



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA E GEOQUÍMICA**

---

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO Nº 610**

**GRAVIMETRIA E ESTRATIGRAFIA CENOZOICA DA  
PORÇÃO ONSHORE DA BACIA DO MARAJÓ E  
PLATAFORMA BRAGANTINA, NORDESTE DO PARÁ**

**Dissertação apresentada por:**

**GILBERTO CARNEIRO DOS SANTOS JUNIOR**

**Orientador: Prof. Dr. Afonso César Rodrigues Nogueira (UFPA)**

**Coorientador: Prof. Dr. Cristiano Mendel Martins (UFPA)**

---

**BELÉM – PARÁ  
2021**

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) de acordo com  
ISBDSistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Pará  
Gerada automaticamente pelo módulo Ficat, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)**

---

S237g Santos Junior, Gilberto Carneiro dos.  
Gravimetria e estratigrafia cenozoica da porção onshore da  
Bacia do Marajó e Plataforma Bragantina, nordeste do Pará. /  
Gilberto Carneiro dos Santos Junior. — 2021.  
xii, 30 f. : il. color.

Orientador(a): Prof. Dr. Afonso César Rodrigues Nogueira  
Coorientador(a): Prof. Dr. Cristiano Mendel Martins  
Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Pará,  
Instituto de Geociências, Programa de Pós-Graduação em Geologia  
e Geoquímica, Belém, 2021.

1. Anomalia Gravimétrica Residual. 2. Nordeste Paraense.  
3. Plataforma Bragantina. 4. Bacia do Marajó. I. Título.

CDD 558.115

---



**Universidade Federal do Pará**  
**Instituto de Geociências**  
**Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica**

**GRAVIMETRIA E ESTRATIGRAFIA CENOZOICA  
DA PORÇÃO ONSHORE DA BACIA DO MARAJÓ E  
PLATAFORMA BRAGANTINA, NORDESTE DO  
PARÁ**


**Dissertação apresentada por**

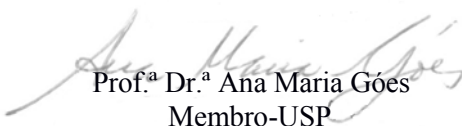
**GILBERTO CARNEIRO DOS SANTOS JÚNIOR**


**Como requisito parcial à obtenção de Grau de Mestre em Ciências na Área de  
GEOLOGIA e Linha de Pesquisa Análise de Bacias Sedimentares.**

**Data de Aprovação: 12 / 12 / 2021**

**Banca Examinadora:**

  
Prof. Dr. Afonso César Rodrigues Nogueira  
Orientador-UFPA

  
Prof.ª Dr.ª Ana Maria Goes  
Membro-USP

  
Prof. Dr. José Jadsom Sampaio de Figueiredo  
Membro-UFPA

*Dedico este trabalho aos meus pais Gilberto Carneiro e Lucilene Balbino; a minha irmã, Gislene Balbino; a minha sobrinha, Louise Carneiro. E para todos os mais de 600 mil brasileiros que tiveram suas vidas interrompidas vítimas da Covid-19.*

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a Deus por ter me dado forças para continuar na condução desse trabalho de mestrado.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão da bolsa de estudo.

Ao meu orientador Prof. Dr. Afonso Cesar Rodrigues Nogueira por todo apoio, oportunidade, ensinamento e compreensão durante todo esse tempo de mestrado, em especial nessa reta final.

Ao meu coorientador Prof. Dr. Cristiano Mendel Martins por ter me acolhido desde o TCC e ter me dado toda a base para a realização desse trabalho.

Aos amigos do GSED (o melhor grupo do PPGG) e Giordana pelo apoio, pelas brincadeiras nas viagens de campo e por toda a ajuda durante o mestrado.

A Cleida e Joanicy por resolver nossas broncas na secretaria.

E por fim, mas não menos importante, a minha mãe que sempre esteve ao meu lado me dando apoio e suporte para tudo.

“Talvez não tenha conseguido fazer o melhor, mas lutei para que o melhor fosse feito. Não sou o que deveria ser, mas graças a Deus, não sou o que era antes.”

Marthin Luther King

## RESUMO

A costa norte brasileira foi um local de excepcional sedimentação siliciclástica e carbonática durante o Oligoceno ao Holoceno distribuído nas bacias da Foz do Amazonas, Pará-Maranhão, Marajó e Bragança-Viseu adjacentes às plataformas Bragantina e de Ilha de Santana. Embora esses compartimentos geotectônicos sejam regionalmente bem conhecidos, seus limites tectônicos são geralmente inferidos em subsuperfície por dados geofísicos. Da mesma forma, esses limites em superfície são pouco definidos devido a cobertura indiscriminada das unidades siliciclásticas sedimentar cenozoica. As reinterpretações de dados estratigráficos e geofísicos combinados com a modelagem crustal foram realizadas na costa leste da Amazônia. Este estudo permitiu obter uma nova interpretação para o campo gravimétrico relacionado ao contraste de densidade intracrustal ou residual para a porção oriental da Bacia do Marajó. Este estudo confirmou a presença de um vale profundo no limite com a Plataforma de Bragantina, a Calha Vigia-Castanhal previamente documentada e atestada também por análises estratigráficas de subsuperfície e superfície. Além disso, a identificação de baixos gravimétricos inferiores a anomalia de -10 mGal com elevada espessura de sedimentos acumulados sugere forte subsidência não compatível com a interpretação prévia de uma plataforma entre a Bacia do Marajó e a Plataforma Bragantina. Este segmento denominado previamente de Plataforma do Pará é francamente subsidente com depressões abaixo de -30 mGal sendo incluído aqui como parte da borda leste da Bacia do Marajó. As plataformas são aqui interpretadas com anomalias acima de -10 mGal exemplificada pela Plataforma Bragantina. Seguindo esse critério, o preenchimento sedimentar da parte leste da Bacia do Marajó é representado pelos depósitos siliciclásticos das formações Marajó e Barreiras, respectivamente do Oligoceno-Mioceno e Mioceno Médio. Depósitos carbonáticos costeiros e marinhos da Formação Pirabas do Oligoceno-Mioceno Médio preenchem cerca de 120 m do espaço de acomodação da Plataforma Bragantina recoberta por ~ 40 m de depósitos fluvial-costeiros da Formação Barreiras. O Quaternário é representado pela unidade Pós-Barreiras do Pleistoceno-Holoceno e sedimentos recentes que formam os aluviões e cordões litorâneos. Os limites estruturais da Plataforma Bragantina são reavaliados e a porção mais interna no continente, ao sul com rochas aflorantes do embasamento cristalino e rochas sedimentares do Siluriano, foram uma barreira geográfica para a transgressão do Oligoceno-Mioceno. O uso de anomalia gravimétrica residual com base em modelagem crustal combinada com dados geológicos e estratigráficos se revelou uma

ferramenta eficaz para avaliar os limites dos compartimentos geotectônicos cobertos por sedimentação cenozoica abrindo um novo entendimento evolutivo desta parte da Amazônia.

**Palavras-Chave:** campo gravimétrico residual, modelagem crustal, discretização de primas retangulares, plataforma carbonática, sedimentos siliciclásticos, Mioceno-Quaternário.



## ABSTRACT

The Northern Brazilian coast was an exceptional depositional site for siliciclastic and carbonate deposits during Oligocene to Holocene distributed in several basins and continental platforms that include Foz do Amazonas, Pará-Maranhão, Marajó and Bragança-Vizeu basins adjacent to the Bragantina and Ilha de Santana platforms. Although these geotectonic compartments are regionally well-known, their tectonic limits are generally inferred in subsurface by geophysical data. Likewise, these surface limits are poorly defined due to the extensive Cenozoic sedimentary cover. This study allowed to obtain a new interpretation for the gravimetric field related to intracrustal or residual density contrast for the eastern portion of the Marajó Basin. The presence of a deep depression at the limit of this basin with the Bragantina Platform, the Vigia-Castanhal Trough, confirm previous geophysical interpretation, as well as, attested by subsurface and surface stratigraphic studies. Furthermore, the identification of low gravity values below the -10 mGal anomaly with high thickness of sediments suggests a strong subsidence not compatible with the previous interpretation of a platform between the Marajó Basin and the Bragantina Platform denominated “Pará Platform”. This segment is frankly subsiding with depressions below -30 mGal being included here as part of the eastern edge of the Marajó Basin. The platforms are here interpreted with anomalies above -10 mGal exemplified by the Bragantina Platform. Following this tectonic proposal and using previous stratigraphy, the sedimentary filling of the eastern part of the Marajó Basin is represented by siliciclastic deposits from the Marajó and Barreiras formations, respectively from the Oligocene-Miocene and Middle Miocene. Coastal and marine carbonate deposits of the 120 m-thick of Middle Oligocene-Miocene Pirabas Formation fill the reduced accommodation space of the Bragantina Platform. This unit is overlaid by ~40 m of fluvio-coastal deposits of the Barreiras Formation. The Quaternary is represented by the Post-Barriers unit of the Pleistocene-Holocene and recent sediments that form the alluviums and coastal sandy strand plains. The structural limits of the Bragantina Platform are re-evaluated and the inland portions to the south are exposed Silurian sedimentary and crystalline rocks. These basement rocks were a geographic barrier to the Oligocene-lower Miocene transgression. The use of residual gravity anomaly based on crustal modeling combined with geological and stratigraphic data is an effective tool to assess the geotectonic compartments limits covered by Cenozoic sedimentation and provide a new

evolutionary understanding for this part of Amazonia.

**Key-words:** residual gravimetric field, crustal modelling, discretization of rectangular prisms, carbonate platform, siliciclástica sediments, Miocene-Quaternary.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

- Figura 1 – Localização da área de estudo (quadrado vermelho) com destaque para a geologia, compartimentos geotectônicos e estratigrafia geral da costa Norte do Brasil. Fonte: (Nogueira *et al.* 2021). ..... 2
- Figura 2 – Mapa Geológico do Nordeste do estado do Pará, adaptado de (CPRM 2008). O limite entre a Bacia do Marajó e Plataforma Bragantina é um traço contínuo enquanto o limite oeste da calha Vigia-Castanhal é tracejado. O contorno das sub-bacias da Bacia do Marajó está indicado com traços e pontos à esquerda do mapa.. 8
- Figura 3 – Cartas estratigráficas da Bacia do Marajó e da Região costeira da Amazônia oriental - Plataforma Bragantina. Modificada de (Zalán 2007, Zalán & Matsuda 2007 e Rossetti *et al.* 2013). ..... 9
- Figura 4 – Delineação das sub-bacias (1) Mexiana, (2) Limoeiro, (3) Mocajuba e (4) Cameté, que fazem parte do Sistema de Grábens do Marajó, utilizando modelagem crustal. Fonte: (Santos-Junior *et al.* 2019). ..... 10
- Figura 5 – Estimativa do relevo do embasamento da sub-bacia de Cameté via inversão 2D de dados gravimétricos. Fonte: (Monteiro 2020). ..... 11
- Figura 6 – Esquematização da metodologia para obtenção do sinal gravimétrico residual. (a) Sinal observado. (b) Sinal calculado-regional. (c) Sinal Residual. .... 13
- Figura 7 – Modelo digital de terreno (ETOPO1) do nordeste paraense, evidenciando uma variação de 180 metros a cima do nível do mar na região. .... 14
- Figura 8 – À esquerda a estimativa da profundidade da Moho para toda região da América do Sul. À direita um recorte mostrando em detalhes os dados da profundidade da Moho para a área de estudo. Modificado de (Uieda & Barbosa 2016). ..... 15
- Figura 9 – Anomalia Bouguer observada para a região do nordeste paraense. Dado gravimétrico satelital produzido a partir do modelo campo EIGEN 6C4 (European Improved Gravity model of the Earth by New techniques). ..... 15
- Figura 10 – Anomalia gravimétrica Regional/calculada da região objeto de estudo. Dado obtido a partir de modelagem crustal da região do Nordeste Paraense. .... 16

- Figura 11 – Anomalia gravimétrica residual da região nordeste do Pará. Nesse dado foi possível interpretar estruturas como o Sistema de Grábens do Marajó (Sub-bacias de Limoeiro, Mocajuba e Cametá); a Bacia Bragança-Viseu e a Plataforma Bragantina. Além de compartimentações como a Calha Vigia-Castanhal, localizada na borda oeste da Plataforma Bragantina, e um baixo gravimétrico acentuado na região que corresponderia a Plataforma Pará..... 18
- Figura 12 – Distribuição das profundidades do embasamento obtidas a partir de dados de poços (Triângulos referentes a poços da ANP e círculos referentes a poços do SIAGAS). Linha tracejada vermelha representa o limite entre a Bacia do Marajó e a Plataforma Bragantina. A área hachurada, em destaque, representa o que foi interpretado como sendo a Borda Oriental da Bacia do Marajó – antiga Plataforma Pará. .... 19
- Figura 13 - Distribuição lateral de registros litológicos entre as cidades de Belém e Salinópolis, com base na descrição de testemunhos de poços para captação de água. Nas localidades dos poços 1, 2, 3 e 4 área da borda oriental da Bacia do Marajó, ocorre a predominância de rochas siliciclásticas da Formação Marajó com mais de 250 m de espessura sem atingir o embasamento cristalino. Por outro lado, nos poços 5, 6, 7 e 8 realizados nos domínios da Plataforma Bragantina ocorre uma predominância de rochas carbonáticas da Formação Pirabas recobrando o embasamento cristalino. A linha vermelha tracejada delimita as duas unidades geotectônicas. Modificado de (SIAGAS 2011). .... 20
- Figura 14 – (a) representação apenas dos valores negativos do sinal gravimétrico residual, a fim de entender a influência da Bacia do Marajó, onde a linha tracejada preta mostra o limite da bacia. (b) localização dos depocentros da Bacia do Marajó (linhas azuis), classificando-os em depocentros principais (sub-bacias) e o depocentro secundário, na região da borda da bacia..... 22
- Figura 15 – Esquematisação da configuração geotectônica e estratigráfica de subsuperfície da região da Bacia do Marajó e a Plataforma Bragantina, baseado no perfil Bouguer (AB) de sentido SW-NE. Esboço evidenciando a influência do espaço de acomodação, proporcionado pelo embasamento, na deposição das Formações Pirabas e Marajó. .... 24

## SUMÁRIO

<b>AGRADECIMENTOS</b> .....	iv
<b>EPÍGRAFE</b> .....	v
<b>RESUMO</b> .....	vi
<b>ABSTRACT</b> .....	viii
<b>LISTA DE ILUSTRAÇÕES</b> .....	x
<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	1
1.1 APRESENTAÇÃO.....	1
1.2 OBJETIVOS.....	3
<b>2 CONTEXTO GEOLÓGICO</b> .....	4
2.1 TRABALHOS PRÉVIOS .....	4
2.2 ARCABOUÇO TECTÔNICO .....	4
2.3 ESTRATIGRAFIA.....	5
<b>2.3.1 Bacia do Marajó</b> .....	5
<b>2.3.2 Plataforma Bragantina</b> .....	7
2.4 DADOS GEOFÍSICOS PRÉVIOS.....	10
<b>3 MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	12
<b>4 RESULTADOS</b> .....	16
4.1 SINAL REGIONAL.....	16
4.2 ANOMALIA GRAVIMÉTRICA RESIDUAL.....	17
<b>5 DISCUSSÃO</b> .....	23
<b>6 CONCLUSÕES</b> .....	25
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	26

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 APRESENTAÇÃO

A porção costeira da Amazônia Oriental, norte do Brasil foi afetada por eventos tectônicos, a partir do Neotriássico até o Eocretáceo, enquanto no Cenozoico ocorreu um período de estabilidade tectônica, afetada por reativações locais de falhas (Soares-Jr *et al.* 2008, 2011). Apesar da relativa estabilidade, vários locais desta região foram sítios de excepcional sedimentação durante o Oligoceno ao Holoceno distribuído principalmente nas bacias da Foz do Amazonas, Pará-Maranhão, Marajó e Bragança-Viseu (Soares-Jr *et al.* 2008, 2011). O desenvolvimento de grandes áreas estáveis entre bacias, denominadas de plataforma, como as Bragantina, Pará e Ilha de Santana, embora com espaço de acomodação reduzido, foram palco de deposição durante o final do Paleógeno e Neógeno (Figura 1). Apesar da evolução no entendimento estratigráfico do Cenozoico da Amazônia Oriental (p. ex. Nogueira *et al.* 2021), falta um maior detalhe sobre os eventos relacionados com a abertura do Oceano Atlântico Central a partir do Mesozoico até a implantação dos sítios deposicionais do Cenozoico (p. ex. Soares-Jr *et al.* 2011). Aliás, esta extensa cobertura cenozoica dificulta a investigação geológica de estruturas e unidades mais antigas (Figura 1). Predominam rochas siliciclásticas e secundariamente carbonáticas distribuídas em bacias e plataformas continentais enquanto pequenas janelas do embasamento pré-cambriano e rochas sedimentares do Siluriano e Cretáceo ocorrem a sul e sudeste dessa área (Figura 1). Um dos pontos importantes para iniciar essa discussão é o estudo do relevo do embasamento que em certos locais ocorre a mais de 12.000 m de profundidade como na Bacia do Marajó, enquanto na Plataforma Bragantina pode ser encontrado a cerca de 40 m de profundidade (Nogueira *et al.* 2021). A detecção de estruturas pretéritas e reativadas em profundidade é de fundamental importância para o entendimento dos eventos geológicos que resultaram na atual configuração geotectônica desta região costeira amazônica.

Estudos geofísicos foram feitos na região, Villegas (1994) realizou interpretações sísmicas, gravimétricas e aeromagnéticas, propiciando um melhor entendimento da arquitetura tectônica da Bacia do Marajó e Santos-Junior *et al.* (2019) utilizaram modelagem gravimétrica para delinear o Sistema de Grábens do Marajó. Entretanto, até o momento, não existe uma integração adequada destes trabalhos com os estudos estratigráficos de detalhe

efetivados nas últimas décadas para esta região (Góes *et al.* 1990, Rossetti *et al.* 2004, 2013). As primeiras tentativas, nesse sentido, foram feitas por Schaller *et al.* (1971) e Rezende & Ferradaes (1971) e mais tarde replicados por Almaraz (1977).

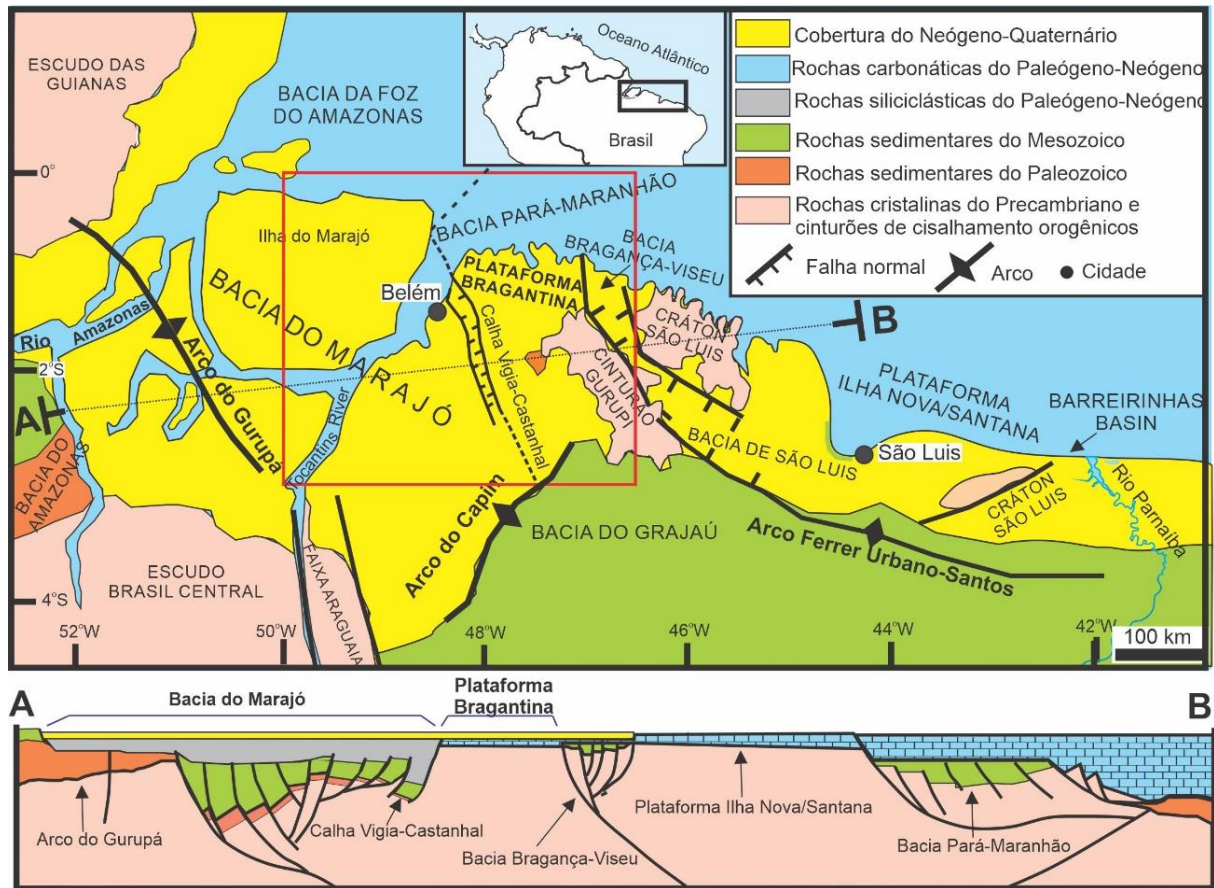


Figura 1 – Localização da área de estudo (quadrado vermelho) com destaque para a geologia, compartimentos geotectônicos e estratigrafia geral da costa Norte do Brasil. Fonte: (Nogueira *et al.* 2021).

A Plataforma Bragantina localiza-se no nordeste paraense com sedimentação carbonática oligo-miocena representada pela Formação Pirabas, primeiramente documentada por Maury (1925). Devido à semelhança na assembleia fossilífera, pesquisadores (p.e. Almaraz & Formoso 1971, Ferreira *et al.* 1978, Fernandes 1984, 1988) expandiram para oeste a ocorrência da Formação Pirabas, chegando até Belém, capital do Estado do Pará, região já denominada de Plataforma Pará (Rezende & Ferradaes 1971). Esta interpretação tem sido seguida por diversos trabalhos que enfatizaram muito mais o contexto paleontológico e sedimentológico do que o controle tectônico na sedimentação (Rossetti 2006, Távora *et al.* 2010, Souza *et al.* 2014, Silva 2016, Jorge 2017). Cabe ressaltar, que as primeiras distinções sedimentares destes compartimentos estruturais foram feitas na década de 1950 por Petri

(1954, 1957). Este autor indicou uma nítida diferença litológica entre os depósitos do Gráben do Marajó e da Plataforma Bragantina. Os depósitos siliciclásticos com subordinadas camadas de calcários e com fósseis de idade paleocena-miocena foram denominados de Formação Marajó, enquanto a Formação Pirabas foi relacionada aos bancos espessos de calcários expostos na Plataforma Bragantina com conteúdo fossilífero similar, de idade oligo-miocena. Embora essa concepção tenha sido abandonada nas décadas seguintes, a proposição de Petri (1954, 1957) foi retomada por Nogueira *et al.* (2021) demonstrando que a Formação Marajó, pelo menos a sua porção média a superior, está exposta na região de Belém, seria o registro do rio Amazonas Cratônico cuja sedimentação siliciclástica foi capturada pelo Gráben do Marajó ainda subsidente no Mioceno. A carga fluvial do Amazonas Cratônico não teria alcançado a Plataforma Bragantina, sendo assim não teria havido turvação das águas límpidas e quentes, o que teria permitido a formação de uma plataforma rasa predominantemente carbonática.

Neste trabalho de mestrado estudou-se de forma detalhada a anomalia gravimétrica residual originada de uma crosta modelada da porção norte da Plataforma Sul-Americana, possibilitando interpretar e associar valores de gravidade compatíveis aos registros geológicos prévios e os obtidos neste estudo. A aplicação da gravimetria em bacias sedimentares é exequível principalmente devido ao elevado contraste de densidade entre o pacote sedimentar e o embasamento cristalino ser negativo (Telford *et al.* 1990). Dessa forma, com essa característica do sinal gravimétrico é possível estimar as áreas de influência de uma bacia sedimentar. A área de estudo está localizada na porção leste do Cráton Amazônico, compreendendo mais especificamente a borda oriental da Bacia do Marajó e as Plataformas Pará e Bragantina, localizadas no Nordeste do Estado do Pará, norte do Brasil (Figura 1). O procedimento geofísico adotado aqui resultou em uma nova organização dos compartimentos tectônicos da região estudada, e sua integração com dados estratigráficos disponíveis reinterpretados contribuiu para ampliar o conhecimento evolutivo desta parte da Amazônia.

## 1.2 OBJETIVOS

Este trabalho teve por objetivo reinterpretar dados de anomalia gravimétrica residual do NE do Estado do Pará (Bacia do Marajó e Plataforma Bragantina), no sentido de identificar e delimitar os compartimentos geotectônicos dessa área. Além disso, correlacionar os dados gravimétricos obtidos com os registros litológicos e estratigráficos prévios, visando definir uma relação direta com os eventos deposicionais cenozoicos que moldaram a atual configuração geológica da região do nordeste paraense.



## 2 CONTEXTO GEOLÓGICO

### 2.1 TRABALHOS PRÉVIOS

Os primeiros trabalhos geológicos da região nordeste do Estado do Pará remontam a década de 1920 e geralmente enfatizavam a descoberta de bens minerais e reconhecimento dos tipos de rochas. Faz aqui um resgate das primárias publicações sobre a investigação geológica do NE do Estado do Pará. Carvalho (1926) realizou um estudo geológico na região costeira atlântica de Maracanã, sede da Estação experimental na E. F. de Bragança. Gomes & Oliveira (1926) realizaram a primeira correlação das rochas sedimentares no alto curso do rio Capim. Katzer (1933) abordou com mais detalhes a separação das rochas terciárias e quaternárias do nordeste do Estado do Pará. Moura *et al.* (1936) realizou trabalho geológico no rio Gurupí e adjacências, abordando os aspectos mineiro-geológicos e geográficos. Paiva (1937) discorreu sobre as ocorrências de ouro e bauxita da região costeira, enquanto Souza (1937) abordou a importância e futuro da região mineira do Gurupí. Sióli (1951) realiza um estudo preliminar entre a geologia e a limnologia da zona bragantina. Silva & Petri (1951) estudaram a unidade terciária Pirabas. Mendes (1957) exhibe estudos sobre a bacia sedimentar amazônica. Merece destaque uma série de trabalhos de cunho paleontológico sobre a Formação Pirabas no Boletim do Museu Emilio Goeldi. Ackermann (1964) apresenta a geologia e fisiografia da região bragantina.

### 2.2 ARCABOUÇO TECTÔNICO

Segundo Soares-Jr *et al.* (2008, 2011), as bacias sedimentares da margem atlântica equatorial foram formadas em três frentes distensivas durante o Neotriássico-Eocretáceo, que culminaram na formação das bacias sedimentares da Foz do Amazonas, Barreirinhas, Pará-Maranhão, Marajó, e na formação do Oceano Atlântico Equatorial e conseqüentemente na separação entre a África e a América do Sul. As bacias formadas nesse período passaram por vários estágios de evolução, desenvolvendo diversos ambientes sedimentares que moldaram suas paisagens durante o tempo. Em especial, a Bacia do Marajó foi formada na segunda frente distensiva já durante o Eocretáceo e a fase rifte da bacia cessado durante o Neocretáceo, período esse que todo esforço extencional ficou concentrado na margem Atlântica equatorial evoluindo as bacias da Foz do Amazonas, Pará-Maranhão e Barreirinhas para margem passiva.

A Bacia do Marajó apresenta arquitetura definida por falhas normais no sentido NW-SE e falhas transcorrentes orientadas NE-SW e ENE-WSW, que limitam dois grandes compartimentos tectônicos denominados de sub-bacias de Limoeiro e Cametá (Villegas 1994, Costa *et al.* 2002, Zalán & Matsuda 2007; Figura 2). Havendo ainda, na parte sul da bacia, a sub-bacia de Mocajuba que é separada da sub-bacia de Cametá por um alto do embasamento e ainda, na parte norte da bacia, a sub-bacia de Mexiana que foi desenvolvida ao longo de falhas transcorrentes de direção NE-SW. A disposição dos depocentros e o controle dos mesmos por falhas sugerem uma arquitetura estrutural assimétrica para a Bacia de Marajó, com suas sub-bacias sendo separadas e segmentadas por falhas transcorrentes de direções ENE-WSW e NE-SW (Carnes *et al.* 1989, Villegas 1994).

Após a formação das bacias sedimentares, já durante o Cenozoico, a região da costa norte brasileira passou por um período de estabilidade tectônica, fator esse que propiciou a instalação de grandes áreas entre as bacias, sendo elas as Plataformas Pará e Bragantina Amorim (2016).

Na Plataforma Bragantina, os depósitos carbonáticos e siliciclásticos do Oligo-Mioceno foram denominadas formações Pirabas e Barreiras, respectivamente. No entanto, depósitos carbonáticos e siliciclásticos também foram depositados em outros domínios estruturais diferentes e favoreceram a falsa ideia de que todos esses depósitos tiveram uma evolução semelhante. A Plataforma Bragantina apresenta os melhores afloramentos dos calcários marinhos oligocenos e miocenos representados pela Formação Pirabas (Figura 2). A relativa estabilidade tectônica durante o Neógeno, sem importante afluxo fluvial, faz da Plataforma de Bragantina a principal candidata para a avaliação das possíveis causas da supressão da plataforma carbonática. Trabalhos anteriores indicam que os depósitos da plataforma carbonática de Pirabas foram sucedidos por um evento progradacional durante a metade ao final do Mioceno relacionado à deposição siliciclástica da Formação Barreiras (Rossetti *et al.* 2001, 2004, 2006).

## 2.3 ESTRATIGRAFIA

### 2.3.1 Bacia do Marajó

De acordo com Zalán & Matsuda (2007), a espessura do pacote sedimentar da Bacia do Marajó pode atingir cerca de 16.000 m de profundidade. Onde esse pacote sedimentar é dividido em duas sequencias sedimentares: rifte e a pós-rifte (Villegas 1998, Zalán & Matsuda 2007).

Galvão (2004) documentou que no embasamento da Bacia do Marajó, com cerca de 1.300 m de espessura, é encontrado o Grupo Trombetas, com as formações Manacapuru, Pitinga e Nhamundá/Autás-Mirim de idade Odoviciano-Siluriano (Figura 3).

A sequência rifte é definida como sendo formada por dois pacotes sedimentares (Miller & Avenius 1986, Carnes *et al.* 1989, Carvajal *et al.* 1989). A primeira fase está ligada a eventos iniciais da abertura do Atlântico Central, enquanto que a segunda fase é considerada a mais importante e é datada da transação do Aptiano-Albiano, durante a ampliação da Bacia (Azevedo 1991). Segundo Villegas (1994), os estratos da segunda fase tratam-se em parte por sedimentos clásticos-arenosos da Formação Breves, depositados em ambiente continental e transicional, fluvial e flúvio-deltaico; e parte também por fanglomerados da Formação Jacarezinho, essencialmente formado por clásticos grossos e seixos, formados em leques aluviais. Avenius (1988) relatou a presença de estratos argilo-silticos uniformes, da Formação Anajás, sobrepostos à Formação Breves, depositados provavelmente em grandes lagos rasos ou através de curtas transgressões marinhas, de forma restrita às sub-bacias de Mexiana e Limoeiro.

A sequência Pós-rifte apresenta uma discordância na base bem definida, que pode ter sido causada provavelmente pelo processo de erosão e/ou não deposição sedimentar, esta discordância se mostra mais acentuada nas sub-bacias de Limoeiro e Cameté (Villegas 1994). De acordo com Avenius (1988) e Snyder (1988), a sequência pós-rifte é caracterizada por duas unidades estratigráficas principais. Sendo tais unidades representadas pelos sedimentos da Formação Limoeiro que está presente do Cretáceo ao Paleógeno, sendo esta formação constituída por arenitos friáveis, finos a grossos com frequentes níveis conglomeráticos e intercalações de argilitos, depositados em ambiente fluvial e instalados sobre a sequência basal; e por sedimentos da Formação Marajó, constituído por arenitos finos, argilitos e folhelhos, depositados entre Paleógeno e Negóeno (Schaller *et al.* 1971). A Formação Barreiras está presente a partir do Mioceno Médio, com intercalações de arenitos e arilitos depositados em ambiente costeiro (Galvão 2004, Zalán & Matsuda 2007). Por fim, os sedimentos quaternários da Formação Tucunaré, constituídos por arenitos finos a médios, que ocorrem de forma concordante sobre a Formação Barreiras (Figura 3). A deposição contínua dessa sequência reflete processos passivos de sedimentação, ligados a uma grande estabilidade tectônica.

### 2.3.2 Plataforma Bragantina

A Plataforma Bragantina é composta primordialmente por uma sucessão neógena corresponde às formações Oligoceno-Mioceno Pirabas e Médio Mioceno Barreiras. Essas unidades se sobrepõem de forma inconformada ao embasamento cristalino pré-cambriano, rochas siliciclásticas silurianas e cretáceas, como pode ser visto nas Figuras 2 e 3.

A Formação Pirabas, Oligoceno-Mioceno, consiste em uma sucessão com cerca de 140 m de espessura de argilitos calcários com alto conteúdo fossilífero e arenitos bioclásticos. Esta unidade recobre as rochas cristalinas do embasamento pré-cambriano e os arenitos supostamente silurianos da região de São Miguel do Guamá, limite sul da Plataforma Bragantina. Sua idade de deposição baseia-se na presença do gastrópode *Orthaulax pugnax* (Ferreira 1982), foraminíferos relacionados às zonas N2 a N5 (Petri 1957) e palinórfos (Leite 2004). A Formação Pirabas é interpretada como plataforma marinha rasa, planície de maré e laguna (Góes *et al.* 1990, Aguilera *et al.* 2013, Nogueira & Nogueira 2017). Sua deposição está associada à combinação da elevação do nível do mar e subsidência tectônica durante a transição Oligoceno-Mioceno (Rossetti *et al.* 2013).

O registro sedimentar da Formação Barreiras, no Mioceno médio, consiste principalmente de argilitos e arenitos maciços altamente intemperizados e, mais localmente, conglomerados formados em uma variedade de ambientes, variando de leque aluvial a estuarino (Rossetti *et al.* 1989, Rossetti 2001, Rossetti *et al.* 2013). O topo da Formação Barreiras, na Plataforma Bragantina, é marcado por um paleossolo laterítico interpretado como resultado de uma queda do nível do mar no Tortoniano (10-5 Ma) (Rossetti *et al.* 2001, 2004). De acordo com Nogueira *et al.* (2021), a progradação dos depósitos Barreiras na Plataforma Bragantina levou ao desaparecimento da sedimentação carbonática associada à Formação Pirabas. Estudos de minerais pesados e análises de paleocorrentes realizadas em amostras do Barreiras coletadas na Plataforma Bragantina, bem como nas bacias de São Luís e Leste do Marajó sugerem rochas metassedimentares da Faixa Gurupí como a principal fonte de sedimentos. As fontes secundárias são rochas sedimentares graníticas e retrabalhadas do Cráton de São Luís e da bacia do Grajaú (Rossetti *et al.* 1989, Rossetti & Góes 2004, Nascimento & Góes 2005, Truckenbrodt *et al.* 2005, Nogueira *et al.* 2021).

A unidade Pós-Barreiras, exposta no norte do Brasil, foi depositada durante dois eventos de sedimentação e é informalmente dividida em Pós-Barreiras I e II (Tatumi *et al.* 2008). A unidade Pós-Barreiras I com 10 m de espessura é composta por areias avermelhadas friáveis e leitos de argila siltosa com bioturbação. Esses depósitos são recobertos de forma

inconformada por sedimentos Pós-Barreiras II caracterizados por areia de granulação fina de 2 a 5 m de espessura (Rossetti *et al.* 1989). A espessura do Pós-Barreiras depende dos diferentes compartimentos tectônicos.

O embasamento da Plataforma Bragantina pode ser encontrado em profundidades de até 45 m nas porções mais internas do continente, enquanto no litoral é encontrado a cerca de 150 m de profundidade, sendo composto por rochas ígneas e metamórficas, bem como arenitos paleozoicos na região de São Miguel do Guamá (Klein & Moura 2003, Rossetti & Góes 2004).

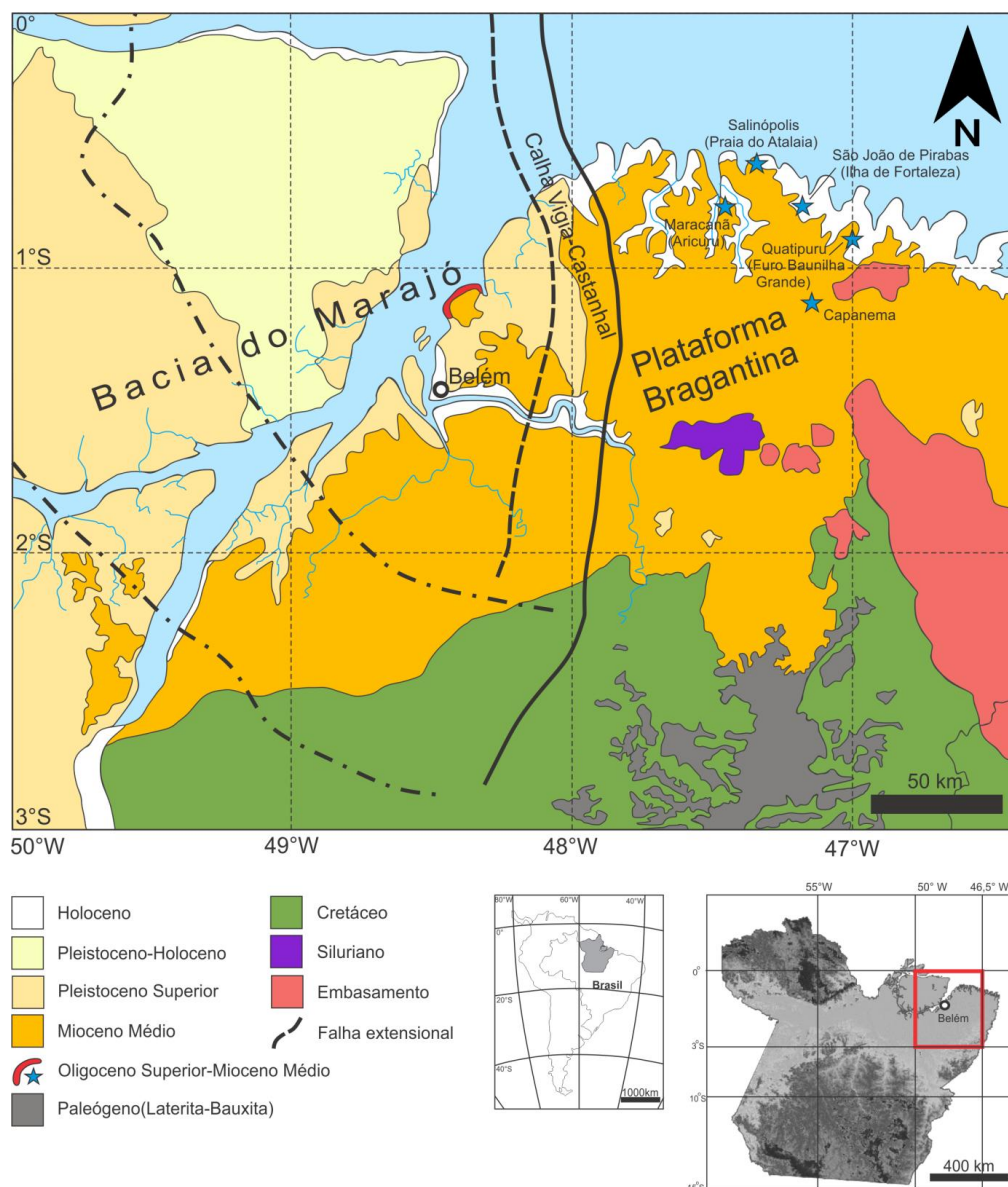


Figura 2 – Mapa Geológico do Nordeste do estado do Pará, adaptado de CPRM (2008). O limite entre a Bacia do Marajó e Plataforma Bragantina é um traço contínuo enquanto o limite oeste da calha Vigia-Castanhal é tracejado. O contorno das sub-bacias da Bacia do Marajó está indicado com traços e pontos à esquerda do mapa.

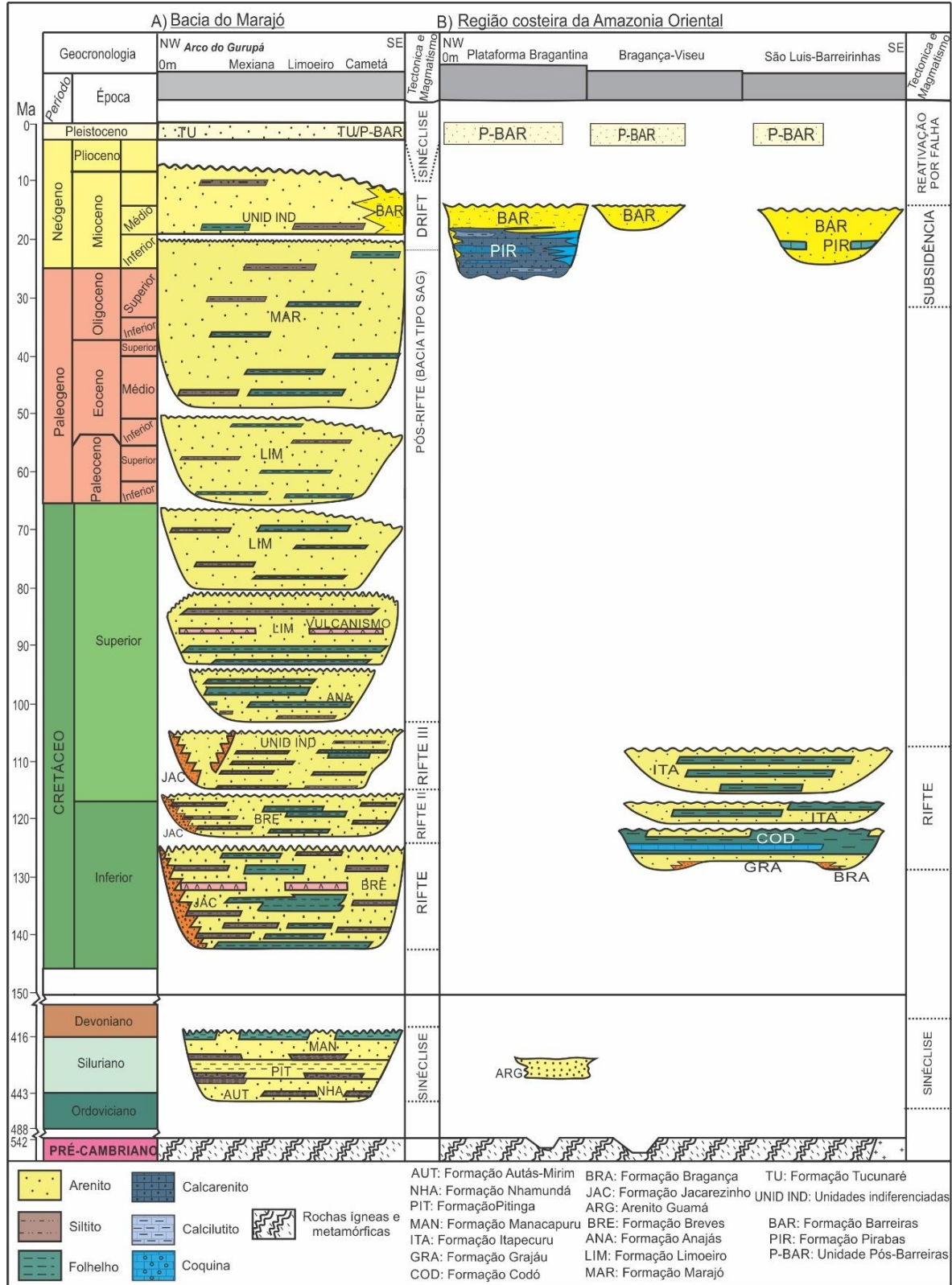


Figura 3 – Cartas estratigráficas da Bacia do Marajó e da Região costeira da Amazônia oriental - Plataforma Bragantina. Modificada de (Zalán 2007, Zalán & Matsuda 2007 e Rossetti *et al.* 2013).

## 2.4 DADOS GEOFÍSICOS PRÉVIOS

A Bacia do Marajó é uma bacia pouco estudada do ponto de vista geofísico, tendo poucos trabalhos exclusivamente voltados para entender essa bacia. Na década de 1960 a Petrobras começou a realizar investigações geofísicas e perfuração de poços na Bacia do Marajó, com a intenção de analisar a possibilidade de exploração de hidrocarbonetos (Troelsen 1964, Ludwing 1964, Aguiar *et al.* 1966). Rezende & Ferradaes (1971) interpretaram dados aeromagnéticos, gravimétricos e sísmicos, obtidos pela Petrobrás, possibilitando a delimitação da Bacia do Marajó, bem como a identificação de feições estruturais interpretadas como sendo os Grabéns de Limoeiro e Mexiana. Villegas (1994) interpretou seções sísmicas de reflexão, identificando falhas, dobras e discordâncias estratigráficas importantes para o estudo da evolução da bacia. Santos-Junior *et al.* (2019) utilizou de modelagem crustal, a partir de dados gravimétricos satelitais, para delinear o sistema de grábens do Marajó (Figura 4). Conseguindo com o resultado de anomalia residual localizar, com melhor precisão, as sub-bacias de Limoeiro, Mexiana e Cametá, onde esta última sub-bacia encontra separada das demais por uma elevação no sinal gravimétrico reforçando a ideia de uma elevação do embasamento, como descrito previamente por Villegas (1994).

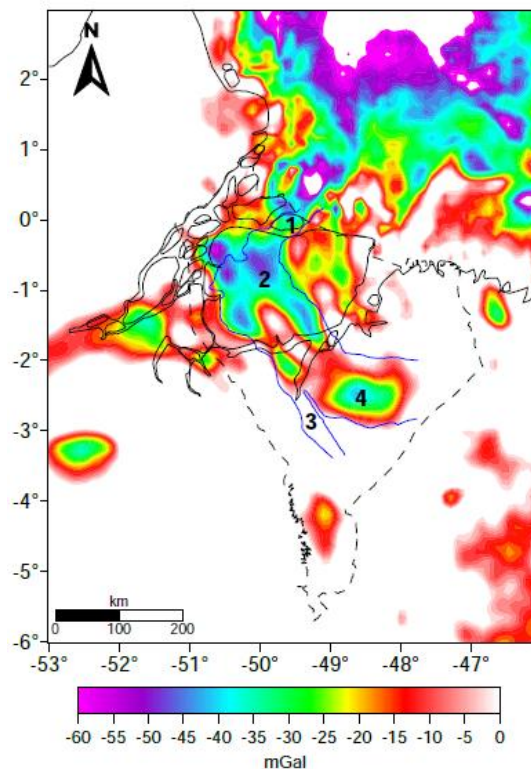


Figura 4 – Delineação das sub-bacias (1) Mexiana, (2) Limoeiro, (3) Mocajuba e (4) Cametá, que fazem parte do Sistema de Grábens do Marajó, utilizando modelagem crustal. Fonte: (Santos-Junior *et al.* 2019).

Em um estudo recente de inversão 2D realizada em dois perfis de dados gravimétricos da sub-bacia de Cameté, Monteiro (2020) estimou a profundidade do embasamento (Figura 5), mostrando que o depocentro dessa sub-bacia está a cerca de 12 km de profundidade, corroborando assim com estudos sísmicos já realizados na região e com dados de poços presentes na localidade.

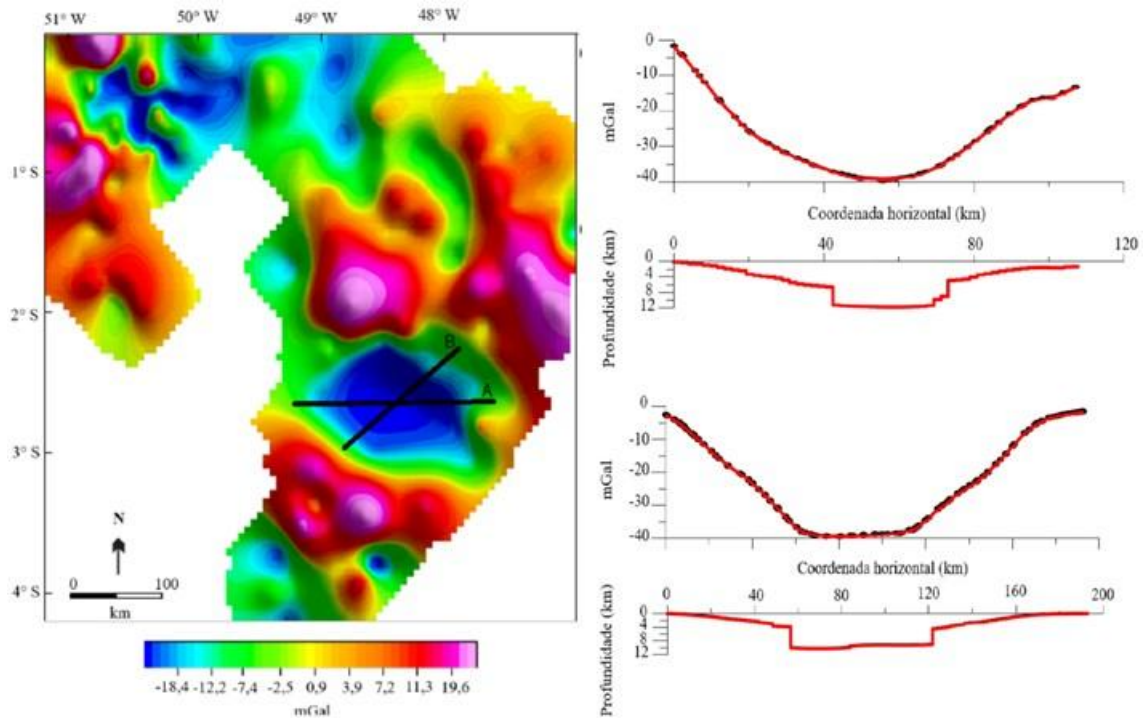


Figura 5 – Estimativa do relevo do embasamento da sub-bacia de Cameté via inversão 2D de dados gravimétricos. Fonte: (Monteiro 2020).



### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

Esse trabalho utilizou a combinação de dados geológicos e geofísicos (método gravimétrico) com a finalidade de entender a configuração da deposição dos sedimentos cenozoicos na área de estudo. A gravimetria é bastante usada em estudos geológicos, pois por meio desse método é possível identificar e interpretar diferentes feições em subsuperfície, com base no contraste de densidade dos diferentes componentes da crosta (Telford *et al.* 1990).

Para o estudo gravimétrico é necessário a separação das componentes regional e residual do sinal, uma vez que, com essa técnica é possível identificar melhor os registros geológicos de interesse (Lowries 2007, Telford *et al.* 1990). Dentre as principais técnicas para realizar essa decomposição do sinal gravimétrico, destacam-se: a análise espectral (Spector & Grant 1970, Syberg 1972), o ajuste polinomial (Agocs 1951, Simpson 1954) e a modelagem crustal, sendo esta última a escolhida para implementação neste trabalho.

O objetivo da modelagem crustal é estimar um sinal gravimétrico denominado sinal predito ou calculado, representado por seu alto comprimento de onda, e através dele obter o sinal residual de interesse (baixo comprimento de onda). Para isso, a crosta foi discretizada em  $n$  prismas tridimensionais verticais, horizontalmente justapostos e de mesma densidade (crosta homogênea), onde o topo dos prismas coincide com a superfície topográfica e a base coincide com a Moho (Figura 6-b). Utilizando o algoritmo de Plouff (1976), os sinais gravimétricos, referente a cada prisma, são interpolados em uma malha regularmente espaçada, sendo que os pontos de observação coincidem com as posições das coordenadas horizontais para o centro de cada prisma. Dessa forma é possível obter os valores referentes a anomalia gravimétrica teórica calculada, causados pelos  $n$  prismas que simulam a crosta.

Por meio da subtração do sinal gravimétrico observado, referente a uma crosta com heterogeneidades, podendo este sinal ser obtido de forma terrestre, aéreo ou satelital e do sinal gravimétrico predito, obtido na modelagem, obtém-se o sinal residual que se presume como sendo a resposta exclusiva das heterogeneidades presentes na crosta (fontes crustais) cuja esquematização é mostrada na Figura 6.

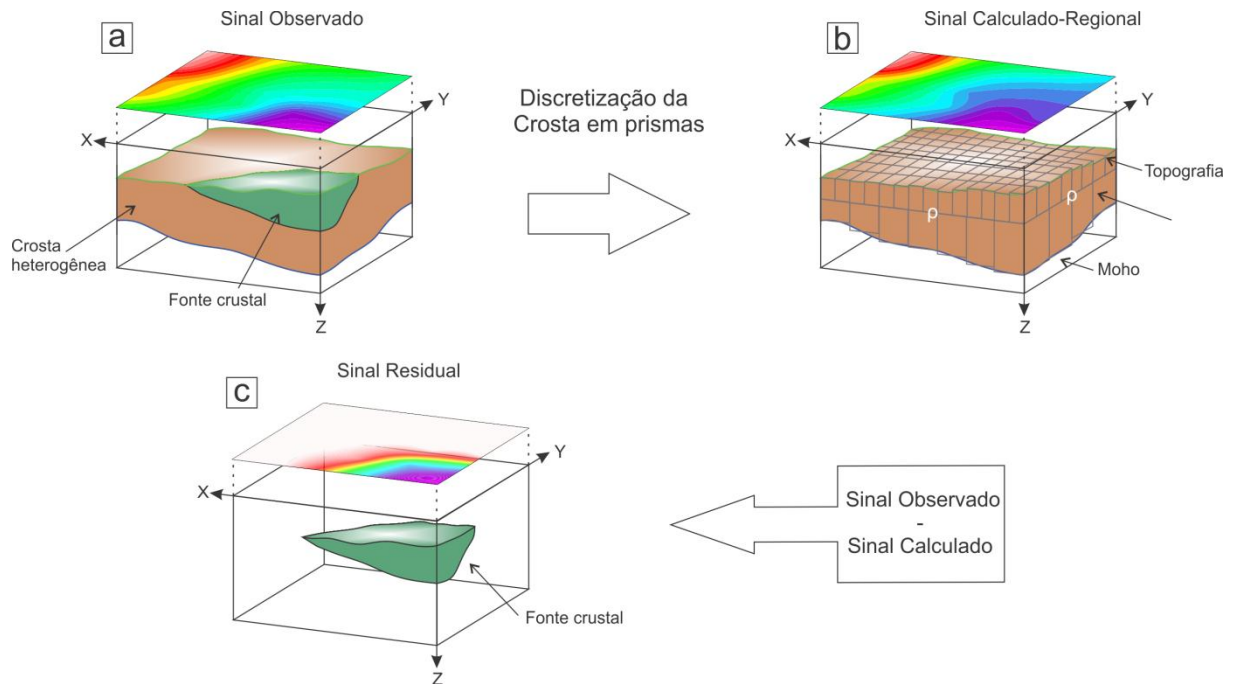


Figura 6 – Esquemática da metodologia para obtenção do sinal gravimétrico residual. (a) Sinal observado. (b) Sinal calculado-regional. (c) Sinal Residual.

Para a modelagem, bem como para a obtenção da anomalia residual gravimétrica foi definida uma janela de latitudes  $0^{\circ}\text{N}$  e  $-3^{\circ}\text{S}$  e longitudes  $-46.5^{\circ}\text{L}$  e  $-50^{\circ}\text{O}$  para a realização do estudo.

No processo de aquisição do dado calculado, foi utilizado como limite superior na discretização dos prismas o modelo digital de terreno Etopo1, produzido pela National Geophysical Data Center, obtido no serviço online do ICGEM (International Center for Global Earth Models). O Etopo1 é um modelo de relevo global que integra a topografia da terra e a batimetria oceânica, neste dado a elevação da porção terrestre área de estudo chega a cerca de 180 metros (acima do nível do mar), Figura 7. Da mesma forma, para o limite inferior da discretização foi utilizada a profundidade da Moho estimada por Uieda & Barbosa (2016), estes autores estimaram por inversão gravimétrica o valor do relevo da Moho para toda a América do Sul e disponibilizaram o arquivo de dados, do qual foi recortada a janela de interesse, para a região a Moho varia de aproximadamente 31 a 38 km de profundidade (Figura 8).

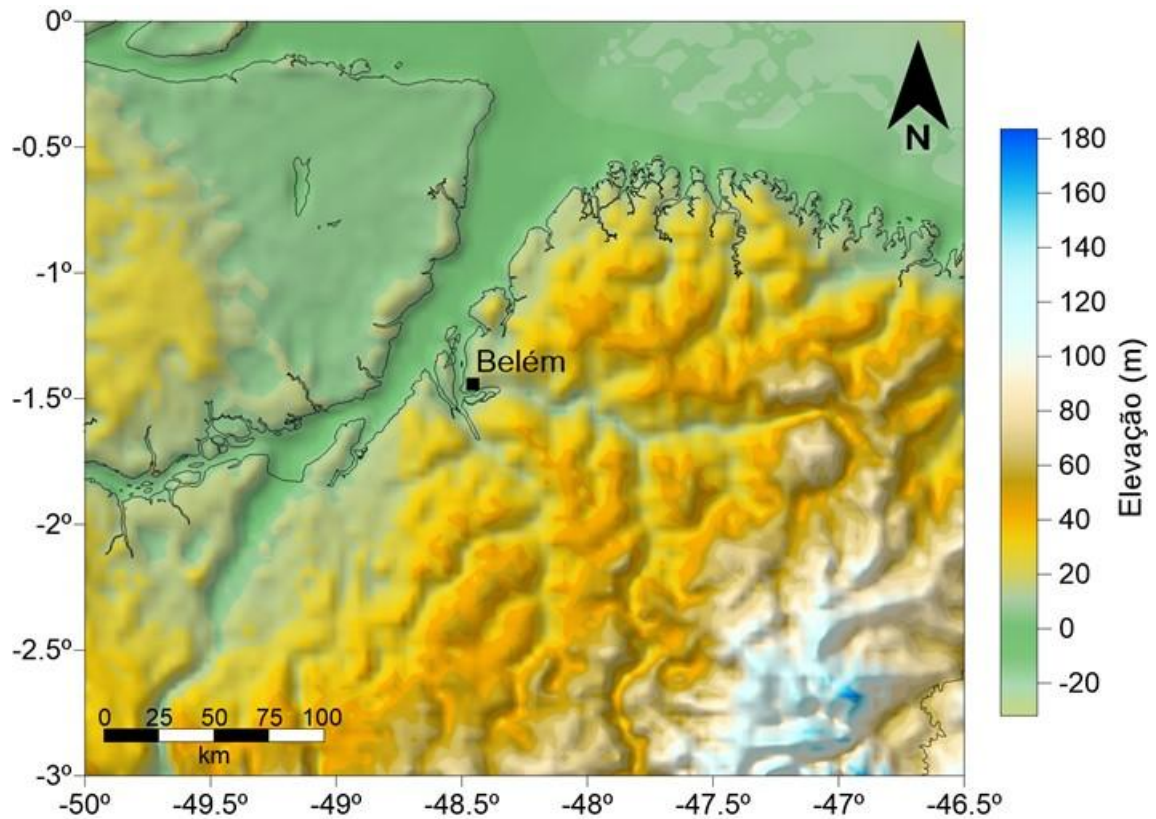


Figura 7 – Modelo digital de terreno (ETOPO1) do nordeste paraense, evidenciando uma variação de 180 metros a cima do nível do mar na região.

Para a determinação do sinal residual foi adotado, como sinal observado, a anomalia Bouguer satelital, Figura 9, esse dado foi gerado a partir do modelo do campo de gravidade EIGEN-6C4 (European Improved Gravity model of the Earth by New techniques). O EIGEN-6C4, é um modelo de harmônicos esféricos, que possui uma aproximação de grau/ordem 2190, e foi inferido a partir da combinação de dados satelitais, GRACE, GOCE e LAGEOS e terrestres, DTU e EGM 2008 (Förste *et al.* 2014), onde este dado também foi adquirido pelo serviço online ICGEM. A obtenção da anomalia residual foi feita a partir de um programa construído em linguagem Fortran, com os mapas sendo plotados e editados no Software Surfer 13. Apesar de ser possível uma interpretação prévia, com base na anomalia Bouguer observada, em vários pontos a anomalia gravimétrica é mascarada devido ao caráter aditivo do sinal, tornado uma interpretação limitada, evidenciando assim a importância da obtenção da anomalia gravimétrica residual para fins interpretativos de fato.

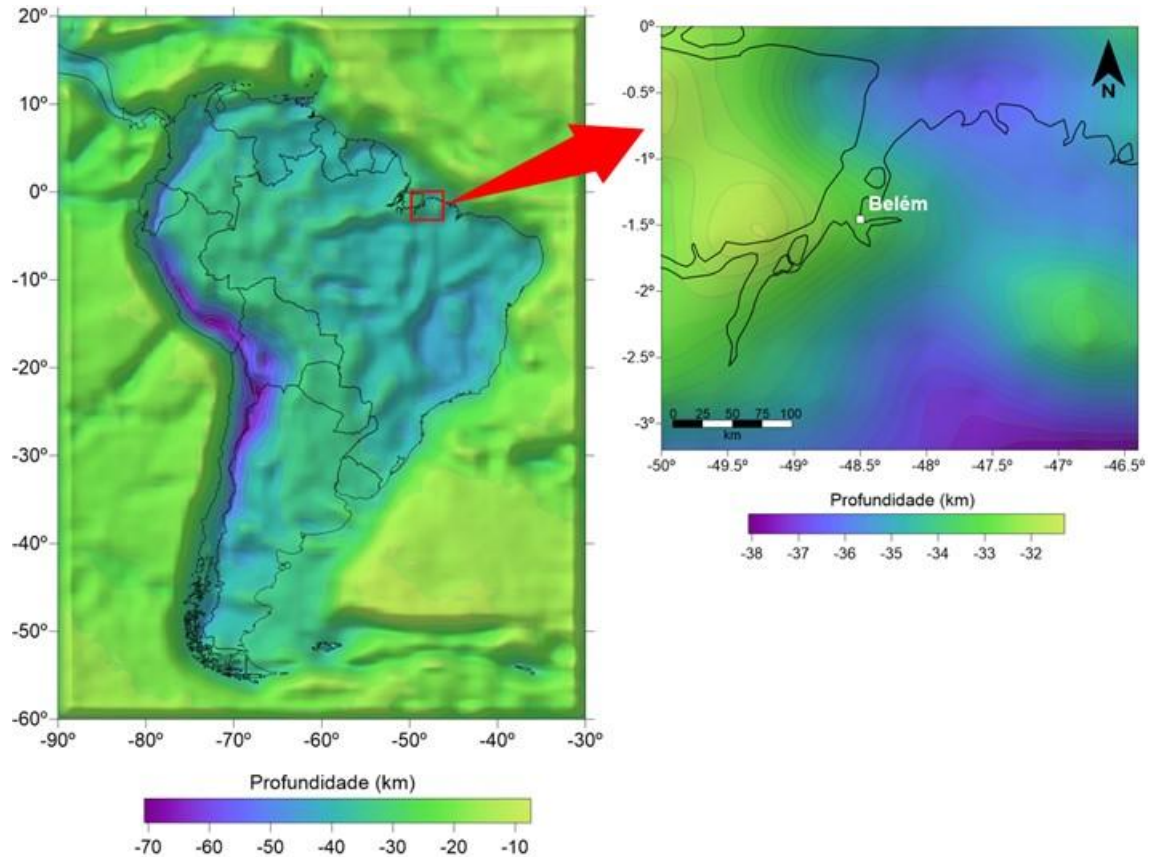


Figura 8 – À esquerda a estimativa da profundidade da Moho para toda região da América do Sul. À direita um recorte mostrando em detalhes os dados da profundidade da Moho para a área de estudo. Modificado de (Uieda & Barbosa 2016).

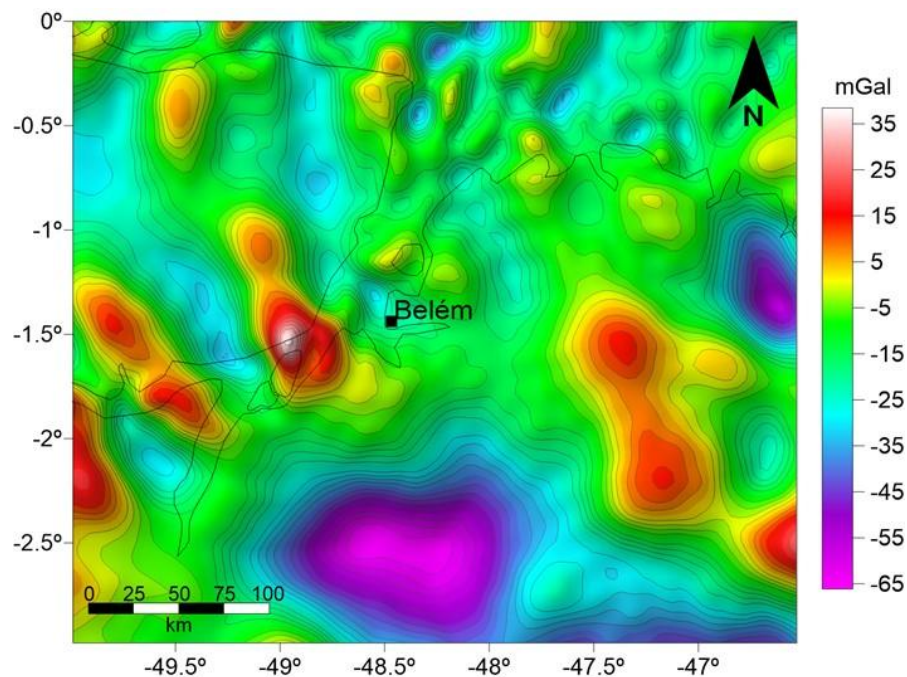


Figura 9 – Anomalia Bouguer observada para a região do nordeste paraense. Dado gravimétrico satelital produzido a partir do modelo campo EIGEN 6C4 (European Improved Gravity model of the Earth by New techniques).

## 4 RESULTADOS

### 4.1 SINAL REGIONAL

O sinal predito ou regional foi obtido através da discretização, em n prismas, da crosta homogênea, utilizando dados de topografia e a profundidade da Moho, como visto na Figura 6-b. O sinal gravimétrico calculado (Figura 10) é caracterizado como sendo a resposta gravimétrica em escala regional, correspondendo assim, a campos de baixa frequência bastante influenciados pelos dados da descontinuidade de Mohorovik (Moho). Dessa forma, o sinal regional da área de estudo apresenta valores suaves, variando de -15 a -75 mGal, não podendo assim ser feita uma análise mais interpretativa por meio desse dado, sendo necessária a anomalia gravimétrica residual para esse fim.

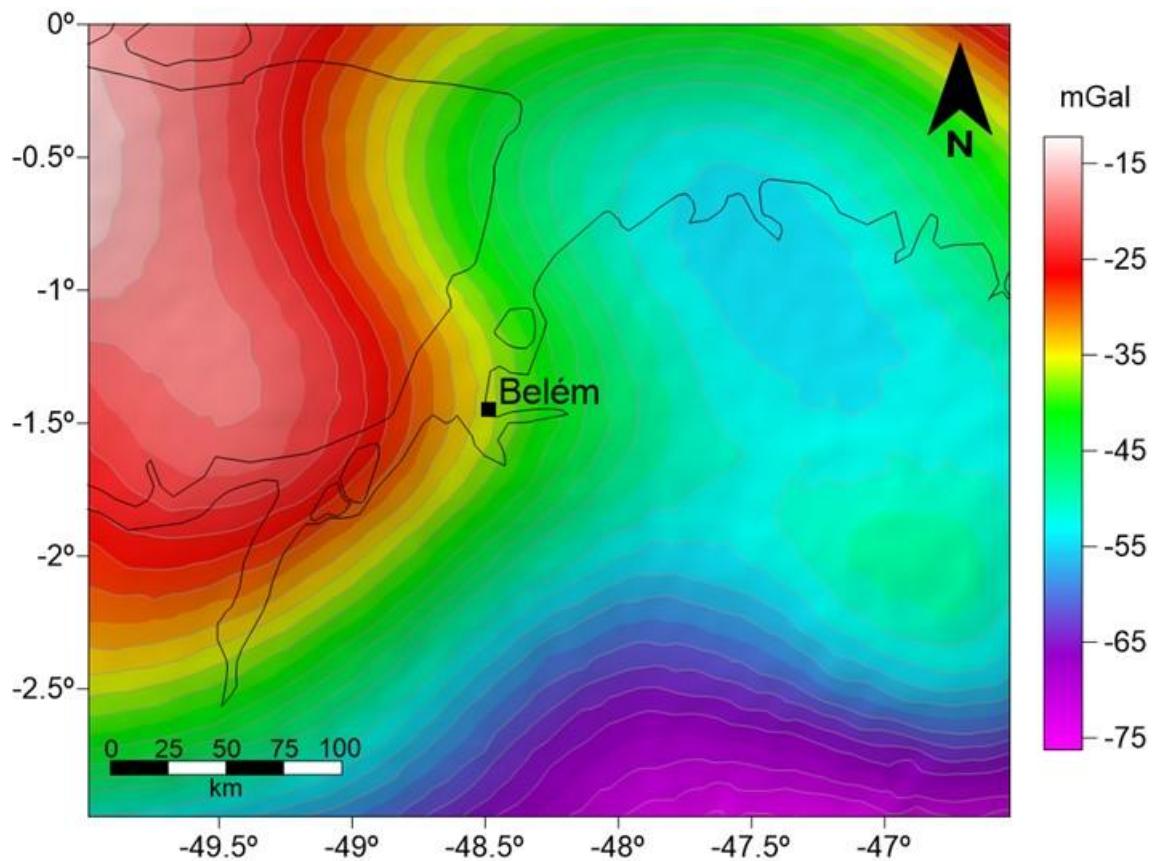


Figura 10 – Anomalia gravimétrica Regional/calculada da região objeto de estudo. Dado obtido a partir de modelagem crustal da região do Nordeste Paraense.

## 4.2 ANOMALIA GRAVIMÉTRICA RESIDUAL

A subtração entre a anomalia gravimétrica observada, Figura 9, e o sinal regional, Figura 10, gera a anomalia gravimétrica residual, mostrada na Figura 11. Para a área estudada, o sinal residual se mostrou bastante eficiente, uma vez que conseguiu delinear estruturas já descritas na literatura, como o Sistema de Grábens do Marajó, apresentado por Villegas (1994), representados pelas sub-bacias de Limoeiro, Cametá e Mocajuba interpretado como sendo a zona com os maiores baixos gravimétricos encontrados no mapa (regiões com valores superiores a -40 mGal). Em contrapartida, no Nordeste paraense existe uma zona de valores altos do sinal residual (superior a 10 mGal), caracterizando a região da Plataforma Bragantina, a alta do sinal gravimétrico (Figura 11) nessa porção pode estar relacionada com o fato de o embasamento está mais próximo da superfície, tendo desta forma, forte influência no sinal da região, como pode ser melhor detalhada na Figura 12.

Em especial, a anomalia residual da Figura 11 mostra duas zonas pouco estudadas até então. As duas regiões apresentam sentido NW-SE, no entanto possuem intensidade dos baixos gravimétricos diferentes, a primeira localizada a Leste da Bacia do Marajó, denominada previamente de Plataforma Pará, caracterizada por um baixo gravimétrico acentuado de -35 mGal, que se estende por quase toda parte leste da Ilha do Marajó, chegando até a região onde está localizada a cidade de Belém; a segunda região, Calha Vigia-Castanhais, possui um baixo mais fraco que da Plataforma Pará, porém o sinal é inferior ao da região na qual está inserida com cerca de -15 mGal, sendo esta localidade considerada a divisória entre as Plataformas Pará e Bragantina (Amorim 2016).

Também foi realizada uma calibragem da profundidade do embasamento a partir de dados de poços disponibilizados na literatura. No total foram catalogados 14 poços, dos quais 11 estão disponíveis no Sistema de Informações de Águas Subterrâneas, SIAGAS (2011) e 3 da Agência Nacional de Petróleo, ANP (2019), ver Figura 12. Os 11 poços do SIAGAS estão dentro da zona de alta nos valores da anomalia gravimétrica residual (Plataforma Bragantina situada ao norte dessa região). Os valores encontrados para a profundidade do embasamento crustal nesses poços variou de 28 metros em Santa Luzia do Pará até 152 m em Salinópolis (Figura 12), o que mostra que o embasamento na parte norte da Plataforma Bragantina é relativamente mais raso do que nas áreas de domínio da Bacia do Marajó. Já na porção até então interpretada como Plataforma Pará, os únicos poços que apresentam dados do embasamento são os da ANP (Figura 12), dos quais dois estão ao Norte da Ilha do Marajó: 2-COST-PA (Camaleão) com 1.450 metros de profundidade e o 1-CR-1PA (Cururu) que

apresenta o embasamento a 3.850 metros. O terceiro poço da ANP é o 1-BJ-PA (Badajós) a leste da Sub-bacia de Cameté, com profundidade de 2.150 metros, evidenciando que nessa área o embasamento encontra-se em elevadas profundidade e com relevo abrupto (Figura 12).

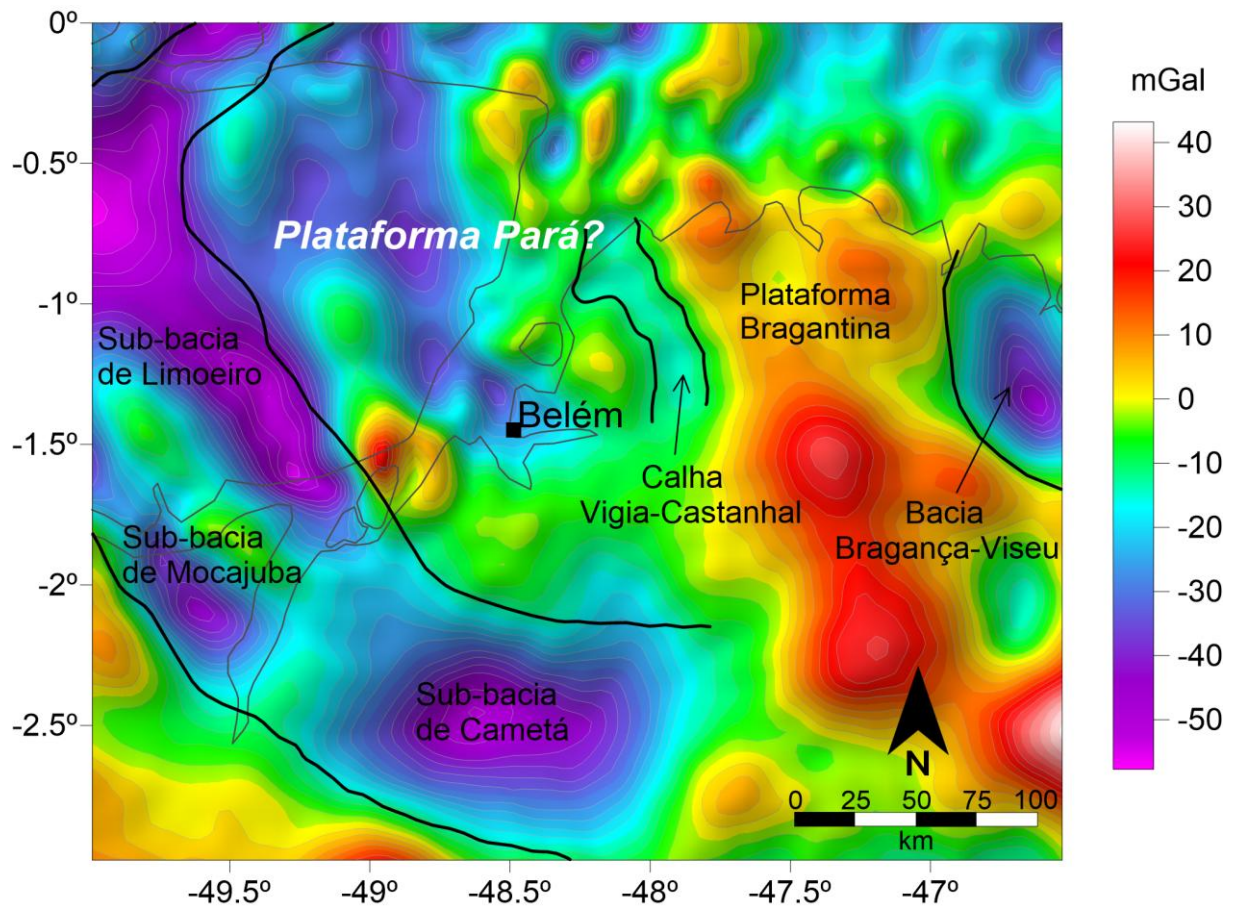


Figura 11 – Anomalia gravimétrica residual da região nordeste do Pará. Nesse dado foi possível interpretar estruturas como o Sistema de Grábens do Marajó (Sub-bacias de Limoeiro, Mocajuba e Cameté); a Bacia Bragança-Viseu e a Plataforma Bragantina. Além de compartimentações como a Calha Vigia-Castanhal, localizada na borda oeste da Plataforma Bragantina, e um baixo gravimétrico acentuado na região que corresponderia a Plataforma Pará.

A identificação de baixos gravimétricos inferiores à anomalia de -15 mGal com alta espessura de sedimentos acumulados, como visto nos dados dos poços da ANP, sugere forte subsidência não compatível com a interpretação prévia de uma plataforma entre a Bacia do Marajó e a Plataforma Bragantina. Este segmento denominado previamente de Plataforma do Pará é francamente subsidente com depressões que chegam a -35 mGal. Sendo essa área, a partir de agora, incluída como parte da borda/margem oriental da Bacia do Marajó, região esta que apresenta a Calha Vigia-Castanhal como feição limítrofe leste, definindo a separação entre a Bacia do Marajó e a Plataforma Bragantina, como é possível ver na Figura 12.

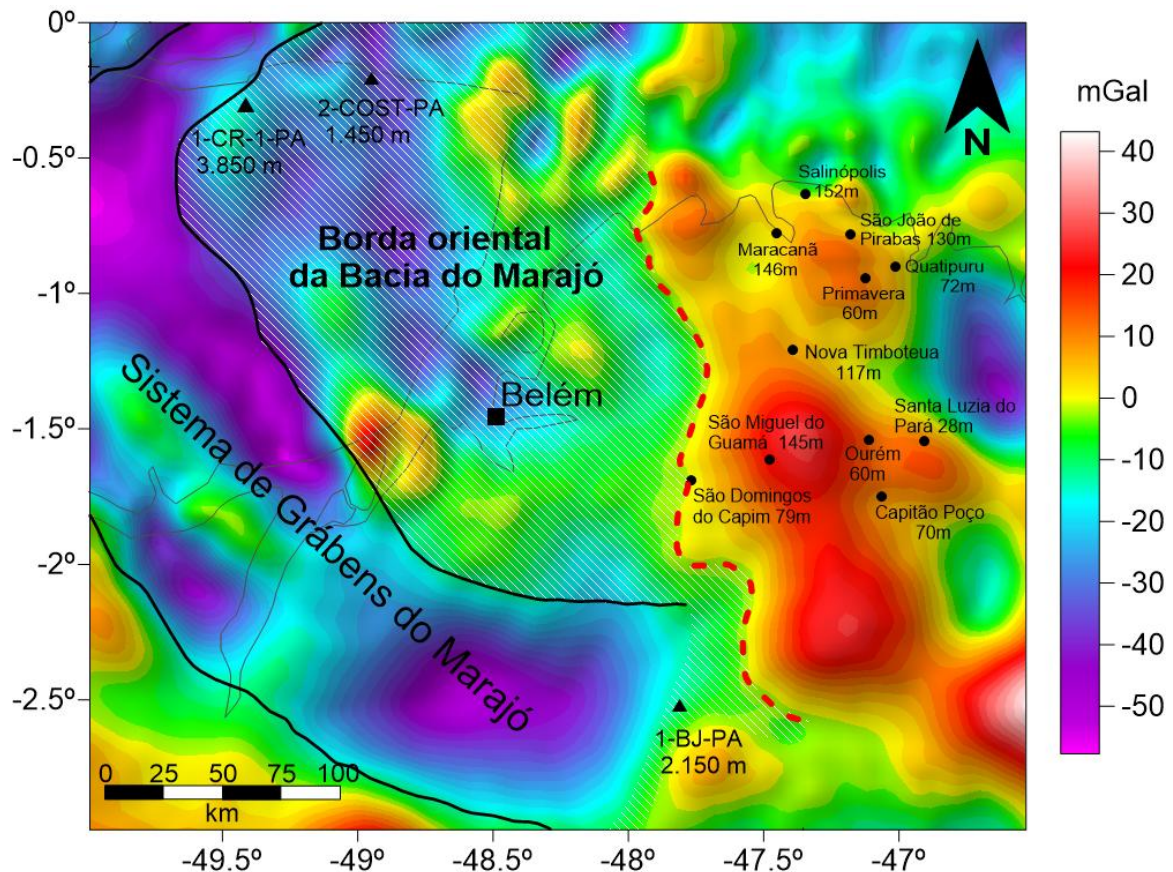


Figura 12 – Distribuição das profundidades do embasamento obtidas a partir de dados de poços (Triângulos referentes a poços da ANP e círculos referentes a poços do SIAGAS). Linha tracejada vermelha representa o limite entre a Bacia do Marajó e a Plataforma Bragantina. A área hachurada, em destaque, representa o que foi interpretado como sendo a Borda Oriental da Bacia do Marajó – antiga Plataforma Pará.

Perfis litológicos de poços SIAGAS (Figura 13) mostram uma discrepância tanto nas litologias (fator determinante para a definição de uma unidade geológica) quanto nas espessuras dos pacotes sedimentares, sendo esse espaço bastante reduzido na região que compreende a Plataforma Bragantina (cerca de 160 metros). Do ponto de vista da litologia, na Plataforma Bragantina predominam sedimentos carbonáticos atribuídos aqui para Formação Pirabas, enquanto na Bacia do Marajó, predominam sedimentos siliciclásticos (compatível com a Formação Marajó), ver Figura 13. Nesse sentido, é presumível que essas duas regiões não estiveram sob as mesmas condições de deposição durante o Oligo-Mioceno, apresentando assim ambientes e configurações geotectônicas distintas, não compatíveis com as interpretações de até então. Corroborando, assim, para as interpretações propostas nesse trabalho.



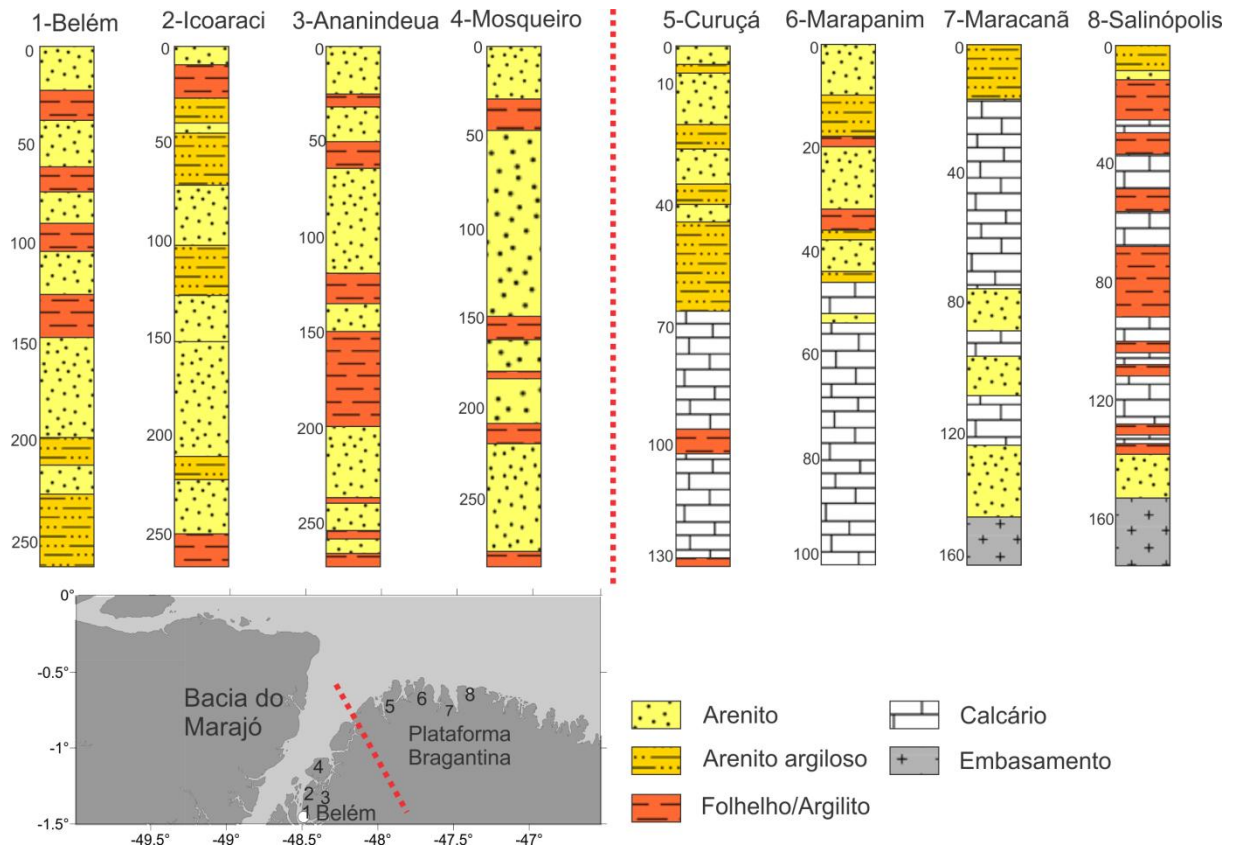


Figura 13 - Distribuição lateral de registros litológicos entre as cidades de Belém e Salinópolis, com base na descrição de testemunhos de poços para captação de água. Nas localidades dos poços 1, 2, 3 e 4 área da borda oriental da Baía do Marajó, ocorre a predominância de rochas siliciclásticas da Formação Marajó com mais de 250 m de espessura sem atingir o embasamento cristalino. Por outro lado, nos poços 5, 6, 7 e 8 realizados nos domínios da Plataforma Bragantina ocorre uma predominância de rochas carbonáticas da Formação Pirabas recobrindo o embasamento cristalino. A linha vermelha tracejada delimita as duas unidades geotectônicas. Modificado de (SIAGAS 2011).

De modo a realizar uma análise apenas da Baía do Marajó, bem como a influência da mesma na região de estudo, foram retirados todos os valores positivos da anomalia gravimétrica residual, deixando apenas os dados com valores negativos, Figura 14. Dessa forma, o mapa representado na Figura 14-a apresenta a zona de influência exclusivamente da Baía do Marajó, visto que, a assinatura gravimétrica para bacias sedimentares é presumivelmente negativa, devido ao contraste de densidade entre o embasamento crustal e o pacote sedimentar ser negativo. Na Figura 14-a, os limites da bacia são indicados pela linha tracejada preta, separando a área total da bacia sedimentar das estruturas vizinhas, como a Plataforma Bragantina (suprimida do mapa devido exibir valores positivos de anomalia).

Foi realizado também um estudo acerca dos depocentros da Baía do Marajó. Como resposta foi obtida duas classificações: os depocentros principais, com sinal que chega a ultrapassar  $-56$  mGal, referentes aos centros das Sub-bacias que compõe o Sistema de Grábens (Limoeiro, Mocajuba e Cameté) e o depocentro secundário, com um sinal que chega

em alguns pontos a -40 mGal (secundário devido a resposta do sinal não ser tão expressiva quanto ao do depocentro principal), corroborando mais uma vez para a interpretação de expansão da Bacia do Marajó para leste, Figura 14-b.

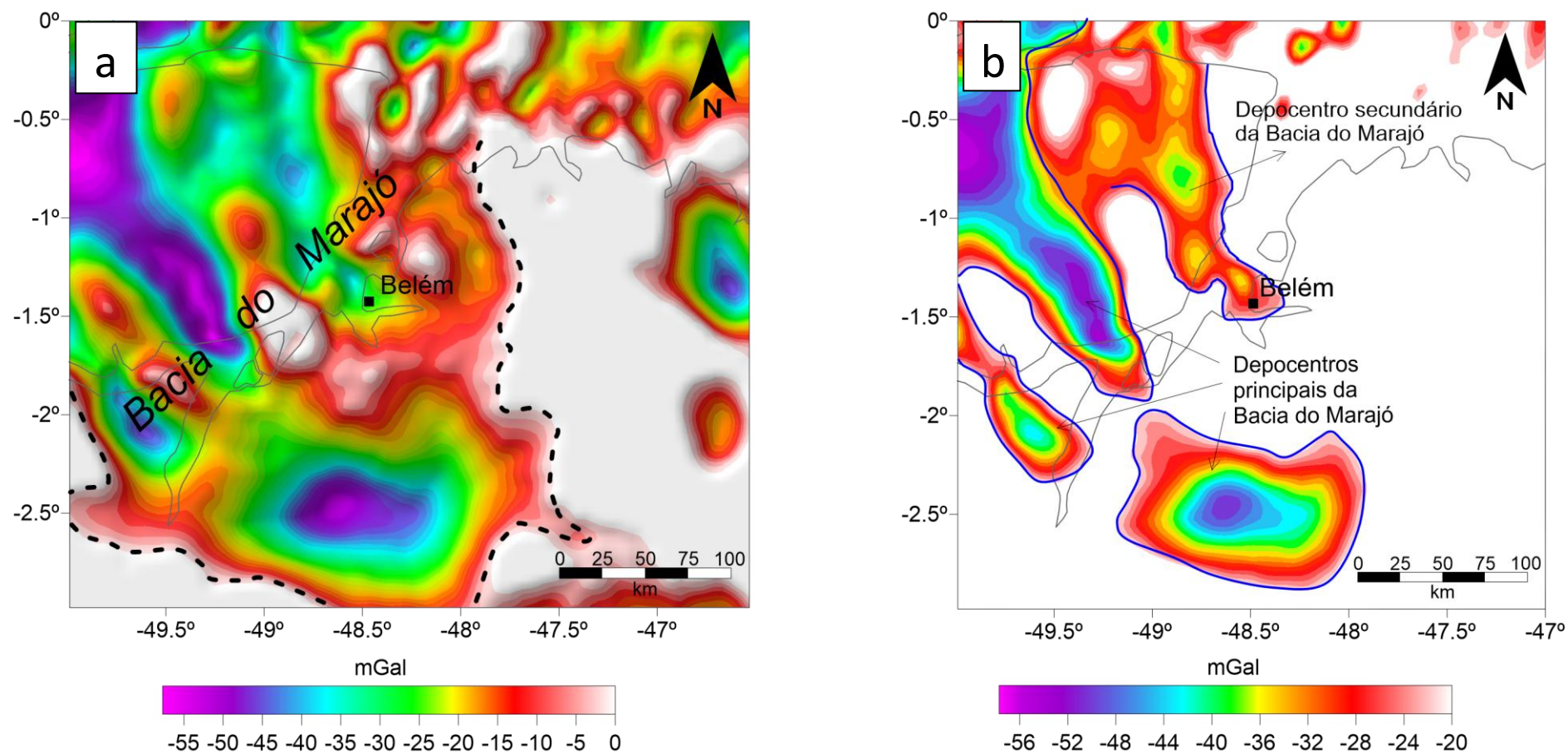


Figura 14 – (a) representação apenas dos valores negativos do sinal gravimétrico residual, a fim de entender a influência da Bacia do Marajó, onde a linha tracejada preta mostra o limite da bacia. (b) localização dos depocentros da Bacia do Marajó (linhas azuis), classificando-os em depocentros principais (sub-bacias) e o depocentro secundário, na região da borda da bacia.

## 5 DISCUSSÃO

As interpretações prévias para a porção leste da Amazônia costeira apresentam áreas subsidentes com influências distintas do embasamento. A Plataforma Bragantina apresenta uma área tectonicamente estável e com profundidade de embasamento que não ultrapassa os 200 metros de profundidade. Por outro lado, a zona interpretada como a porção mais rasa da bacia do Marajó, mostra-se com dados pontuais do embasamento que nos permite saber profundidades superiores a 3.800 metros. Desse modo, a configuração tectônica (espaço de acomodação) da região teria influência na deposição dos sedimentos locais. Na Figura 15, foi realizado um esboço da subsuperfície no sentido SW-NE reinterpretando os principais segmentos tectônicos da Bacia do Marajó, com destaque para os dois compartimentos que compõe a bacia, o mais subsidente de idade cretácea, denominado Sistema de Grábens do Marajó, e o outro compartimento relativamente menos subsidente de idade cenozoica, que foi nesse trabalho interpretado como sendo a borda oriental da Bacia do Marajó, que inclui a Calha Vigia-Castanhal (limite entre a bacia e a Plataforma Bragantina).

Durante o Oligo-Mioceno, os detritos carregados possivelmente pelo Rio Amazonas Cratônico foram carreados para a Bacia do Marajó, resultando nos depósitos exclusivamente siliciclásticas da Formação Marajó. Este volume expressivo de carga sedimentar foi fator determinante de impedir a formação de bancos carbonáticos na Bacia do Marajó, como aqueles existentes na Formação Pirabas. Apenas, no compartimento tectônico chamado Plataforma Bragantina este processo pode se desenvolver. Esta região é caracterizada por um espaço de acomodação reduzido, com estabilidade da plataforma. Estas condições aliada a não influencia de sedimentos terrígenos criaram um ambiente propício para a formação de calcários relacionados à Formação Pirabas.

A diferença de espaço de acomodação dessas unidades pode ser observada pelo perfil esquemático apresentado neste trabalho, Figura 15. Dessa forma, baseando em dados geológicos prévios da área e no perfil residual é possível perceber que a deposição dos sedimentos nessa região foi fortemente influenciada pelo espaço de acomodação proporcionado pelo embasamento, enquanto na Plataforma Bragantina a Formação Pirabas acompanha a elevação do embasamento (parte positiva do sinal), a deposição da Formação Marajó foi feita em porção com subsidência relativa ligada a borda da Bacia do Marajó (parte negativa do sinal).

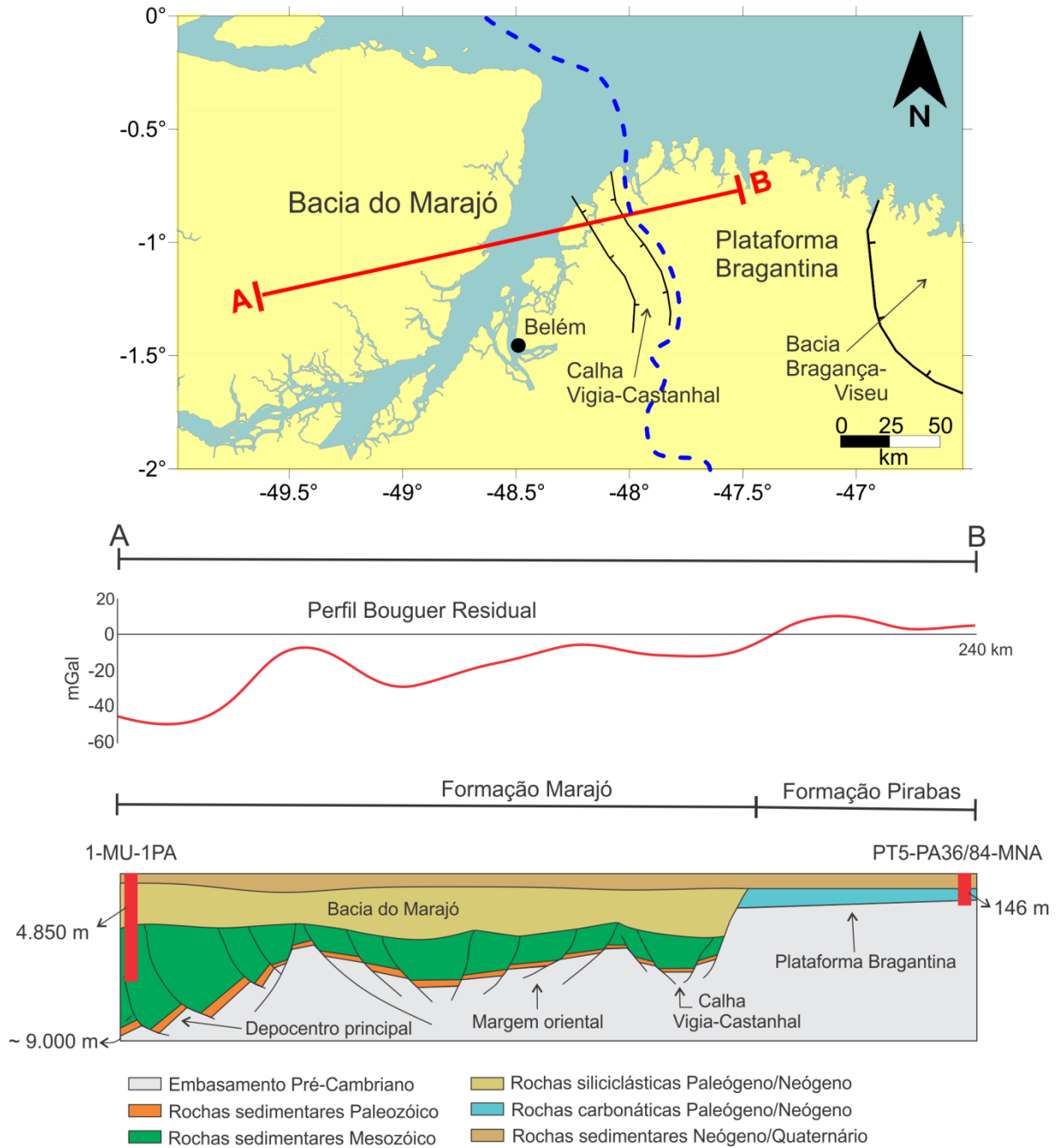


Figura 15 – Esquemática da configuração geotectônica e estratigráfica de subsuperfície da região da Bacia do Marajó e a Plataforma Bragantina, baseado no perfil Bouguer (AB) de sentido SW-NE. Esboço evidenciando a influência do espaço de acomodação, proporcionado pelo embasamento, na deposição das Formações Pirabas e Marajó.

## 6 CONCLUSÕES

A integração de dado gravimétrico residual com dados estratigráficos da região nordeste do Pará permitiu realizar novas interpretações no sentido de aprimorar e atualizar o conhecimento geológico dessa região.

Com a anomalia residual foi possível delinear a real zona de influência da Bacia do Marajó. Com base nesse dado, a bacia teve sua área expandida para leste, região anteriormente conhecida por Plataforma Pará, devido a acentuada subsidência acompanhada de baixos gravimétricos expressivos nessa porção. Com base nisso, essa região passa a ser designada como sendo a margem oriental da Bacia do Marajó (MOBM). Dessa forma, foi elaborada uma nova proposta de compartimentação tectônica para a região da costa oriental da Amazônia propondo inclusive os depocentros principais e secundários da Bacia do Marajó, bem como o limite que a mesma faz com a Plataforma Bragantina (Calha Vigia-Castanhal).

Como consequência da nova proposta tectônica da região, foi possível avaliar a sua influência sobre a deposição dos sedimentos nas regiões de estudo. Sendo assim, conclui-se que a Formação Pirabas ocorre apenas na Plataforma Bragantina, região com espaço de acomodação reduzido, não se estendendo para a margem da Bacia do Marajó, como era anteriormente considerado em outros trabalhos. Por outro lado, a Formação Marajó foi acomodada nas grandes zonas subsidentes relacionadas à Bacia do Marajó, o que resultou nas maiores espessuras preservadas para o Mioceno da região da Amazônia Oriental, graças a captura dos sedimentos siliciclásticos do Rio Amazonas Cratônico. Entre as duas formações geológicas, um divisor teria sido a feição da calha Vigia-Castanhal. Já a Formação Barreiras tem sua deposição expandida tanto na parte leste da Bacia do Marajó, como na Plataforma Bragantina. Os Depósitos Pós-Barreiras também recobriram ambos sítios deposicionais, porém as menores espessuras se encontram na Plataforma Bragantina.

Na Bacia do Marajó, a subsidência foi máxima no Mesozoico, embora tenha diminuído no Cenozoico ainda as unidades mais recentes alcançam até 150 m de espessuras indicando que até hoje a bacia é francamente subsidente. De todo modo, ainda é necessário um arcabouço geológico e geocronológico mais robusto para definir os intervalos de maior e menor subsidência na Bacia do Marajó.

## REFERÊNCIAS

- Arkermann F.L. 1964. Geologia e fisiologia da região bragantina. *Instituto Nacional de Pesquisa da Amazônia*, **2**:1-90.
- Agência Nacional do Petróleo (ANP). 2019. *GeoANP*. Disponível em: <http://www.geo.anp.gov.br>. Acesso em: Jan. 2021.
- Agocs W.B. 1951. Least-squares residual anomaly determination. *Geophysics*, **16**:686-696.
- Aguiar G.A., Bahia R.P., Rezende W.M. 1966. Prospecções geológicas e geofísicas executadas pela Petrobrás na Foz do Amazonas. *In: Proceedins of the Seventh Guiana geological Conference Paramaribo Surinam. Verhandelingen van het Koninklijk Nejerlands Geologisch mijnbouwkundig*. **27**:13-21.
- Aguilera O.A, Guimarães J.T.F., Moraes-Santos H. 2013. Neogene Eastern Amazon carbonate platform and the palaeoenvironmental interpretation. *Swiss Journal of Palaeontology*, **132**:99–118.
- Almaraz J.S.U. & Formoso M.L.F. 1971. Contribuição ao ambiente da Formação Pirabas - mineralogia das argilas. *Anais do Congresso Brasileiro de Geologia*, **25**(2): 247-265.
- Almaraz J.S.U. 1977. *Aspectos Geoquímicos e ambientais dos calcários da Formação Pirabas, PA*. PhD Thesis, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 198p.
- Almeida F.F.M., Carneiro C.D.R., Machado J.R., Dehira L.K. 1988. Magmatismo pós-paleozóico no nordeste oriental do Brasil. *Revista Brasileira de Geociências*, **18**:451–462.
- Amorim K.B. 2016. *Paleoambiente, paleogeografia e isótopos de carbono e oxigênio de depósitos carbonáticos miocenos da Plataforma Bragantina, nordeste do Estado do Pará, Brasil*. PhD Thesis, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 158p.
- Avenius C.G. 1988. *Cronostratigraphic study of the post-rift/sin-rift unconformity, Marajó Rift system*. Belém, Texaco/Canada. Relatório técnico. 6p.
- Azevedo R.P. 1991. *Tectonic evolution of Brazilian equatorial continental margin basin*. PhD Thesis, University London, London, 580 p.
- Carnes J.B., Chou G.T., Katz B.J., Lorenzetti E., Shih T.C. 1989. *Exploration analysis of syn-rift section of Marajó Basin*. Belém, Texaco/Canada. Relatório técnico. 61p.
- Carvajal D.A., Dorman J.T., Kenck A.R., Key C.F., Miller C.J., Specht T.D. 1989. *Final report of the third exploration phase, Marajó*. Belém, Texaco/Canada. Relatório técnico. 61p.
- Carvalho P.F. 1926. Reconhecimentos geológicos entre a costa atlântica de Maracanã e Pirabas e a Estação Experimental na E. F. de Bragança. *Boletim do Serviço Geológico e Mineralógico do Brasil*, **15**: 115-128.

- Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM). 2008. *Mapa geológico do Estado do Pará, escala 1:750.000*. Disponível em: <https://geosgb.cprm.gov.br/>. Acesso em: Ago. 2021.
- Costa J.B.S., Hasui Y., Bemerguy R.L., Soares-Júnior A.V., Villegas J.M.C. 2002. Tectonics and paleogeography of the Marajó Basin, northern Brazil. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, **74**(3):519–531.
- Fernandes J.M.G. 1984. Paleocology of Formation Pirabas, Pará State. In: 33<sup>o</sup> Brazilian Congress of Geology. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, **1**:330–340.
- Fernandes J. M. G. 1988. Bioestratigrafia da Formação Pirabas, Estado do Pará. *Anais do Congresso Brasileiro de Geologia*, **35**(6):2376-2382.
- Ferreira C. S., Macedo A.C.M., Assis J.F.P. 1978. A Formação Pirabas no estado do Pará – novo registro de subsuperfície: Belém (furo 4BE-01-PA, CPRM). *Anais da Academia Brasileira de Geociências*, **50**(3):427.
- Ferreira C.S. 1982. Notas Estratigráficas sobre o Cenozóico Marinho do Estado do Pará. *Anais do 1<sup>o</sup> Simpósio de Geologia da Amazônia*. Pará, **1**:84–88.
- Förste C.H., Bruinsma S.L., Abrikosov O., Lemoine J.M., Schaller T., Gotze H.J., Ebbing J.C. 2014. The latest combined global gravity field model including GOCE data up to degree and order 2190 of GFZ Potsdam and GRGS Toulouse. In: 5th GOCE User Workshop, Paris.
- Galvão M.V.G. 2004. Bacias sedimentares brasileiras: Bacia do Marajó. Serie bacias sedimentares – Fundação Paleontológica Pheonix, 67p.
- Góes A.M., Rossetti D.F., Nogueira A.C.R., Toledo P.M., 1990. Modelo deposicional preliminar da Formação Pirabas no nordeste do Estado do Pará. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi (Ciências da Terra)*, **2**:3-15.
- Gomes E.M.A. & Oliveira A.I. 1926. Reconhecimento geológico dos rios Guajará e Capim. *Serviço Geológico Minereiro - DNPM*, **13**: 124-128.
- Jorge M.V.E. 2017. *Arcabouço geológico-geofísico da região nordeste do Estado do Pará*. MS Dissertation, Universidade Federal do Pará, Belém, 84p.
- Katzer F. 1933. Geologia do Estado do Pará. *Boletim do Museu Paraense Emilio Goeldi*, **9**: 3-269.
- Klein E.S. & Moura C.A.V. 2003. Síntese Geológica e Geocronológica do Cráton São Luís e do Cinturão Gurupi na Região do Rio Gurupi (NE-Pará / NW-Maranhão). *Geologia-USP*, **3**:97-112.
- Leite F.P.R. 2004. Palinologia. In: Rossetti D.F. & Góes A.M. eds. *O Mioceno na Amazônia Oriental*. Museu Paraense Emilio Goeldi, p-55-90.
- Lowries W. 2007. *Fundamentals of geophysics*. New York, Cambridge University Press, 393p.
- Ludwing G. 1964. *Geology of the Marajó Basin*. Brasil, Petrobrás. Relatório interno. **86**:845-878.



- Maury C.J. 1925. *Fosseis terciários do Brasil com descrições de novas formas cretáceas*. Rio de Janeiro, Serviço Geológico e Mineralógico do Brasil. 665p. (Monografia 4).
- Mendes J.C. 1957. Notas sobre a Bacia sedimentar Amazônica. *Boletim Paulista de Geografia*, **26**: 1-35.
- Miller C.J. & Avenius C.G. 1986. *Interpretation: regional vibroseis and dynamite seismic survey, Marajó*. Belém, Texaco/Canada. Relatório técnico. 96p.
- Monteiro D.P. 2020. *Inversão gravimétrica 2D da Bacia do Marajó*. Monografia de especialização, Universidade Federal do Pará, Belém, 31p.
- Moura P.A., Paiva G., Souza H.C. 1936. Rio Gurupi. *Boletim Técnico - DNPN*, **78**: 1-76.
- Nascimento M.S. & Góes A.M. 2005. Distribuição estratigráfica e proveniência de minerais pesados das formações Ipixuna e Barreiras, região do Rio Capim, Sul da Sub-Bacia de Cametá. *Revista Brasileira de Geociências*, **35**:49–58. <https://doi.org/10.25249/0375-7536.20053514958>.
- Nogueira A.A.E. & Nogueira A.C.R. 2017. Ostracods biostratigraphy of the Oligocene-Miocene carbonate platform in the northeastern Amazonia coast and its correlation with the Caribbean region. *J. S. Am. Earth Sci.*, **80**:389–403. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2017.10.006>.
- Nogueira A.C.R., Amorim K.B., Góes A.M., Truckenbrodt W., Petri S., Nogueira A.A.E., Bandeira J., Soares J.L., Baía L.B., Imbiriba Júnior M., Bezerra I.S., Ribas C.C., Cracraft J. 2021. Upper Oligocene-Miocene deposits of Eastern Amazonia: Implications for the collapse of Neogene carbonate platforms along the coast of northern Brazil. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **563**:110178.
- Paiva G., Souza H.C.A., Abreu S.F. 1937. Ouro e Bauxita na Região do Gurupi. *Boletim Técnico -DNPM*, **13**:1-172.
- Petri S. 1954. Foraminíferos fósseis da Bacia do Marajó. *Boletim da Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras da Universidade de São Paulo*, **176**:1-171.
- Petri S. 1957. Foraminíferos Miocênicos da Formação Pirabas. *Boletim da Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras da Universidade de São Paulo (Geologia)*, **216**:1-172.
- Plouff D. 1976. Gravity and magnetic fields of polygonal prisms and application to magnetic terrain corrections. *Geophysics*, **41**(4): 727-41.
- Rezende W.N., Ferradaes J.O. 1971. *Integração geológica regional da bacia sedimentar da Foz do Amazonas*. Belém: Petrobras/Departamento de Exploração. Relatório Interno, 27 p.
- Rossetti D.F., Trukenbrodt W., Góes A.M. 1989. Estudo paleoambiental e estratigráfico dos sedimentos Barreiras e Pós-Barreiras na região Bragantina, nordeste do Pará. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi*, **1**:25-74.
- Rossetti D.F., Góes A.M., Souza L.S.B. 2001. Estratigrafia da sucessão sedimentar Pós-Barreiras (Zona Bragantina, Pará) com base em radar de penetração no solo. *Revista Brasileira de Geofísica*, **19**(2):113-130.

- Rossetti D.F. & Góes A.M. 2004. O Neógeno da Amazônia Oriental. Belém. *Coleção Friedrich Katzer, Museu Paraense Emílio Goeldi*, 225p.
- Rossetti D.F. 2006. The role of tectonics on the preservation of estuarine valleys in areas with low accommodation rates: examples from Upper Cretaceous and Miocene successions in Northern Brazil. In: Dalrymple R.W., Leckie D.A., Tillman R.W. eds. *Incised valley in time and space: SEPM Special Publication*, **85**:199–218.
- Rossetti D.F., Bezerra F.H., Dominguez J.M.L. 2013. Late Oligocene-Miocene transgressions along the equatorial and eastern margins of Brazil. *Earth-Science Reviews*, **123**: 87-112.
- Santos-Junior G.C., Martins C.M., Ribeiro-Filho N. 2019. Residual gravimetric anomaly of Marajó basin using crustal modeling: a satisfying identification of structural and tectonic features. *Revista Brasileira de Geofísica*, **37**:199-209.
- Schaller H., Vasconcelos D., Castro J. 1971. Estratigrafia preliminar da bacia sedimentar da Foz do Amazonas. In: 25º Congresso Brasileiro de Geologia da SBG. São Paulo - SP, Brazil. **3**:180–202.
- Sistema de informações de Águas subterrâneas (SIAGAS). 2011. *Poços de captação de água subterrânea*. Disponível em: <http://siagasweb.cprm.gov.br/layout/>. Acesso em: Jan. 2020.
- Silva S.O., Petri S. 1952. Reconhecimento geológico da área de exposição da Formação Pirabas no estado do Pará. *Revista da Escola de Minas*, **17**(1): 9-15.
- Silva L.S. 2016. *Contribuição ao conhecimento das formações Barreiras e Pirabas utilizando-se ferramentas da análise estrutural com vistas à aplicação em hidrogeologia*. MS Dissertation, Universidade Federal do Pará, Belém, 126p.
- Simpson S.M. 1954. Least squares polynomial fitting to gravitational data and density plotting by digital computers. *Geophysics*, **19**:255-269.
- Sioli H. 1951. *Alguns resultados e problemas de limnologia Amazônica*. Boletim técnico - IAN, **24**:3-44.
- Snyder H.B. 1988. *Update of geoloical concepts: Implications for exploration Marajó*. Belém, Texaco/Canadá. Relatório técnico. 15p.
- Soares-Jr A.V., Costa J.B.S. Hasui Y. 2008. Evolução da margem atlântica equatorial do Brasil: três fases distensivas. *Geociências-UNESP*, **27**(4):427-437.
- Soares-Jr. A.V., Hasui Y., Costa J.B.S., Machado F.B. 2011. Evolução do rifteamento e paleogeografia da margem Atlântica Equatorial do Brasil: Triássico ao Holoceno. *Geociências-UNESP*, **30**(4):669-692.
- Souza H.C.A. 1937. Importância e futuro da região mineira do Gurupi e Maranhense. *Revista Engenharia de Minas e Materiais*, **5**:14-46.
- Souza L.S.B., Rossetti D.F., Prado R.L. 2014. Radar de penetração no solo aplicado à caracterização de estruturas tectônicas miocênicas e quaternárias no leste da ilha do Marajó (PA). *Brazilian Journal of Geology*, **44**:55–72.

- Spector A. & Grant F.S. 1970. Statistical models for interpreting aeromagnetic data. *Geophysics*, **35**:293-302.
- Syberg F.J.R. 1972. A Fourier method for the Regional-residual problem of potencial fields. *Geophysical Prospecting*, **20**:47-75.
- Tatumi S.H., Silva L.P., Pires E.L., Rossetti D.F., Góes A.M. 2008. Datação de sedimentos pós-barreiras no norte do Brasil: implicações paleogeográficas. *Revista Brasileira de Geociências*, **38**(3):514-524.
- Távora V., Santos A.A., Araújo, R.N. 2010. Localidades fossilíferas da Formação Pirabas (Mioceno Inferior). *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi*, **5**(2):207-224.
- Telford W.M., Geldart L.P., Sheriff R.E. 1990. *Applied geophysic*. Cambridge University Press, Cambridge. 2. ed. 770p.
- Troelsen J.C. 1964. *Biostratigraphy of the Marajó Basin*. Brasil, Petrobrás. Relatório interno.
- Truckenbrodt W., Nascimento M.S., Góes A.M. 2005. Distribuição de minerais pesados em arenitos das formações fanerozóicas no nordeste do Pará e noroeste do Maranhão. Contribuições À Geologia da Amazônia. *Ied. Manaus: Universidade Federal do Amazonas*, **4**:181-189.
- Uieda L. & Barbosa V.C.F. 2016. Fast nonlinear gravity inversion in spherical coordinates with application to the South American Moho. *Geophysical Journal International*, **208**: 162-176. doi: 10.1093/gji/ggw390.
- Villegas J.M. 1994. *Geologia estrutural da Bacia de Marajó*. MS Dissertation, Universidade Federal do Pará, Belém, 119p.
- Zalán P.V. 2007. Bacias de Bragança-Viseu, São Luís e Ilha Nova. 2007. *Boletim de Geociências da Petrobras*, **15**(2):341-345.
- Zalán P.V. & Matsuda N.S. 2007. Bacia do Marajó. *Boletim de Geociências da Petrobras*, **15**(2):311-319.