrigida da topografia e de variações periódicas (conhecida como redução ao geoide), e a aceleração da gravidade no modelo (mais especificamente o elipsoide). É variável conforme a latitude, altitude e natureza geológica do local de medição, sendo tanto maior quanto maior a densidade dos materiais. Assim, as anomalias são resultantes dos contrastes de densidade que ocorrem na superfície abaixo dos pontos medidos.

A gravidade medida na superfície física da Terra é designada por g , a gravidade reduzida ao geóide por g_0 e a gravidade teórica (gravidade normal no elipsoide) por γ . Assim, a anomalia da gravidade (Δg) é dada pela Equação 5:

$$\Delta g = g_0 - \gamma \quad (5)$$

Após a aplicação da correção ar-livre que elimina o efeito gravitacional devido à altitude do ponto de observação (anomalia ao nível do geóide) e a remoção completa das massas topográficas (massas fora do geóide), ou seja, remove o efeito gravitacional das rochas existentes entre o ponto de observação e o nível de referência, pode-se expressar a anomalia *Bouguer* (Δg_B) pela Equação 6, onde H é a altitude ortométrica (em relação ao geóide):

$$\Delta g_B = g + 0,1967H - \gamma \quad (6)$$

A análise das anomalias gravimétricas traz indícios sobre a crosta terrestre. O valor da gravidade real em uma dada região diferente do valor previsto por um modelo teórico indica a presença de uma anomalia gravimétrica, ou seja, sugere a ocorrência de um material de densidade diferente que a média adotada no modelo. Por exemplo, densidade maior que a densidade média pode indicar uma jazida de minério de ferro; já uma densidade inferior pode ser a presença de um domo salino (IAG, 2018).

As anomalias *Bouguer* são resultado da superposição de diferentes distribuições de massa a diferentes profundidades. Com respeito aos sinais da anomalia *Bouguer*, quando estas resultarem negativas significa indicativo de deficiência de massa, ou seja, densidade mais baixa que a média; já anomalias *Bouguer* positivas indicam excesso de massa (densidade mais alta que a média).

O conhecimento do campo da gravidade tem sido aprimorado com o emprego de medidas feitas a partir de satélites artificiais. Com a melhora na resolução dos modelos geopotenciais, pode-se ter mais precisão na modelagem do campo da gravidade terrestre, potencializando sua aplicação na determinação das dimensões e forma da Terra e compreensão sobre seu comportamento dinâmico. Para áreas carentes de informações gravimétricas, ou quando comparados a dados obtidos a partir de navios, os dados obtidos de satélites para estudo do campo da gravidade, caso da missão GRACE, permitem um grande avanço. Quando se consideram dados de gravimetria marinhos obtidos a partir de embarcações, as principais fontes de erros nestes dados estão vinculadas a problemas instrumentais, deficiência na definição das linhas de coleta de dados com a embarcação, posicionamento incorreto do navio e a não distribuição homogênea dos dados.

O uso de modelos gravitacionais como o EGM2008 (*Earth Gravitational Model of 2008*) (PAVLIS et al., 2012) possibilita a obtenção de informações referentes ao geóide, campo de gravidade, etc. Foram desenvolvidos vários modelos gravitacionais para a Terra, sendo que o EGM2008 é um modelo combinado, pois na sua concepção foram usados dados de rastreamento de satélite, dados de gravimetria e dados de altimetria, e também provenientes de bancos de dados globais, compilados pela *National Geospatial-Intelligence Agency* (NGA). O principal produto do modelo EGM2008 é um conjunto de coeficientes desenvolvido em série de funções harmônicas esféricas estimados, de grau 2190 e ordem 2159, a partir dos quais se podem calcular os valores de vários funcionais do potencial

gravitacional como anomalias da gravidade, anomalias de altura, desvios da vertical, etc., usando a síntese harmônica. A resolução espacial do EGM2008 é de aproximadamente 9 km para o campo de gravidade em caráter global (ICGEM, 2013).

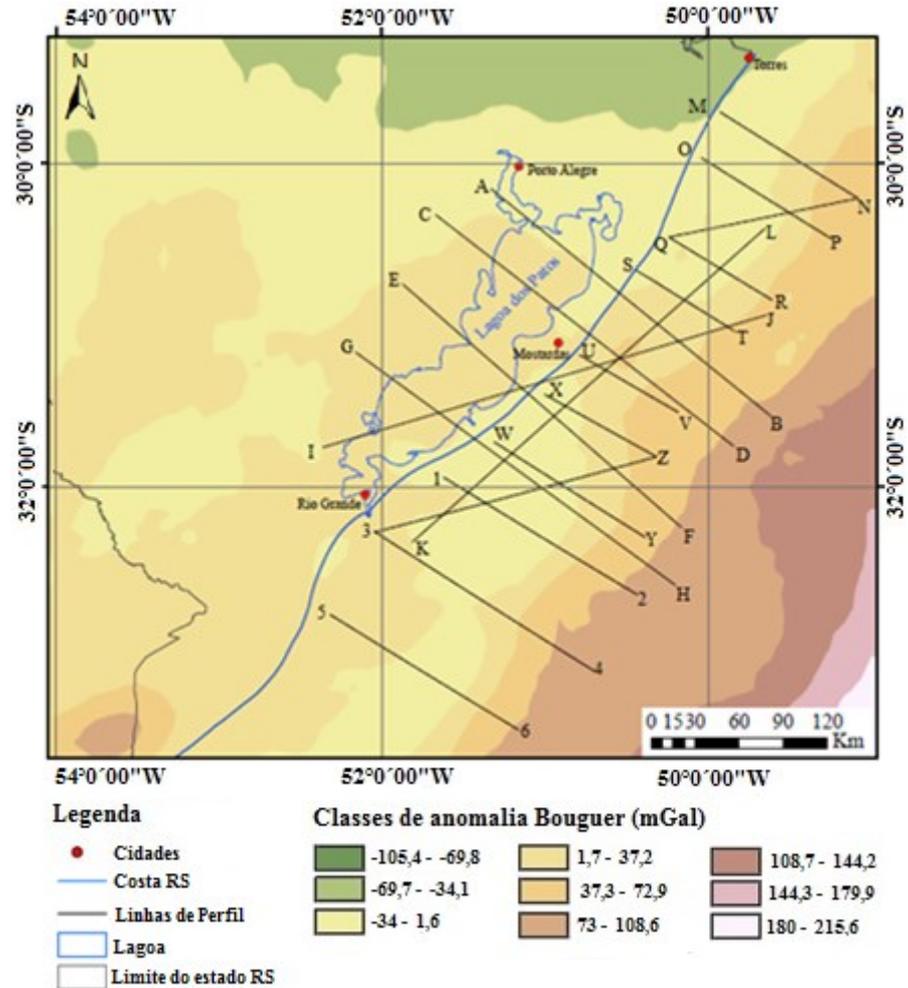
O sistema de referência empregado é o GRS-80 (*Geodetic Reference System of 1980*) e optou-se pelo EGM2008, por ser um dos modelos do geopotencial mais usados pela comunidade científica na época deste estudo, sendo que testes preliminares utilizando outros modelos (EIGEN6C, EIGEN6S) não apresentaram diferenças significativas, embora estes modelos citados tenham resolução e fonte de dados diferentes do EGM2008. Além de dados da missão GRACE, pode-se usar modelos do geopotencial (por ex. EIGEN6C4, GOCO05C) gerados com dados da missão GOCE (*Gravity Field steady-state Ocean Circulation Explorer*), que são mais recentes e que podem conduzir a resultados de alta precisão, proposta esta que pode ser empregada em futuros estudos.

GERAÇÃO DE MAPAS DE ANOMALIA BOUGUER E PERFIS GRAVIMÉTRICOS

Neste estudo, foram usados dados gravimétricos do modelo EGM2008, mais especificamente dados de anomalia *Bouguer*, disponibilizados gratuitamente em ICGEM (2013). O ICGEM - *International Centre for Global Earth Models* é um dos serviços integrantes da *International Association of Geodesy* (IAG) coordenados pelo *International Gravity Field Service* (IGFS), que disponibiliza informações sobre o campo de gravidade global da Terra. Após a inserção das coordenadas do polígono de interesse, obtém-se um arquivo que contém as latitudes, longitudes e a anomalia *Bouguer* dos pontos contidos na região de estudo, na forma de uma grade regular de valores com espaçamento de 9 km.

Posteriormente, a informação foi retrabalhada no *software* ArcGis da ESRI, usando o método de interpolação por krigagem, gerando-se nove classes distintas de anomalia *Bouguer* com intervalos iguais, conforme Figura 2.

Figura 2 – Anomalia Bouguer e linhas de perfil

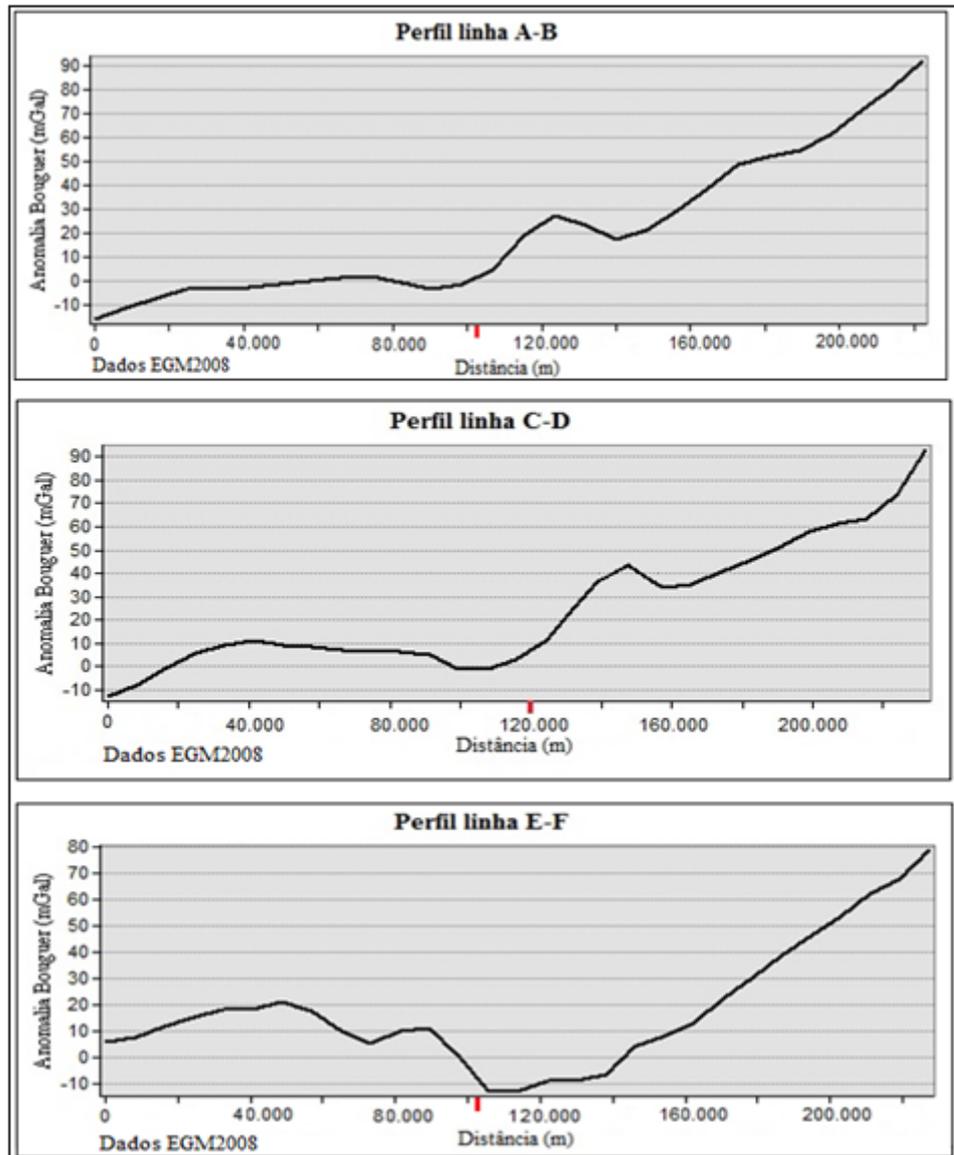


Fonte: Adaptado de Gagg (2014).

Quanto ao comportamento da anomalia *Bouguer* na região oceânica, constata-se pela Figura 2, que salvo poucas exceções, as mesmas aumentam positivamente com o aumento da profundidade. Na faixa de estudo nota-se que na região de Mostardas, a anomalia positiva se estende do continente para o oceano.

A ênfase do estudo para geração dos perfis gravimétricos a partir dos mapas de anomalia *Bouguer* é para a região costeira compreendida entre as latitudes 29°S e 33°45'S e longitudes 49°W e 52°30'W. Assim, optou-se por distribuir as linhas de perfil ao longo da região de estudo de forma a abranger toda a área, na sua maioria partindo do continente e adentrando no oceano para se tentar visualizar o contraste das duas realidades, além de linhas de posição aleatória, mas totalmente posicionadas na porção oceânica. Os perfis foram gerados e editados com recursos do ArcGis, módulo 3DAnalyst e apresentam a anomalia *Bouguer* espaçada de 10 em 10 mGal no eixo vertical, e a distância da linha de perfil (m) no eixo horizontal. A marca em destaque vermelho que aparece no eixo horizontal dos perfis indica a posição da linha de costa do RS. Os perfis das linhas que partem do continente até o oceano são apresentados nas Figuras 3 e 4.

Figura 3 – Perfil gravimétrico das linhas A-B, C-D e E-F

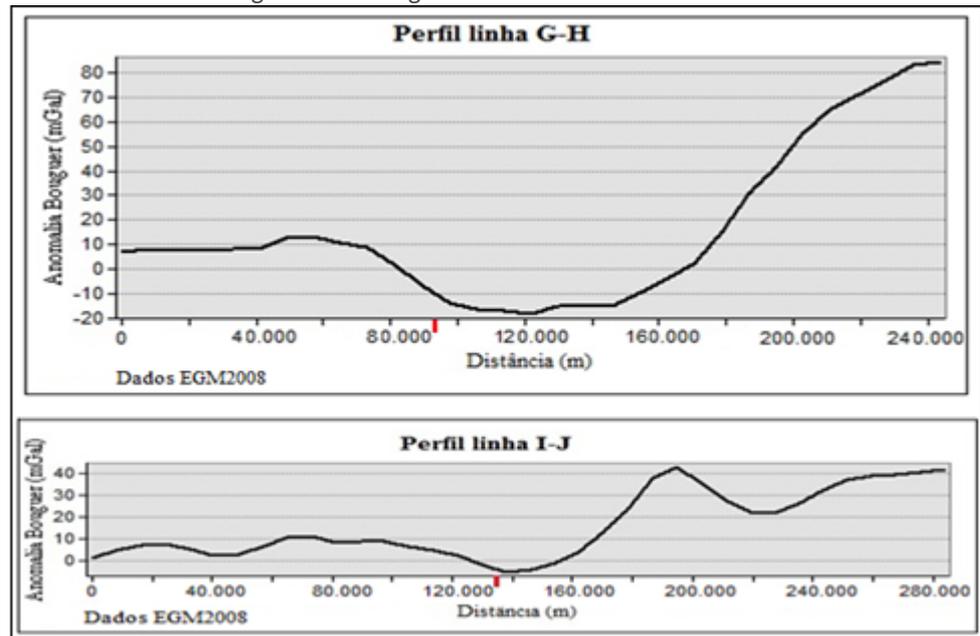


Fonte: Adaptado de Gagg (2014).

O perfil da linha A-B apresenta anomalia *Bouguer* levemente negativa ou nula na porção continental; na porção oceânica, a anomalia cresce positivamente até 90 mGal, sendo que logo após a costa apresenta um pico isolado de anomalia (quase 30 mGal), provavelmente pela proximidade com o Baixo de Mostardas.

Na porção continental do perfil da linha C-D há um comportamento constante da anomalia, ao passo que no oceano aumenta acentuadamente de 0 a +90 mGal na medida em que se afasta da costa. Esta linha atravessa a região do Baixo de Mostardas, o que é evidenciado por um pico saliente (em torno de 40 mGal), a quase 30 km da costa, indicada pela marca em destaque vermelho. No perfil da linha E-F, a anomalia *Bouguer* cresce positivamente na porção oceânica, como nas linhas anteriores, o mesmo se verificando no perfil da linha G-H.

Figura 4 – Perfil gravimétrico das linhas G-H e I-J



Fonte: Adaptado de Gagg (2014).

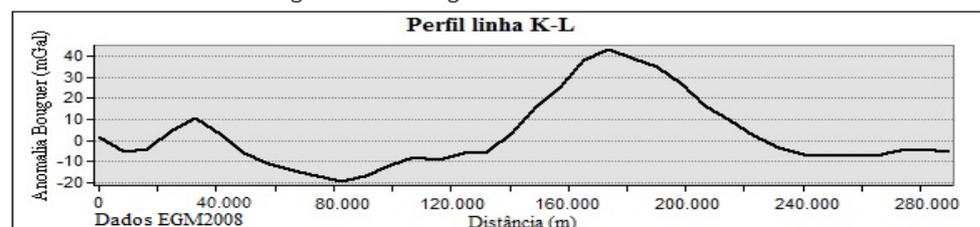
A parte final das linhas A-B, C-D, E-F e G-H situa-se além da isóbata -130 m, já na região do talude continental, onde a declividade tem aumento acentuado. Nestes extremos, as anomalias *Bouguer* apresentam um gradual aumento positivo, sem alguma alteração significativa em particular.

A porção continental da linha I-J apresenta anomalias *Bouguer* de 0 até +10 mGal; já para a porção oceânica, a anomalia aumenta de forma não acentuada, embora a região do Baixo de Mostardas fique evidenciada a cerca de 60 km da costa, pela ocorrência de uma anomalia *Bouguer* um pouco maior que 40 mGal.

Nos perfis das linhas C-D, I-J é perceptível uma alteração no comportamento da anomalia *Bouguer*, que apresenta um pico acentuado positivo no valor da anomalia (em torno de 40 mGal) na região do Baixo de Mostardas, evidenciando a presença do mesmo.

A seguir são apresentados (Figuras 5, 6, 7, 8 e 9) os perfis das linhas situadas completamente em área oceânica.

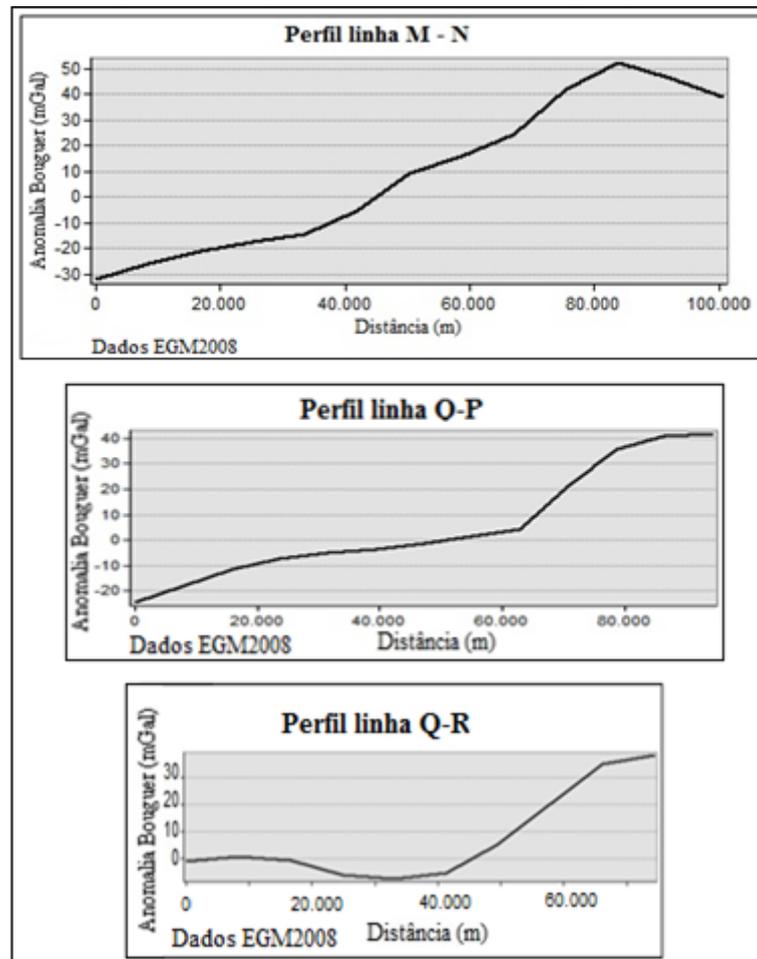
Figura 5 – Perfil gravimétrico da linha K-L



Fonte: Adaptado de Gagg (2014).

A linha K-L situa-se integralmente em área oceânica, afastada da costa e praticamente paralela à mesma. Esta linha atravessa a região do Baixo de Mostardas, cujo perfil (Figura 5) indica um pico na anomalia *Bouguer* em torno de 40 mGal (cerca de 175 km do início da linha).

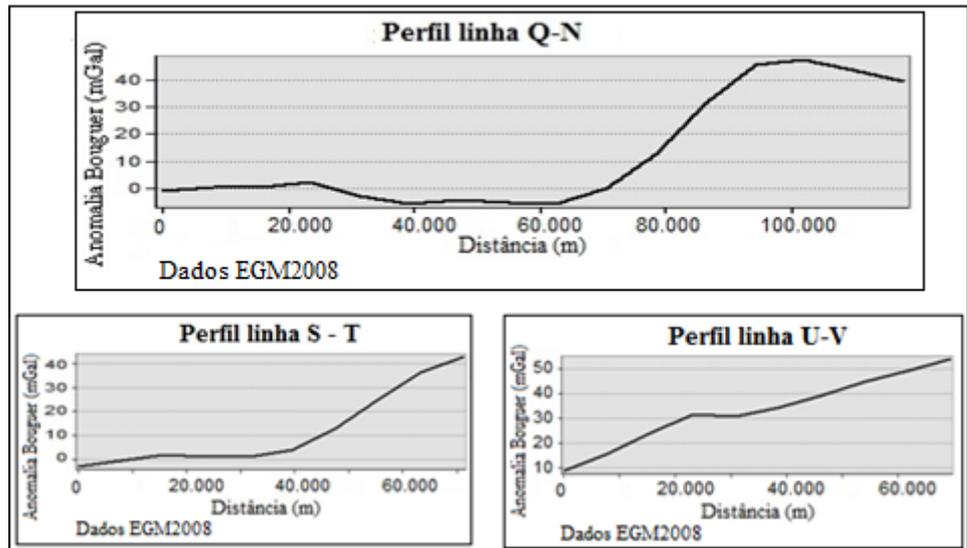
Figura 6 – Perfil gravimétrico das linhas M-N, O-P, Q-R



Fonte: Adaptado de Gagg (2014).

Os perfis gravimétricos das linhas M-N e O-P (Figura 6) partem de anomalias *Bouguer* ligeiramente negativas próximas à costa, até atingir valores de +40 a +50 mGal na sua porção mais distal, a 100 km da costa, indicando um afinamento da espessura da crosta nesta região. Já o perfil da linha Q-R apresenta anomalia praticamente constante e próxima de zero até a metade de sua extensão, e aumentando positivamente na segunda metade.

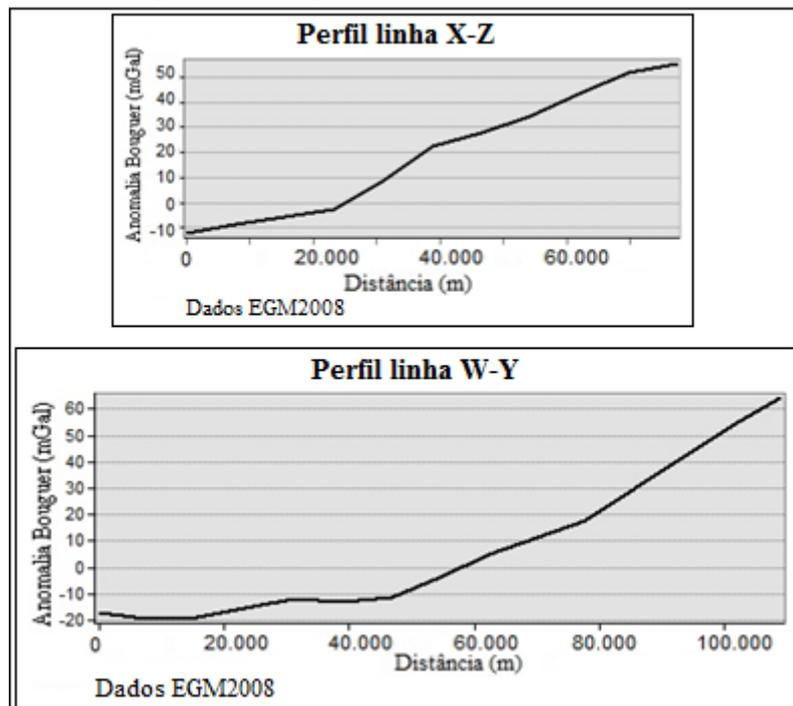
Figura 7 – Perfil gravimétrico das linhas Q-N, S-T e U-V



Fonte: Adaptado de Gagg (2014).

Analisando-se na Figura 7 o perfil da linha Q-N, constata-se que apresenta comportamento semelhante ao da linha Q-R. Na mesma figura, no perfil da linha S-T constata-se que a anomalia *Bouguer* é constante e praticamente nula na sua primeira metade, aumentando de forma gradual e positiva na segunda parte até cerca de 40 mGal na sua extremidade final. Já para o perfil da linha U-V nota-se que a anomalia *Bouguer* cresce positivamente de maneira quase uniforme, de 10 até 50 mGal. A linha U-V atravessa a região do Baixo de Mostardas, o que fica evidenciado na faixa dos 20 a 30 km da extensão da linha.

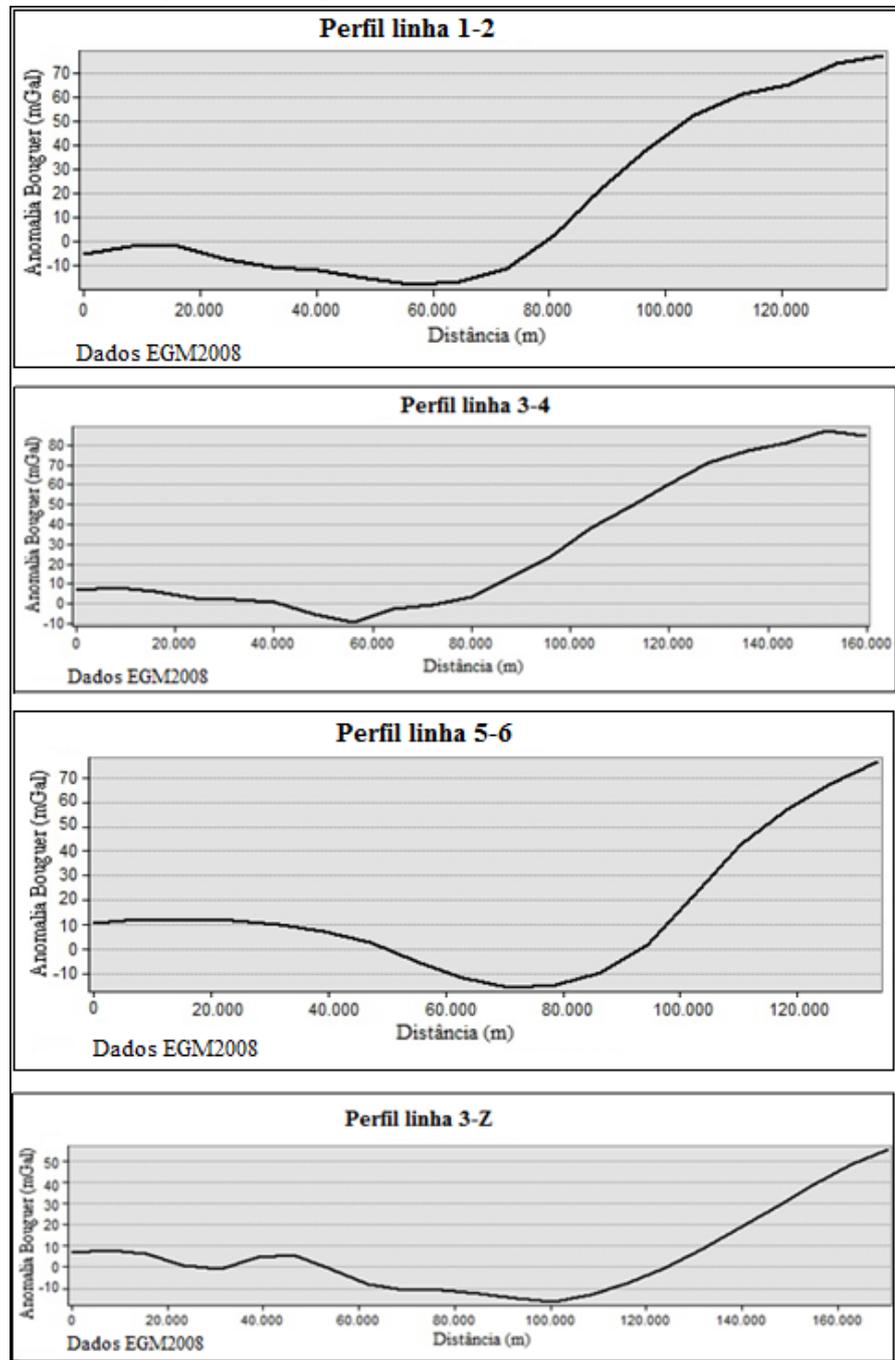
Figura 8 – Perfil gravimétrico das linhas X-Z e W-Y



Fonte: Adaptado de Gagg (2014).

Os perfis das linhas X-Z e W-Y (Figura 8) apresentam comportamento semelhante, começando com anomalias *Bouguer* negativas próximas à costa (porção esquerda do perfil), aumentando suavemente na medida em que se afasta da mesma.

Figura 9 – Perfil gravimétrico das linhas 1-2, 3-4, 5-6 e 3-Z



Fonte: Adaptado de Gagg (2014).

Nos perfis das linhas 1-2 e 3-4 (Figura 9) constata-se que a anomalia *Bouguer* tem comportamento praticamente estável até a metade da mesma, com a anomalia oscilando em menos de 20 mGal de amplitude. Estas linhas de perfil situam-se próximas à desembocadura da lagoa dos Patos, numa faixa onde a

plataforma continental é mais larga e de declividade menos acentuada. A partir da metade destas linhas, a anomalia cresce positivamente de forma vertiginosa e ultrapassa os 70 e 80 mGal respectivamente.

A linha 5-6 situa-se mais ao sul da região de estudo e na sua primeira parte apresenta anomalia estável (+10 mGal), seguida de um baixo gravimétrico (-15 mGal) na sua porção central. Na porção final, como indicativo do afinamento crustal, a anomalia *Bouguer* cresce acentuadamente, ultrapassando 70 mGal. Já o perfil gravimétrico da linha 3-Z apresenta os 50 km iniciais com anomalia *Bouguer* praticamente constante, próxima de zero e levemente negativa na região central. Na porção final, a anomalia cresce de forma uniforme até 50 mGal.

INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS

Perfis gravimétricos elaborados pela PETROBRAS na década de 60, na região da bacia de Pelotas, indicavam que o embasamento cristalino parecia aproximar-se da superfície, a leste da bacia. Desta forma, no cordão litorâneo, a espessura dos sedimentos seria menor do que na parte central da região da bacia. No cálculo das informações gravimétricas notou-se que os valores da gravidade cresciam na direção do oceano. Tal fato pode ser atribuído pela menor espessura dos sedimentos na faixa litorânea ou também devido às alterações na litologia do embasamento (GHIGNONE, 1960).

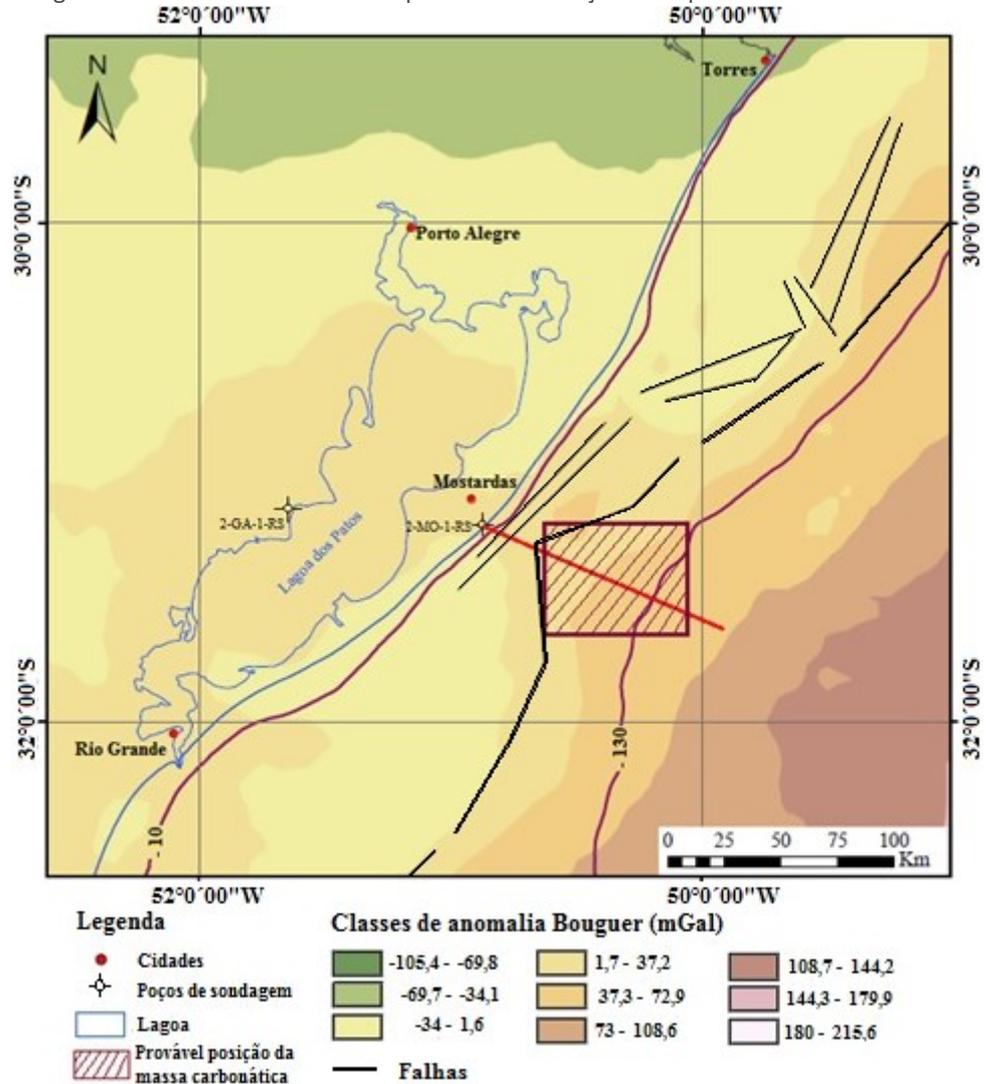
De forma geral, a maioria dos perfis gravimétricos das linhas de estudo apresentou aumento acentuado no valor das anomalias *Bouguer* conforme se afasta da costa em direção às maiores profundidades. O afinamento do pacote sedimentar (afinamento crustal) fica evidenciado na medida em que os valores das anomalias *Bouguer* aumentam positivamente nesta extremidade das linhas.

As linhas de charneira ou flexuras (identificadas como falhas e demarcadas em segmentos de reta pretos na figura 10) são feições presentes na Bacia de Pelotas e que definem um aumento abrupto do mergulho deposicional dos estratos para a parte mais profunda da bacia, separando porções mais rasas de mais profundas, e que foram formadas como consequência do intenso aporte sedimentar ocorrido na região. Uma zona de charneira nada mais é do que uma zona de rompimento. A charneira mais externa conhecida como charneira Albo-Aptiana (alguns a denominam Falha de Rio Grande), é uma feição resultante dos sucessivos basculamentos sofridos pela margem continental, acompanhando o processo de subsidência na crosta continental (GONÇALVES et al., 1979). Seu traçado apresenta expressiva coincidência com o contorno das classes de anomalia *Bouguer* na região. Na altura de Mostardas, nota-se a inflexão da charneira Albo-Aptiana para oeste.

Nos perfis das linhas MN, OP, QR, QN, ST, WY, 1-2, 3-4, 5-6, 3-Z (Figuras 6, 7, 8 e 9), e na parte final das linhas E-F e G-H (Figuras 3 e 4) constata-se a interferência da linha de charneira Albo-Aptiana. Estruturalmente, esta linha constitui-se num sistema de falhas com grande extensão, que separa a porção rasa, com embasamento cristalino entre 0 e 2.500 m de profundidade, da parte mais profunda da bacia de Pelotas, com embasamento até 9.000 m de profundidade. O comportamento distinto das anomalias *Bouguer* denota este fato haja vista que se apresentam mais estáveis (a classe da anomalia *Bouguer* em tom amarelado é mais larga), e com valores menores na porção rasa, ao passo que quando se adentra na

porção mais profunda da bacia, apresenta elevação pronunciada e contínua, que é indicado pela variação seguida das classes da anomalia *Bouguer*, com valores maiores, o que indica a influência de material de maior densidade.

Figura 10 – Falha de Rio Grande e provável localização da suposta massa carbonática



Fonte: Adaptado de Gagg (2014).

É possível observar também que na região de Mostardas, a alteração no comportamento das classes de anomalia *Bouguer* evidencia a presença do Baixo de Mostardas, identificado em vários perfis gravimétricos e situado numa região em que há o estreitamento da plataforma continental. O Baixo de Mostardas constitui-se numa megaforma sinclinal, onde ocorre grande espessamento das sequencias sedimentares (FONSECA, 2006), resultado de uma grande inflexão, no sentido oeste, de todos os componentes da zona de ruptura Albo-Aptiana. É uma depressão estrutural de orientação NW-SE e conformação de um graben, cuja origem está vinculada possivelmente a um rifteamento transversal ao rifte principal da bacia.

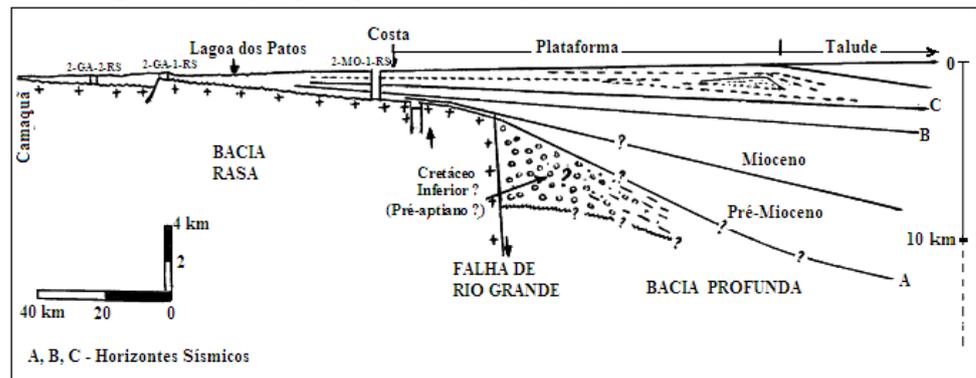
Entretanto, sabe-se que no Baixo de Mostardas, o embasamento encontra-se mais profundo, havendo uma maior espessura de sedimentos nesta região (até 9.000 m). Havendo uma espessura de sedimentos maior, com o espessamento crustal na região, as anomalias *Bouguer* deveriam apresentar uma tendência de

diminuição de seus valores com relação à sua circunvizinhança. Entretanto, ocorre o contrário, ou seja, há o aumento no valor da anomalia *Bouguer* na região (tons laranja e ocre na Figura 10), da ordem de 50 mGal.

As hipóteses explicativas sobre esta ocorrência são de um afinamento crustal mais expressivo na região, correlação esta contrária ao fato de que na região do Baixo de Mostardas, o topo do embasamento mais profundo, propicia um maior espessamento crustal regional. Outra hipótese é de que o material que compõe o embasamento nesta região tenha densidade maior que sua vizinhança, cuja origem pode remontar ao passado geológico da ruptura dos continentes. Esta segunda hipótese tem respaldo em Ojeda e Cesero (1973), que afirmam que do ponto de vista tectônico, regionalmente, a Bacia de Pelotas apresenta um mergulho uniclinal para sudeste, sendo que inversões deste padrão estrutural são causadas localmente por falhas de gravidade e por uma possível massa carbonática. A massa carbonática estaria localizada em uma borda de plataforma terciária (*shelf edge*), e possivelmente associada a um banco de calcário (OJEDA e CESERO, 1973). O mapa da figura 10 apresenta as classes de anomalia *Bouguer* e a provável localização da suposta massa carbonática. A linha vermelha que parte do poço de sondagem 2-MO-1-RS até o talude continental, é parte de uma seção que foi usada nos estudos de Ojeda e Cesero, 1973.

Na Figura 11 é apresentada a seção geológica da linha usada nos estudos de Ojeda e Cesero (1973), que parte de Camaquã, passa por poços de sondagem 2-GA-2-RS e 2-GA-1-RS, cruza a lagoa dos Patos, passa no poço 2-MO-1-RS na altura de Mostardas e segue em direção ao oceano. É representada a massa carbonática citada anteriormente e suposições sobre o período geológico que a mesma possa estar vinculada (Cretáceo Inferior).

Figura 11 – Seção geológica com indicação da suposta massa carbonática



Fonte: Adaptado de Ojeda e Cesero (1973)

CONCLUSÕES

O emprego de dados do modelo EGM2008 tão facilmente acessíveis possibilitou a obtenção de anomalias *Bouguer* a nível regional, o que permitiu evidenciar a presença de algumas das grandes estruturas geológicas existentes, como é o caso do Baixo de Mostardas e da linha de charneira Albo-Aptiana. A resolução espacial dos dados gravimétricos empregados não possibilitou evidenciar a ocorrência de paleocanais na região, devendo-se também utilizar-se de outros métodos de investigação.

O mapa gravimétrico das anomalias *Bouguer* e perfis gravimétricos associados permitiram a interpretação de algumas características da crosta na margem continental de grande parte do estado do Rio Grande do Sul. Na análise do mapa, constata-se um aumento da intensidade das anomalias gravimétricas no sentido costa-oceano, variando de -35 mGal (na área mais próxima à costa), até aproximadamente 200 mGal na bacia oceânica. Essas variações são associadas às alterações de espessura e/ou litologia da crosta com a diminuição gradativa da raiz de compensação isostática, ocasionada pela instalação da crosta oceânica, o que caracteriza um progressivo afinamento crustal, consequência da deriva continental e do equilíbrio entre crosta continental e oceânica.

Finalmente, conclui-se que os dados gravimétricos provenientes do modelo do geopotencial EGM2008 propiciaram o estudo do campo da gravidade regional através da modelagem do comportamento das anomalias *Bouguer*, as quais refletem fundamentalmente a influência da geologia. Neste trabalho, auxiliaram na detecção de algumas evidências a respeito do comportamento das massas crustais e densidades distintas vinculadas às estruturas geológicas, permitindo inferir hipóteses explicativas para situações pontuais, como é o caso da região do Baixo de Mostardas.

Morphostructural analysis in the Pelotas Basin-RS region from Bouguer anomalies maps and gravimetric profiles

ABSTRACT

Gravimetric data, including those from satellite missions, are an important tool in regional studies for areas involving geological and oceanographic applications, as aid in the characterization, evolution and behavior of the Earth's crust, both for continental areas as oceanic Gravity data were used to the morphostructural analysis in the Pelotas Basin-RS region. The EGM2008 geopotential model was adopted through the Bouguer anomalies, which made possible the preparation of maps and gravimetric profiles. Through the analysis of Bouguer anomalies maps and the gravimetric profiles generated, it was observed that Bouguer anomalies increase positively from coast towards to the major ocean depths, which characterizes a progressive crustal thinning associated with the continental drift. The behavior of the Bouguer anomalies showed the presence of a rupture, known as Charneira Albo-Aptiana or *Falha de Rio Grande*, on the continental shelf. The incidence of significantly positive anomalies values on the *Baixo de Mostardas* region suggests the presence of a higher-density mass in this region. The resolution of the gravimetric data used in this research did not show the presence of paleochannels in the region, requiring a greater spatial resolution, associated with other methods of research.

KEYWORDS: Morphostructural analysis. Bouguer anomalies. Gravimetric profiles.

REFERÊNCIAS

BARTHELMES, F., Definition of Functionals of the Geopotential and their Calculation from Spherical Harmonic Models: Theory and formulas used by the calculation service of the ICGEM. **Scientific Technical Report STR09/02**, Potsdam, 2013. 32p. <http://dx.doi.org/10.2312/GFZ.b103-0902-26>.

BLITZKOW, D.; CAMPOS, I. O.; FREITAS, S.R.C. . Altitude: o que interessa e como equacionar? **Anais do I Simpósio de Ciências Geodésicas e Tecnologia da Geoinformação**, Recife, 2004. Disponível em: <<http://www.ufpe.br/cgtg/ISIMGEO/CD/html/geodesia/Artigos/G004.pdf>> Acesso em mar. 2016.

BUENO, G.V.; ZACHARIAS, A. A.; OREIRO, S. G.; CUPERTINO, J. A.; FALKENHEIN, F.U.H.; MARTINS NETO, M. A. , Bacia de Pelotas. **Boletim de Geociências da PETROBRAS**, v.15, n.2, p.551-559, 2007.

FONSECA, V. P.. *Estudos morfotectônicos aplicados à Planície Costeira do Rio Grande do Sul e adjacências*. 2006. 306f. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2006.

GAGG, G., Emprego de dados gravimétricos e de altimetria por satélite como subsídio à análise morfoestrutural na região da Bacia de Pelotas – Rio Grande do Sul. 2014. 151p. Tese de Doutorado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul..

GAGG, G.; SOUZA, S. F., Geração de mapas de anomalia *Bouguer* a partir de dados gravimétricos terrestres e do EGM2008. **Revista Brasileira de Geomática**, v.5, n.2, p.186-201, abr/jun. 2017. <http://dx.doi.org/10.3895/rbgeo.v5n2.5510>.

GHIGNONE, J. I. Reconhecimento gravi-magnético na Bacia de Pelotas. **Boletim Técnico Petrobrás**, v.3, n. 2, p. 73-79, 1960.

GONÇALVES, A., OLIVEIRA, M.A.M., MOTTA, S.O., Geologia da bacia de Pelotas e plataforma de Florianópolis. **Boletim Técnico Petrobrás**, Rio de Janeiro, v.22, n.3, p. 157-174, 1979.

IAG, Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas. 2018. Disponível em: <<http://www.iag.usp.br/siae98/gravimetria/gravimetria.htm>>. Acesso em: abril 2018.

ICGEM, International Centre for Global Earth Models (ICGEM), 2013. Disponível em: <<http://icgem.gfz-potsdam.de/ICGEM/>>. Acesso em nov. 2013.

MONTANHEIRO, M.A.F., **Alto estrutural na região de Laranjal Paulista/SP: caracterização gravimétrica e geológica**. 2015. 168p. Tese de Doutorado, Universidade Estadual Paulista. Rio Claro, Disponível em: <<http://hdl.handle.net/11449/139398>>. Acesso em nov. 2017.

MORO, P.S., O rifte Araí: novas perspectivas com base em dados gravimétricos, magnéticos e geológico. 2017, 154p. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Brasília.

OJEDA, H. A. O.; CESERO, P. Bacias de Santos e Pelotas-Geologia e Perspectivas Petrolíferas. Rio de Janeiro: PETROBRAS, 1973. 50 p. Comunicação Interna.

PAVLIS, N.K., HOLMES, S.A, KENYON, S.C., FACTOR, J.K., The development and evaluation of the Earth Gravitational Model 2008 (EGM2008), **Journal of Geophysical Research**, v.117, 2012. <http://dx.doi.org/10.1029/2011jb008916>.

SANTOS, H. S., SILVA, R. C., HENZ, K. L., SOUZA, F. F. R., PENNA, M. L. R.. Análise do Geopotencial a partir de mapas batimétricos da Bacia de Campos. **Revista de Engenharias da Faculdade Salesiana**, n.2, p. 10-18, 2015. Disponível em: <http://www.fsma.edu.br/RESA/Edicao2/FSMA_RES_2015_2_02.pdf>. Acesso em: jun. 2018.

TORGE, W., **Geodesy. Walter de Gruyter**. Berlim, 2001.

Villwock, J. A. & Tomazelli, L. J., 1995. Geologia costeira do Rio Grande do Sul. Notas técnicas. CECO, Instituto de Geociências, UFRGS, Porto Alegre, n.8, 45p.

Recebido: 03 set. 2018

Aprovado: 22 nov. 2018

DOI: 10.3895/rbgeo.v7n1.8799

Como citar: GAGG, G; SOUZA, S. F. Análise morfoestrutural na região da bacia de Pelotas a partir do emprego de mapas de anomalia Bouguer e perfis gravimétricos. **R. bras. Geom.**, Curitiba, v. 7, n. 1, p. 003-022, jan/mar. 2019. Disponível em: <<https://periodicos.utfpr.edu.br/rbgeo>>. Acesso em: XXX.

Correspondência:

Gilberto Gagg

Av. Bento Gonçalves 9500, IGEO/UFRGS, CEP:91501-970, Porto Alegre, RS, Brasil.

Direito autoral: Este artigo está licenciado sob os termos da Licença Creative Commons-Atribuição 4.0 Internacional.

