



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM RECURSOS HIDRICOS - PPRH**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

**ARCABOUÇO GEOLÓGICO-GEOFÍSICO DA REGIÃO
NORDESTE DO ESTADO DO PARÁ**

Dissertação apresentada por:

MAURÍCIO VICTOR ELLERES JORGE

Orientador: Prof. Dr. Francisco de Assis Matos de Abreu (UFPA)

**BELÉM
2017**



Universidade Federal do Pará
Instituto de Geociências
Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos

ARCABOUÇO GEOLÓGICO-GEOFÍSICO DA REGIÃO NORDESTE DO ESTADO DO PARÁ

DISSERTAÇÃO APRESENTADA POR

MAURÍCIO VICTOR ELLERES JORGE

Como requisito parcial à obtenção do Grau de Mestre em Ciências na Área de
GEOLOGIA

Banca Examinadora:

Dr. FRANCISCO DE ASSIS MATOS DE ABREU
(Orientador – UFPA)

Dr. JOSÉ GOUVÊA LUIZ
(Coorientador – UFPA)

Dr. RAIMUNDO MARIANO GOMES CASTELO BRANCO
(Membro –UFC)

Dr. MILTON ANTONIO DA SILVA MATTA
(Membro – UFPA)

MAURICIO VICTOR ELLERES JORGE

ARCABOUÇO GEOLÓGICO-GEOFÍSICO DA REGIÃO
NORDESTE DO ESTADO DO PARÁ.

Dissertação de Mestrado apresentada XX ao curso de Geologia, Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos (PPRH – UFPA), da Universidade Federal do Pará, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de MESTRE em Recursos Hídricos.

Orientador: Francisco de Assis Matos de Abreu

VOLUME I

BELÉM

2017

Maurício Victor Elleres Jorge

Arcabouço Geológico-Geofísico da Região Nordeste do Estado do Pará. Belém, 2017.
pag.83: il. (algumas coloridas); 30 cm.

Orientador: Francisco de Assis Matos de Abreu.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Pará. Instituto de Geociências.
Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos (PPRH – UFPA). 2017.

1. Hidrogeologia – Dissertação.
 2. Geologia – Dissertação.
 3. Geofísica – Dissertação.
- Recursos Hídricos – Dissertação.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar agradeço a Deus por ter me guiado e direcionado durante toda minha vida, não deixando eu me afastar dos seus caminhos, e me dando forças e sabedoria pra continuar e superar os obstáculos encontrados até aqui.

Aos meus pais Mauro e Vera, por terem me dado apoio e educação para que hoje eu estivesse aqui realizando este sonho.

A minha segunda mãe Marilene Costa, por estar presente na minha vida durante todos estes anos.

Aos meus familiares que foram de extrema importância na trajetória da minha vida.

Ao meu orientador Prof. Dr. Francisco Matos de Abreu, pelas orientações prestadas neste trabalho e na minha vida acadêmica, assim como o apoio, companheirismo e amizade construída ao longo desse tempo.

Ao Prof. José Gouvêa, por ter me auxiliado e dado suporte na parte de geofísica deste trabalho.

Aos técnicos e amigos Afonso Quaresma e Lourival, pois sem sua ajuda este trabalho não poderia ter sido realizado.

Aos grandes amigos que esse trabalho pôde me proporcionar, Fernando Filho, da Universidade Federal do Ceará (UFC) e Giordana Letícia, da Universidade Federal da Pará (UFPA) - Campus Bragança. Foram de fundamental importância para a conclusão deste trabalho.

A Universidade Federal do Ceará (UFC), através do Laboratório de Geofísica de Prospecção e Sensoriamento Remoto (LGPSR), em nome do Professor Dr. Mariano Castelo Branco, pelo empréstimo do aparelho geofísico, que permitiu a coleta dos dados.

Aos grandes amigos que estiveram juntos comigo nesta caminhada, em especial aos meus irmãos: João Paulo Queiroz, Thomas Moraes e Jhon Afonso.

Ao meu grande amigo e irmão Kauê Seoane, pois sem dúvida nenhuma, sem ele não conseguiria chegar ao final dessa caminhada. Obrigado por tudo meu amigo.

A todos os outros alunos e professores que participaram da minha vida acadêmica nesta etapa, tanto de forma direta e indireta.

*“Consagre ao Senhor tudo que você faz,
e os seus planos serão bem sucedidos”*

Provérbios 16:3

RESUMO

A região nordeste do Estado do Pará apresenta grande potencial para a ocorrência de recursos hídricos subterrâneos. Dois sistemas hidrogeológicos nela estão presentes: Pirabas e Barreiras. A partir de levantamento gravimétrico realizado nessa pesquisa, associado a dados secundários coletados em trabalhos acadêmicos e projetos estatais (SIAGAS-CPRM), foi possível avançar no entendimento do arranjo geométrico regional que determina a distribuição espacial dos pacotes sedimentares. São apresentados mapas e perfis geológico-geofísicos do comportamento da anomalia bouguer, necessários a sustentar o ordenamento espacial apresentado. A assinatura geofísica das anomalias da gravidade, em análise do mapa de anomalia bouguer revelou regiões positivas e negativas, as quais são limitadas por lineamentos gravimétricos, principalmente de direção NW-SE. Dentre as estruturas geradas, neste arranjo, destaca-se o Graben de Bragança – Viseu, parcialmente contido na área de trabalho. A indicação de profundidade apresentada nos perfis gravimétricos, e nos perfis construtivos de poços, nos revelam aspectos destacados da geometria do pacote sedimentar. Ratifica-se nos resultados alcançados, o modelo geométrico da configuração morfoestrutural de blocos tectônicos desnivelados, responsáveis pela estruturação regional da área e a definição de locais mais favoráveis ao encontro das maiores espessuras de sedimentos, nos quais se encerram os sistemas hidrogeológicos mencionados. Assim, as metodologias e técnicas utilizadas nesse trabalho se mostraram robustas para entender a compartimentação geológica da área de trabalho, no que se refere à nortear com maior taxa de sucesso, a locação de poços, em termos de produtividade esperada, sendo dessa forma, o resultado da aplicação das mesmas, um importante instrumento de planejamento e gestão de recursos hídricos.

Palavras-chave: Hidrogeologia; Gravimetria; Anomalia Bouguer; Análise Morfoestrutural.

ABSTRACT

The northeastern region of the State of Pará presents great potential for the occurrence of groundwater resources. Two hydrogeological systems are present in it: Pirabas and Barreiras. From a gravimetric survey conducted in this research, associated to secondary data collected in academic works and state projects (SIAGAS-CPRM), it was possible to advance the understanding of the regional geometric arrangement that determines the spatial distribution of the sedimentary packages. Map and geological-geophysical profiles of the bouguer anomaly behavior are presented, necessary to support the presented spatial ordering. The geophysical signature of the gravity anomalies in the Bouguer anomaly map analysis revealed positive and negative regions, which are limited by gravimetric lineaments, mainly NW-SE direction. Among the structures generated, in this arrangement, stands the Graben of Bragança - Viseu, partially contained in the work area. The indication of depth presented in the gravimetric profiles, and in the constructive profiles of wells, reveal to us outstanding aspects of the geometry of the sedimentary package. The geometric model of the morphostructural configuration of uneven tectonic blocks, responsible for the regional structuring of the area and the definition of places more favorable to the encounter of the largest thicknesses of sediments, in which the mentioned hydrogeological systems are closed, is confirmed in the obtained results. Thus, the methodologies and techniques used in this work proved to be robust to understand the geological compartmentalization of the work area, with respect to the guide with a higher success rate, the location of wells, in terms of expected productivity. as an important tool for planning and managing water resources.

Keywords: Hydrogeology; Gravimetry; Bouguer anomaly; Morfoestrutural analysis.

Lista de Tabelas e Quadros

CAPITULO II – MATERIAS E MÉTODOS

Tabela 2.1 - Exemplos de densidades de rochas e minerais (TELFORD et al., 1990).....32

Tabela 2.2 – Perfis levantados durante o trabalho de campo e suas informações essenciais, como extensão, dimensões e número de pontos coletados.....36

CAPÍTULO III – GEOLOGIA REGIONAL

Quadro 1 – Coluna litoestratigráfica da porção nordeste do Estado Pará (AMORIM, 2016).....49

Lista de Figuras

CAPÍTULO I – INTRODUÇÃO

Figura 1: Mapa de localização da área de estudo, englobando como no texto faz referência, os principais municípios e Castanhal, Capanema, Bragança, Viseu e Salinópolis. Além das rodovias e acessos que foram utilizadas para o levantamento dos perfis geofísicos ao longo da região nordeste do Pará (Google <i>Earth Image</i>).....	16
---	----

CAPÍTULO II – MATERIAIS E MÉTODOS

Figura 2.1 - Mapa de bacias hidrogeológicas e sentido de fluxo das águas subterrâneas rasas. Nos círculos vermelhos (“A” e “B”), destacam-se as áreas onde ocorrem discordâncias entre os divisores da bacia hidrográfica e da bacia hidrogeológica (ARAÚJO et al., 2016).....	19
Figura 2.2 - Perfis de poços das cidades de Bragança e São Miguel, respectivamente. Observar como as litologias são mostradas nos perfis dos poços. Intercalação entre arenitos e argilitos, predominantemente, além de arenitos argilosos. As cores em tons amarelo-creme são para arenitos/arenitos argilosos; a cor marrom representa os argilitos (Fonte: siagasweb.cprm.gov.br/pmapper/_bacias_hidrograficas.php).....	21
Figura 2.3 - Mapa da Rede Gravimétrica do Sistema Geodésico Brasileiro. (Fonte: http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/geodesia/gravimetrica.shtm).....	24
Figura 2.4 - Relatório de Estação Geodésica, no município de Capanema/PA. (Fonte: http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/geodesia/gravimetrica.shtm).....	25
Figura 2.5 – Aceleração atuante na superfície da terra.....	28
Figura 2.6 – Efeito da topografia no Gravímetro (adaptado de LUIZ e SILVA , 1995).....	31
Figura 2.7 - Equipamentos utilizados na aquisição dos dados gravimétricos: Gravímetro Scintrex CG5 e DGPS Trimble.....	34
Figura 2.8 - Representação do mecanismo de funcionamento do posicionamento (GPS).....	34
Figura 2.9 - Coleta de dados gravimétricos e de DGPS em campo.....	35
Figura 2.10 - Mapa que exhibe as localidades onde as medições foram realizadas (fonte: Autor).....	36
Figura 2.11 – Exemplificação do perfil 9, feito entre as cidades de Bragança e Capanema (fonte: Autor).....	37

CAPÍTULO III – GEOLÓGIA REGIONAL

Figura 3.1 - Domínios geomorfológicos do estado do Pará com destaque para Planície Costeira do Nordeste do Pará. (JOÃO et al., 2013).....	41
Figura 3.2 - Estruturas maiores do Terciário Superior da região nordeste do Pará. Pontilhado: Sequência Pirabas-Barreiras (COSTA et al., 1996).....	46
Figura 3.3 - Estruturas maiores do Quaternário da região nordeste do Pará (COSTA et al., 1996).....	47
Figura 3.4 - Mapa de localização da Plataforma Bragantina, no contexto das bacias sedimentares associadas (ROSSETTI, 2006).....	48

CAPÍTULO IV – MÉTODO GRAVIMÉTRICO E A DISCUSSÃO DOS DADOS

Figura 4.1 - Mapa de localização (ARAÚJO et al., 2016).....	53
Figura 4.2 – Mapa de relevo sombreado da região nordeste do Estado do Pará, com os lineamentos extraídos para esta área de trabalho (fonte: Autor).....	55
Figura 4.3 – Mapa geológico da área estudada, compilado e adaptado de Vasquez et al., (2008) e Collyer et al., (2003), com as unidades geológicas e o arcabouço estrutural principal.....	56
Figura 4.4 – Mapa de Anomalia Bouguer para a área de estudo (fonte: Autor).....	58
Figura 4.5 – Mapa de Anomalia Bouguer com o perfil AB (fonte: Autor).....	60
Figura 4.6 – Modelagem 1 feita para o perfil AB com interpretação geológica e com os valores de densidades incluídos. A escala vertical deste perfil foi associada a informações litológicas de cinco poços tubulares profundos nas regiões de Marituba, Castanhal e Igarapé-Açu obtidos no site: siagasweb.cprm.gov.br/layout/visualizar_mapa.php (a distância AB é aproximadamente 144,5 km, escala vertical 1:10000).....	62
Figura 4.7 – Modelagem 2 feita para o perfil CD com interpretação geológica e com os valores de densidades incluídos. A escala vertical deste perfil foi associada a informações litológicas de três poços tubulares nos municípios de Capanema, Tracuateua e Bragança, obtidos no site: siagasweb.cprm.gov.br/layout/visualizar_mapa.php (a distância CD é aproximadamente de 56 km, escala vertical 1:10000).....	63
Figura 4.8 - Modelagem 3 feita para o perfil EF com interpretação geológica e com os valores de densidades incluídos. A escala vertical deste perfil foi associada a informações litológicas de dois poços tubulares no município de Vizeu e uma localidade denominada Curupaiti, obtidos no site: siagasweb.cprm.gov.br/layout/visualizar_mapa.php (a distância EF é aproximadamente de 33 km, escala vertical 1:10000).....	64
Figura 4.9 – Mapa que exhibe a morfoestrutura de parte da região Nordeste do Estado do Pará, sobreposto ao mapa de Anomalia Bouguer (fonte: Autor).....	65
Figura 4.10 - Mapa que exhibe a morfoestrutura de parte da região Nordeste do Estado do Pará (fonte: Autor).....	66
Figura 4.11 – Mapa Geológico sobreposto pelo mapa de Anomalia Bouguer, que exhibe regiões elevadas e abatidas topograficamente, o que pode auxiliar na locação de poços profundos para água subterrânea (compilado e adaptado de Vasquez et al., 2008 e Collyer et al., 2003, e o mapa de Anomalia Bouguer gerado pelo autor).....	67

Sumário

CAPITULO I – INTRODUÇÃO	14
1.1 - APRESENTAÇÃO.....	14
1.2 - JUSTIFICATIVA	15
1.3 – OBJETIVOS	16
1.4 - ÁREA DE TRABALHO	17
1.5 - LOCALIZAÇÃO E ACESSO.....	18
CAPÍTULO II – MATERIAS E MÉTODOS.....	19
2.1 – MÉTODOS	19
2.1.1 Pesquisa Bibliográfica	19
2.1.2 Pesquisa no Banco de Dados do SIAGAS (CPRM).....	21
2.2 – AQUISIÇÃO E ANÁLISE DE IMAGENS DE SENSOR REMOTO	23
2.2.1 Imagens SRTM e a Extração de Lineamentos	23
2.3 - ESTUDOS GEOFÍSICOS	24
2.3.1 Levantamento de Dados.....	24
2.3.2 Método Gravimétrico	27
2.3.3 Teoria do Método Gravimétrico	28
2.4 – AQUISIÇÃO E PROCESSAMENTO DE DADOS GRAVIMÉTRICOS	34
2.4.1 Aquisição	34
2.4.2 Processamento	39
CAPÍTULO III - GEOLOGIA REGIONAL.....	42
3.1 – GEOMORFOLOGIA	42
3.1.2 - Planície Costeira do Nordeste do Pará	43
3.2 – HIDROGEOLOGIA	43
.....	48
3.4 - PLATAFORMA BRAGANTINA.....	48
3.4.1 - Formação Pirabas	50
3.4.3 - Sedimentos Pós-Barreiras	52
CAPITULO VI – MÉTODO GRAVIMÉTRICO E A DISCUSSÃO DOS DADOS	54
4.1 – ESTUDO REGIONAL	54
4.1.1. Correlação entre os Dados Hidrogeológicos e Gravimétricos.....	58
4.2 – LEVANTAMENTO E INTERPRETAÇÃO DE DADOS GRAVIMÉTRICOS.....	58

CAPÍTULO V – CONCLUSÕES.....	69
CAPÍTULO VI – BIBLIOGRAFIA.....	71
CAPÍTULO VII – ANEXOS	77

CAPITULO I – INTRODUÇÃO

1.1 - APRESENTAÇÃO

Os dados provenientes de estudos realizados preliminarmente por diversas instituições públicas e particulares em diferentes níveis têm levado ao acúmulo de informações sobre a região nordeste do estado do Pará, no que se refere ao conhecimento necessário para indicar o caminho para suprir as necessidades crescentes de água na região.

A região concentra grande parte da população do estado, sendo que o consumo de água subterrânea vem crescendo bastante nos últimos anos e conseqüentemente o número de perfurações de poços na região, situação que pode trazer alguns problemas agregados a essa exploração.

Os sistemas aquíferos explorados pertencem a duas unidades litoestratigráficas distintas e com distribuição regional. A inferior é a Formação Pirabas e a superior, o Grupo Barreiras. Nessa última unidade ocorrem litotipos carbonáticos (calcários, margas e calcarenitos), em profundidades a partir de 70 m aproximadamente. Assim, além do interesse acadêmico-científico que essas unidades encerram, elas são cada vez mais estudadas por se constituírem importantes reservatórios de águas subterrâneas.

A cartografia hidrogeológica e o estudo mais detalhado da geometria dos sistemas aquíferos e dinâmica das águas subterrâneas e superficiais são de grande importância não só para o meio acadêmico, mas também para melhor gestão e proteção deste bem mineral para futuras gerações (ARAÚJO et al., 2016.)

A proposta desse trabalho inserido no projeto de pesquisa “GESTÃO SUSTENTÁVEL E PLANEJAMENTO TERRITORIAL DO NORDESTE DO PARÁ – NEPA” é o de buscar dados e informações que possam ajudar na delimitação geométrica e caracterização dos sistemas hidrogeológicos presentes nestas formações, com destaque para a capacidade de armazenamento (reservação) assim como o mecanismo de recarga destes sistemas.

Compreender mais esses parâmetros físicos destas unidades geológicas, dentre outros, é de grande importância estratégica, tanto geológica quanto econômica.

1.2 - JUSTIFICATIVA

O recurso hídrico vem se tornando um tema relevante de estudos e de preocupações nos últimos anos, em diversas regiões do mundo. Na nossa região, com grande potencial hídrico subterrâneo, ainda são necessários substanciais avanços relativos ao conhecimento sobre a geometria, recarga e reserva dos sistemas hidrogeológicos presentes na região nordeste do Estado do Pará.

O Serviço Geológico do Brasil/Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (SGB/CPRM), na linha de pesquisa em gestão e planejamento territorial, priorizada pela Diretoria de Hidrogeologia e Gestão Territorial – DHT, Departamento de Gestão Territorial – DEGET, Divisão de Gestão da Amazônia – DIGEAM e Superintendência Regional de Belém – SUREG-BE, vem realizando projetos de pesquisa, baseado na integração dos dados georreferenciados sobre o meio físico, relacionado às suas características geológicas e ambientais. Este trabalho é realizado na Amazônia legal, através da DIGEAM. Em consonância a esta linha de pesquisa, a SUREG-BE desenvolve dois importantes projetos na DHT, quais sejam: Projeto Sistema de Informações de Águas Subterrâneas – SIAGAS e o Projeto Rede Integrada de Monitoramento das Águas Subterrâneas – RIMAS.

Na região há um crescente aumento populacional e como consequência direta disso, tem-se o comprometimento acelerado das águas superficiais, como resultado de agravos sobre o meio físico, relacionados a falta de saneamento e ao uso descontrolado desses recursos. É então, dentro desse panorama, que a pesquisa se insere com o objetivo de ajudar no avanço do conhecimento sobre aspectos hidrogeológicos do nordeste paraense com vista a oferecer a alternativa de suprimento de água para a região a partir de mananciais subterrâneos.

Por outro lado, se desconhece a produção relativa de camadas armazenadoras, que são potenciais reservatórios de água nas formações geológicas consideradas, bem como pouco ou quase nada se conhece sobre a sustentabilidade dos sistemas aquíferos para o abastecimento desta área em crescente adensamento populacional e de atividade econômica.

1.3 – OBJETIVOS

Geral:

Contribuir para o conhecimento geométrico-cinemático, dos sistemas aquíferos do nordeste do Pará, com o objetivo de definir parâmetros hidrogeológicos importantes, tais como: reservas, recargas e sustentabilidade no provimento de água para essa região.

Específicos:

Construir seções geológico-geofísicas, utilizando-se o método gravimétrico, com objetivo de melhor definir o pacote sedimentar presente na região;

- a) Analisar as informações sobre poços tubulares, preferencialmente que se situem às proximidades das seções geológico-geofísicas, a partir do banco de dados do Sistema de Informações de Águas Subterrâneas – SIAGAS da CPRM;
- b) Realizar correlações litoestratigráficas utilizando as informações levantadas nos itens anteriores;
- c) Contribuir para o entendimento do arranjo geométrico-cinemático das formações Barreiras e Pirabas nessa região.
- d) Buscar compreender os mecanismos de circulação e recarga dos sistemas aquíferos identificados;
- e) Formatar um SIG reunindo todas essas informações;
- f) Preparar uma nota explicativa sobre o trabalho.

1.4 - ÁREA DE TRABALHO

A área de estudo está localizada na região nordeste do Pará, com destaque para as sedes municipais de Castanhal, Capanema, Bragança Viseu e Salinópolis (Figura 1). A área de trabalho possui aproximadamente 15.000 km² de extensão e citou-se na região nordeste do estado do Pará, abrangendo alguns municípios da região do salgado.

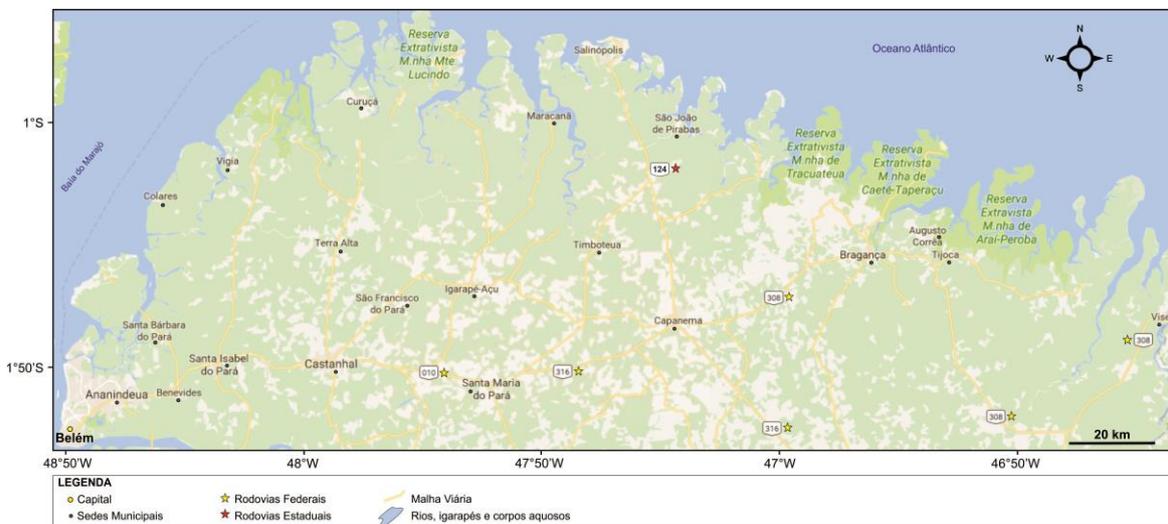


Figura 2: Mapa de localização da área de estudo, englobando como no texto faz referência, os principais municípios e Castanhal, Capanema, Bragança, Viseu e Salinópolis. Além das rodovias e acessos que foram utilizadas para o levantamento dos perfis geofísicos ao longo da região nordeste do Pará (Google Earth Image).

1.5 - LOCALIZAÇÃO E ACESSO

A região de estudo é recortada por extensa malha rodoviária na qual se destacam rodovias federais (BR-316, 010 e 308) e estaduais (PA 124). Nesta região foi onde percorremos estradas em diversos municípios paraenses para fazer o levantamento geofísico como descrito a seguir.

Situada no nordeste do estado do Pará, o acesso à região de estudo foi feito a partir de Belém através da BR-316, cerca de 70 km, até o município de Castanhal. De Castanhal para Capanema, cerca de 90 km, pela BR-316 / BR-010. Do município de Capanema, pela PA-124, percorre-se cerca de 70 km até a entrada da cidade de Salinópolis. Saindo do município de Capanema para Bragança, percorre-se 50 km pela BR-308. Pela mesma BR-308, percorre-se mais 118 km até o município de Viseu.

CAPÍTULO II – MATERIAS E MÉTODOS

2.1 – MÉTODOS

2.1.1 *Pesquisa Bibliográfica*

Para o desenvolvimento dessa dissertação foram utilizados vários procedimentos metodológicos, analisando dados secundários existentes em diferentes bancos de dados além de tratamento de dados primários levantados especificamente para essa dissertação. Trabalhamos com base em um mapa de bacias hidrogeológicas da região nordeste do Estado do Pará (Figura 2.1) correlacionado com dados gravimétricos para pontuar os locais importantes, para a coleta dos nossos dados e sua subsequente interpretação.

Os resultados obtidos da correlação entre os mapas potenciométrico e gravimétrico, mostram a posição dos divisores hidrogeológicos do aquífero livre Barreiras e o sentido preferencial do fluxo das águas subterrâneas rasas (ARAÚJO et al., 2016). Observou-se que estas águas apresentam sentido concordante com a direção do escoamento da rede hidrográfica, com exceção de duas áreas pequenas (A e B), demarcadas em vermelho no mapa de bacias hidrogeológicas (Figura 2.1). Nas duas áreas, o sentido de fluxo da água subterrânea rasa não acompanha o gradiente topográfico da superfície do terreno, ultrapassando os divisores topográficos e os limites geográficos das bacias hidrográficas dos rios Ouricuri e Caeté, respectivamente. Neste caso, a hipótese mais provável é que esta discordância esteja relacionada a fatores naturais do meio ambiente subterrâneo, como as variações litológicas, condicionantes estruturais neotectônicas, ou a presença de estruturas cársticas próximas à superfície do terreno.

A água que infiltra no terreno da área “A”, entre os divisores superficial e subterrâneo, mantém a rede de drenagem perene dos rios Marapanim e Tauá. O mesmo é observado na área “B”, onde as águas que penetram no terreno delimitado entre os divisores das bacias dos rios Caeté e Ouricuri contribuem para o fluxo de base que alimenta a recarga das bacias.

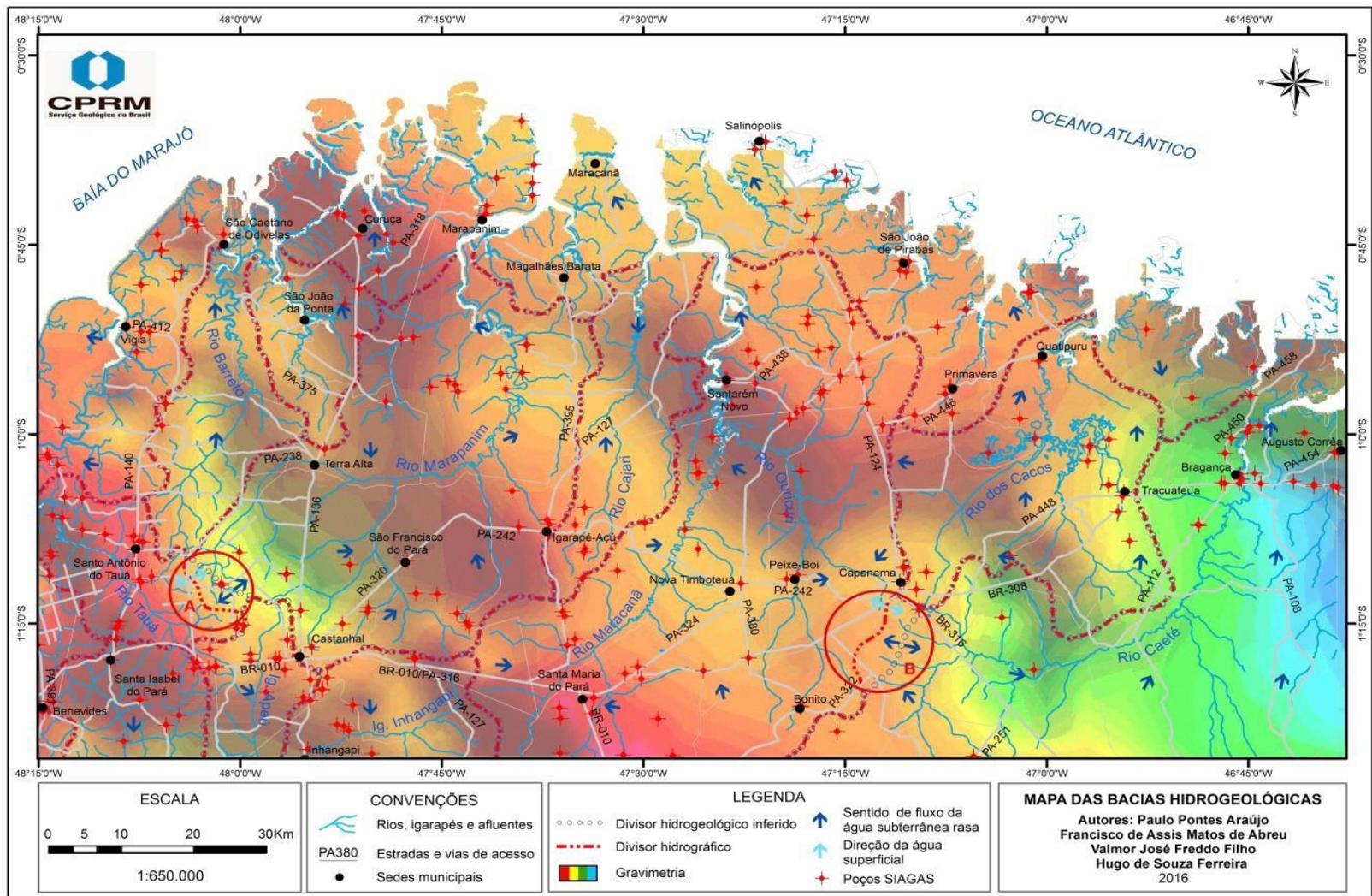


Figura 2.1 - Mapa de bacias hidrogeológicas e sentido de fluxo das águas subterrâneas rasas. Nos círculos vermelhos (“A” e “B”), destacam-se as áreas onde ocorrem discordâncias entre os divisores da bacia hidrográfica e da bacia hidrogeológica (ARAÚJO et al., 2016).

2.1.2 Pesquisa no Banco de Dados do SIAGAS (CPRM)

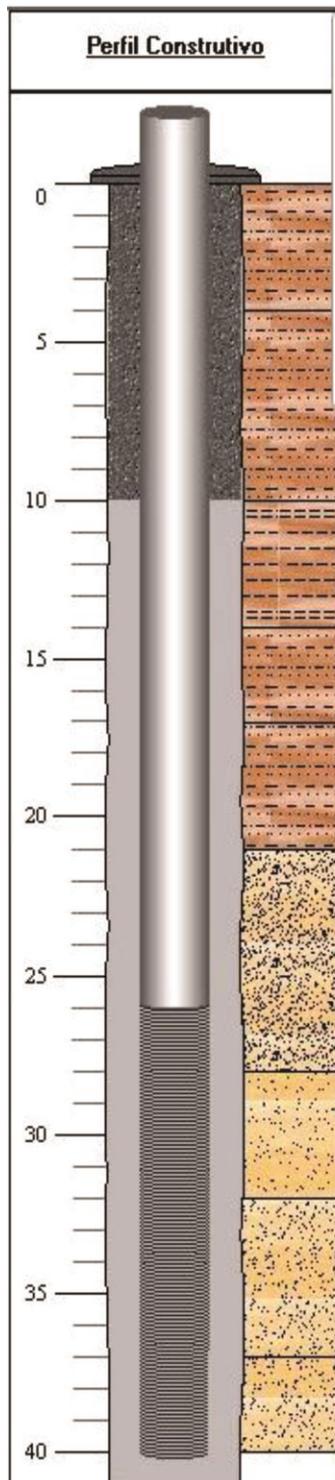
Foram realizados estudos preliminares (ARAÚJO et al., 2016) somados à distribuição e aos dados de cadastro de poços da região em estudo e cadastrados no SIAGAS (Sistema de Informações de Águas Subterrâneas) da CPRM, o que traz uma percepção da realidade dos poços da região. Descrevemos de forma breve os dados, aonde se encontram informações sobre parâmetros construtivos e operacionais de poços permanentemente atualizados, e de ferramentas capazes de realizar consulta, pesquisa, extração e geração de relatórios. A partir da inserção de dados, resultado de mapeamento ou de pesquisa hidrogeológica em todo o país, o SIAGAS permite a gestão adequada dessas informações e a sua integração com outros sistemas.

No estado do Pará, 7.757 poços estão cadastrados no SIAGAS, onde 517 estão registrados nos municípios que abrangem a área de pesquisa, com destaque para Bragança (121 Poços), Castanhal (155 Poços), Capanema (97 Poços), Salinópolis (88 Poços) e São Miguel do Guamá (56 Poços). Estes dados de poços estão inseridos dentro da Província Hidrogeológica Amazonas (MENTE, 2009), compondo 95% da área e Traquateua, 5% da área.

Os dados provenientes do SIAGAS nos permitem obter informações sobre as características geológicas, hidrogeológicas, dados químicos e informações construtivas destes poços. Nas fichas cadastrais de muitos poços também estão disponíveis os perfis construtivos dos mesmos, o que permite inferir as unidades litoestratigráficas que foram atravessadas quando da construção dos mesmos. Para os dados geológicos da região, apresentam-se os perfis construtivos dos poços, onde é possível a verificação das unidades geológicas presentes (Figura 2.2).

Em muitos casos essas informações não trazem a identificação da litoestratigrafia e do sistema hidrogeológico atravessado na perfuração. De acordo com Winter et al., (2003) Apud Araújo et al., (2016), o mapeamento de bacias hidrogeológicas apresenta diversas limitações, destacando à geodiversidade do meio subterrâneo, as diferentes características da superfície potenciométrica, em função das variações climáticas sazonais e de serem, normalmente, discordantes da superfície topográfica do terreno.

Perfil SIAGAS Bragança



Perfil SIAGAS São Miguel

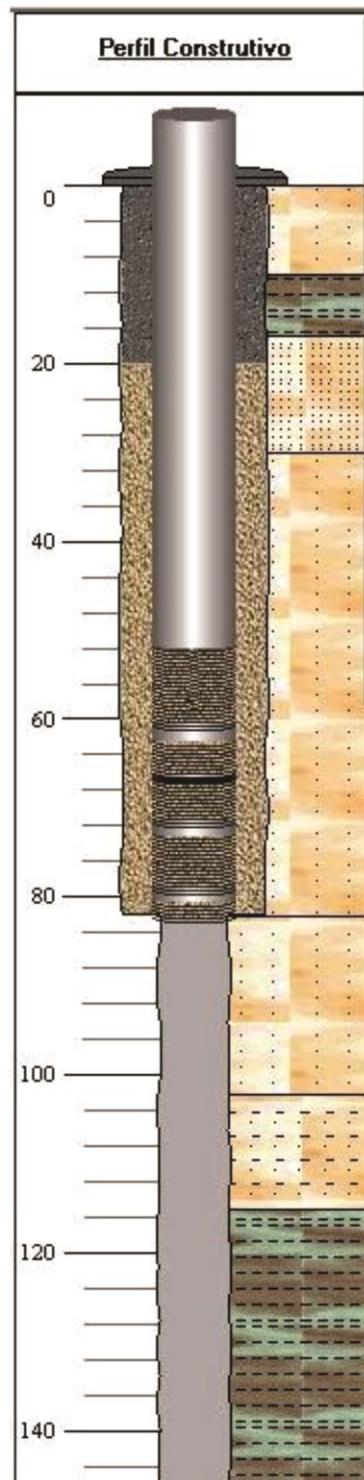


Figura 2.2 - Perfis de poços das cidades de Bragança e São Miguel, respectivamente. Observar como as litologias são mostradas nos perfis dos poços. Intercalação entre arenitos e argilitos, predominantemente, além de arenitos argilosos. As cores em tons amarelo-creme são para arenitos/arenitos argilosos; a cor marrom representa os argilitos (Fonte: siagasweb.cprm.gov.br/pmapper/_bacias_hidrograficas.php).

Com relação aos dados hidrogeológicos, muitas informações são disponibilizadas, o que permite avançar na consideração de parâmetros que marcam as características dos aquíferos da região: vazão (m^3/h), nível estático, nível dinâmico, vazão específica ($m^3/h/m$), coeficiente de armazenamento, permeabilidade (m/s) e transmissividade (m^2/s), além da existência de gráfico de evolução do nível d'água para os últimos anos hidrológicos.

Dados químicos também estão presentes: Condutividade Elétrica ($\mu S/cm$), Qualidade da Água (PT/CO), Odor, Temperatura (C°), Turbidez (NTU), Sólidos dissolvidos (mg/l) e o pH. Dados construtivos também são apresentados para a caracterização mecânica do poço, como: Data da perfuração, profundidade, método de perfuração, diâmetro, revestimento, filtro, espaço anelar e etc..

2.2 – AQUISIÇÃO E ANÁLISE DE IMAGENS DE SENSOR REMOTO

2.2.1 *Imagens SRTM e a Extração de Lineamentos*

Inicialmente, a aquisição das imagens digitais SRTM (Missão Topográfica de Radar Transportado da NASA), com resolução espacial de 30 metros, foi feita no site da EMBRAPA com o referencial planialtimétrico WGS 84. Auxiliada pelos dados bibliográficos, a análise preliminar dessas imagens ajudou no planejamento inicial dos trabalhos de campo.

As imagens no estado bruto foram tratadas no *software* ArcGis versão 10, para então serem gerados os mapas de relevo sombreado (com a ferramenta *hillshade*) em direções azimutais de 315° e 355° com inclinação solar de 45° para todas essas direções. Essas técnicas foram utilizadas para ressaltar feições de relevo estrutural interessantes para este trabalho. Sua funcionalidade se dá na forma de aplicação de um filtro direcional que simula pseudo-iluminações que destacam feições perpendiculares à direção da iluminação e atenua as que lhe são paralelas.

As feições morfoestruturais que foram extraídas dessas imagens resultaram no mapa de lineamentos, as quais foram identificadas em campo como falhas e fraturas. Essas estruturas fazem parte do mapa SRTM utilizado neste trabalho, e que auxiliou nas interpretações e conclusões.

2.3 - ESTUDOS GEOFÍSICOS

2.3.1 *Levantamento de Dados*

Os estudos geofísicos relacionados ao Método Gravimétrico foram precedidos de uma etapa de planejamento na qual foram definidos recursos, estações-base, caminhamento etc..

Isso levou à preparação de um mapa-base de trabalho (UIPE) na escala de 1:1.000.000. A partir da análise de dados das malhas rodoviárias e principalmente das estações-bases do IBGE, foi feito um levantamento da Rede Gravimétrica da região de trabalho, assim como o levantamento dos pontos de R.N do IBGE, mostrando as informações técnicas de cada estação geodésica presente nas cidades ou municípios presentes na área de trabalho, como é mostrado nas figuras 2.3 e 2.4.



Figura 2.3 - Mapa da Rede Gravimétrica do Sistema Geodésico Brasileiro. (Fonte: <http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/geodesia/gravimetrica.shtm>).

Estação :	843D	Nome da Estação :	843D	Tipo :	Referência de Nível - RN
Município :	CAPANEMA				UF : PA
Última Visita:	27/10/2015	Situação Marco Principal :	Bom		

DADOS PLANIMÉTRICOS		DADOS ALTIMÉTRICOS		DADOS GRAVIMÉTRICOS	
Latitude	01° 11' 42" S	Altitude Ortométrica(m)	24,1547	Gravidade(mGal)	
Longitude	47° 10' 50" W	Fonte	Nivelamento Geométrico	Datum	
Fonte	GPS Navegação	Sigma Altitude(m)	(#)	Data Medição	
Origem		Datum	Imbituba	Data Cálculo	
Datum	SIRGAS2000	Data Medição	10/09/1971		
Data Medição	27/10/2015	Data Cálculo	15/06/2011		
Data Cálculo					
Sigma Latitude(m)					
Sigma Longitude(m)					
UTM(N)	9.867.820				
UTM(E)	257.352				
MC	-45				

- Ajustamento Altimétrico Simultâneo da Rede Altimétrica em 15/06/2011 - Relatório em <ftp://geofp.ibge.gov.br/documentos/geodesia/relatoriosajustamento.pdf>
- Ajustamento Planimétrico SIRGAS2000 em 23/11/2004 e 06/03/2006 - Relatório em ftp://geofp.ibge.gov.br/documentos/geodesia/rel_sirgas2000.pdf
- Para obtenção de Altitude Ortométrica referente a levantamento SAT utilizar o MAPGEO2015 disponível em http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/geodesia/modeio_geoidal.shtm
- As informações de coordenadas estão relacionadas ao sistema SIRGAS2000, em conformidade com a RPR 01/2015 de 24/02/2015.

Localização

Na calçada, à esquerda e ao lado norte da Igreja Matriz de Capanema.

Descrição

Chapa de metal medindo 7,5 cm de diâmetro.

(#) Nota :

A Referência de Nível (RN) 843D pertence a um ramal, isto é, uma linha de nivelamento geométrico que não forma circuito, cujos desníveis, portanto, não podem ser ajustados. Consequentemente, as respectivas altitudes são calculadas mediante simples transporte, sem as estimativas de desvio-padrão.

Foto(s) :



Figura 2.4 - Relatório de Estação Geodésica, no município de Capanema/PA. (Fonte: <http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/geodesia/gravimetrica.shtm>).

Para a coleta de dados gravimétricos, foi definido previamente um espaçamento de 2 em 2 Km, para que pudesse ser reconhecido o maior número de informações (estruturas, variações de massas, e etc..) e assim obter um produto com maior credibilidade.

Para a coleta dos dados, foram utilizados os aparelhos Gravímetro Scintrex CG5 e DGPS Trimble. O primeiro, pertencente à Universidade Federal do Ceará – Departamento de Geologia - Laboratório de Geofísica de Prospecção e Sensoriamento Remoto (LGPSR). O DGPS Trimble é pertencente à Universidade Federal do Pará –

Instituto de Geociências – Faculdade de Geologia – Laboratório de Análises de Imagens do Trópico Úmido (LAIT).

2.3.2 Método Gravimétrico

2.3.1.1 Introdução

Os levantamentos gravimétricos são baseados em medidas das variações do campo gravitacional da Terra. A gravimetria (do latim: gravis = peso, e do grego μετρέω = medida), consiste de um conjunto de técnicas que tem por finalidade a medida da intensidade da gravidade. A gravimetria exerce fundamental importância sobre os levantamentos geodésicos, principalmente entre as componentes geométricas dadas pelas técnicas de posicionamento, como por exemplo, a altitude elipsóidica e as componentes físicas dadas pelo campo gravitacional da Terra, como por exemplo, altitude “ortométrica”.

Os levantamentos gravimétricos contribuem de forma importante para estudos geológicos e geofísicos, dentre outras áreas de conhecimento.

O primeiro emprego da Gravimetria no uso da prospecção geológica foi realizado em 1902 na Hungria por Loránd Eötvös, onde foi empregada uma balança de torção desenvolvida por ele para medir horizontalmente o gradiente da aceleração da gravidade. Com o instrumento desenvolvido por Eötvös, em 1924 foram feitas medidas de gravidade no Texas, que possibilitaram a descoberta do Domo Nash, uma estrutura armazenadora de petróleo. No início dos anos de 1930, outro instrumento para fazer medidas da gravidade foi apresentado: o gravímetro, mais portátil, menos sensível a efeitos topográficos e que permitia fazer medidas com mais rapidez do que a balança de torção. Com o gravímetro se impulsionou a aplicação da gravimetria para a aplicação na prospecção geológica (LUIZ e SILVA, 1995).

O objetivo da gravimetria é determinar o campo da gravidade da Terra, ou de qualquer outro corpo celeste, como função da posição e do tempo através da medição do valor da gravidade ou do seu gradiente na superfície do corpo ou nas suas imediações.

Os levantamentos gravimétricos com fins geodésicos requerem técnicas e níveis de precisão que garantam a qualidade das observações levantadas, bem como um controle rigoroso destas mesmas informações após o processamento das mesmas.

Os levantamentos gravimétricos na prospecção são realizados na superfície de terrenos, em poços ou em galerias de minas, áreas cobertas por água e com menos frequência com medidas aéreas. Este método é empregado na procura de estruturas

acumuladoras de óleo e gás assim como para a localização de depósitos minerais de interesse econômico, modelagem geofísica e estrutura da Terra. (LUIZ e SILVA, 1995).

Durante a realização do levantamento, seções gravimétricas foram efetuadas no nordeste do estado, utilizando a malha rodoviária regional, a qual interliga dentre outras, as cidades de Belém, Castanhal, Inhangapí, Capanema, Santa Maria do Pará, São Miguel do Guamá, Curuçá, Salinópolis, Bragança e Viseu.

2.3.3 Teoria do Método Gravimétrico

2.3.3.1 Lei de Newton da Gravitação Universal

O método gravimétrico é regido pela lei da gravitação universal de Newton, que descreve que a força de atração entre corpos é diretamente proporcional ao produto de suas massas e inversamente proporcional ao quadrado da distância entre o centro de suas massas. A força de atração entre duas massas é dada por:

$$F = G \frac{m_1 m_2}{r^2},$$

Onde F é a força de atração entre as massas m_1 e m_2 , r é a distância que separa as massas e G é a constante da gravitação que tem o valor $6,67 \cdot 10^{-8}$ dina.cm² / g² no sistema CGS. A aceleração com que m_1 é atraída por m_2 é adquirida dividindo a força de atração F por m_2 , resultando em:

$$a = \frac{F}{m_2} = G \frac{m_1}{r^2}.$$

Tomando M como a massa da Terra e R como a distância do seu centro até a superfície, os corpos em sua superfície serão atraídos com aceleração:

$$a = \frac{GM}{R^2},$$

Onde, a massa da Terra M é igual a $5,983 \times 10^{27}$ g. Não sendo a Terra perfeitamente esférica (seu raio é menor nos polos) a aceleração de atração aumenta na direção dos polos. Como a distribuição de densidade na Terra não é perfeitamente homogênea é

mais conveniente dividi-la em elementos infinitesimais e soma-los individualmente. Assim, é conveniente substituir a equação da aceleração de atração por:

$$a = G \int_V \frac{dM}{r^2}.$$

Devido ao movimento de rotação, a Terra está sujeita a uma força centrífuga, que depende diretamente do seu raio de rotação l e sua velocidade angular W . A aceleração centrífuga é definida por:

$$a_c = \omega^2 l.$$

Portanto um corpo localizado na superfície terrestre está sujeito a duas acelerações, a aceleração de atração e a aceleração centrífuga. Enquanto a aceleração de atração possui orientação para o centro da terra, a aceleração centrífuga possui uma componente no sentido contrário como visto na Figura 2.5. Devido à aceleração de atração ser maior que a componente da aceleração centrífuga, o corpo é atraído para o centro da Terra com uma aceleração denominada de aceleração da gravidade, de intensidade:

$$g = G \int_V \frac{dM}{r^2} - \omega^2 l \cos \Phi.$$

Onde, ϕ é a latitude onde se encontra o corpo. O raio de rotação l possui o maior valor no Equador e seu menor valor nos polos onde se iguala a zero, com isso é fácil concluir que gravidade varia de acordo com a sua latitude sendo menor no Equador e maior nos polos.

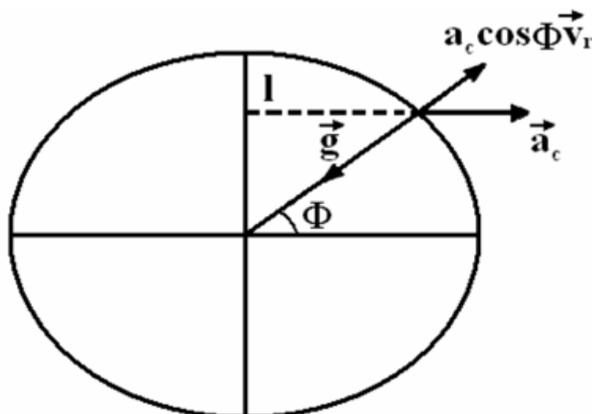


Figura 2.5 – Aceleração atuante na superfície da terra.

Os valores da gravidade são normalmente medidos no sistema CGS em cm/s^2 , denominado de Gal. Na prospecção geofísica tem-se como objetivo medir as variações dos valores da gravidade associados aos materiais geológicos, cujos valores normalmente variam na ordem de 10^{-3} a 10^{-4} Gal, pois os valores dos contrastes de densidade são muito pequenos. Por isso, na prospecção geofísica emprega-se o submúltiplo miligal (mGal).

2.3.3.2 *Gravidade da Terra*

Sabe-se que os valores da gravidade ao longo de sua superfície dependem de cinco fatores, que são: latitude, elevação, topografia da região, atração entre Sol e Lua (marés terrestres) e a variação da densidade em subsuperfície. Dentre eles, a densidade é o único fator que é importante para uma prospecção geológica, portanto após coletados, estes dados precisam ser corrigidos, para a retirada do efeito dos outros fatores. A variação provocada pela densidade comparada com a provocada pelos outros fatores que contribuem para a gravidade é muito menor. Por exemplo, a variação gravitacional do equador para os polos é de aproximadamente 5 Gal ou 0,5% do valor médio da gravidade, enquanto os valores da variação devido a altitude chegam a 0,1 Gal ou 0,01% do valor médio da gravidade. Por outro lado, anomalias produzidas por estruturas ou corpos geológicos são da ordem de 0,01 Gal. Na prospecção de petróleo as anomalias chegam em torno de 10 mGal, já na prospecção mineral as anomalias são inferiores a 5 mGal. Portanto, para fazer levantamentos para a prospecção os instrumentos devem ter a sensibilidade de pelo menos 0,1 mGal (TELFORD et al., 1990)

2.3.3.3 *Correções da Gravidade*

A fim de que os valores da gravidade medidos na prospecção geofísica reflitam apenas variações na densidade são aplicadas as seguintes correções: a correção do efeito da latitude, correção topográfica, correção de altitude, correção de marés (efeito da atração do Sol e Lua), e uma correção adicional, feita para corrigir o erro que o próprio instrumento de medida proporciona, chamada de variação instrumental ou *drift*.

2.3.3.4. Correção de Latitude

Serve para corrigir os efeitos relacionados com a variação do raio da Terra e da força centrífuga. Para aplicar esta correção é necessário estabelecer uma latitude de referência (ϕ_0), para onde os valores medidos serão reduzidos, como se todas as medidas tivessem sido realizadas naquela latitude

$$C_L = 5162,83(\text{sen}^2\Phi_1 - \text{sen}^2\Phi_0) \text{ mGal/km}$$

2.3.3.5. Correção de Elevação (Ar-livre)

É feita apenas para eliminar os efeitos da altitude das medidas. Ela não leva em conta a quantidade de massa existente entre o centro da Terra e o ponto de medida (LUIZ e SILVA, 1995). A equação para o cálculo da correção é obtida através de

$$C_{AL} = 0,3086h \text{ mGal},$$

Onde, h a diferença de altitude em metros entre a medida e o nível do mar.

2.3.3.6. Correção de Bouguer

Leva em conta a massa existente entre o centro da Terra e a estação medida, diferente da correção ar-livre descrita anteriormente onde era ignorada. Esta correção elimina o efeito da massa existente entre o nível da estação e o nível do mar. A correção é feita através da seguinte equação:

$$C_B = 0,04191\rho h \text{ mGal},$$

Onde, ρ é a densidade média da massa que existe entre o nível da estação e o nível do mar.

2.3.3.7. Correção Topográfica ou de Terreno

Quase sempre só é aplicada em regiões com grandes desníveis topográficos (maior que 50 metros). A correção é usada para complementar à correção de Bouguer, para repor massa retirada em excesso e massa não retirada (Figura 2.6). Quando o terreno tem pouco

desnível esses efeitos são muito pequenos e podem ser desprezadas, não necessitando da correção topográfica.

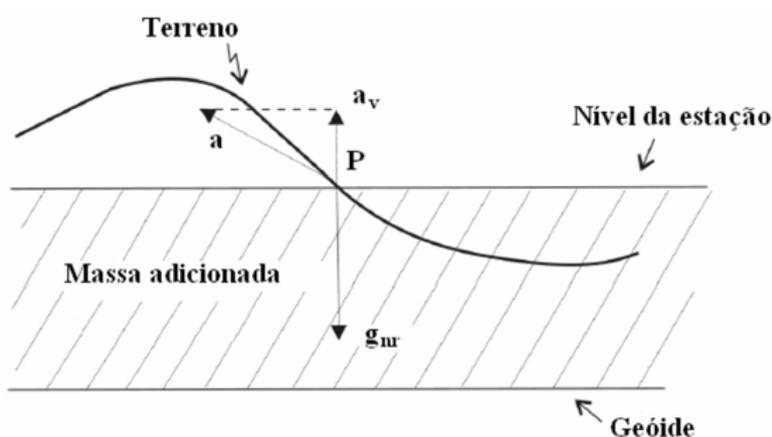


Figura 2.6 – Efeito da topografia no Gravímetro (adaptado de LUIZ e SILVA , 1995).

Essa correção é aplicada computacionalmente, devido à rapidez e a agilidade com que os dados são processados, necessitando que os dados estejam digitalizados assim como os mapas de contorno topográficos sobre os quais esses dados são plotados (LUIZ e SILVA, 1995).

2.3.3.8. Correção de Maré

Devido a mudanças de posições entre Terra, Sol e Lua, os valores de gravidade medidos pelo Gravímetro podem variar ao longo do dia, com variações máximas em torno de 0,3 mGal.

Os valores das perturbações provocadas pelo Sol e a Lua podem ser calculadas teoricamente através de equações matemáticas, para qualquer hora do dia e qualquer parte do globo terrestre. Estes valores apresentam-se em tabelas ou podem ser calculados com programas de computadores.

2.3.3.9. Correção da Variação Instrumental

A variação instrumental é corrigida realizando-se duas medidas em um mesmo ponto (estação base), normalmente no início e no fim do dia. Em um levantamento, não é necessário que se façam as duas medidas sempre na mesma base, pois em levantamentos de áreas extensas, poderá levar muito para voltar para estação base,

sendo assim, fica mais fácil estabelecer varias estações durante o levantamento para fazer estas medidas.

2.3.3.10. *Influência dos Materiais no valor da gravidade*

Os materiais presentes na Terra influenciam o valor da gravidade. Os que estão alocados na crosta contribuem com até 0,3% do valor total da gravidade, o restante provém do manto e do núcleo.

Os primeiros 5 km de crosta crescem em até 0,05%, o valor total da crosta (0,3%), e as variações nas densidades das rochas são responsáveis por flutuações menores que 0,01% do valor da gravidade normal (LUIZ e SILVA, 1995).

Na prospecção de recursos minerais a anomalia é da ordem de 5 mGal, enquanto que na prospecção de hidrocarbonetos estas anomalias chegam a 10 mGal. Os materiais geológicos têm suas densidades conhecidas, o que facilita nas interpretações dos dados gravimétricos, estabelecimento de correlações entre esses materiais na superfície e a possível existência dos mesmos em subsuperfície (Tabela 2.1).

Tabela 2.1 – Exemplos de densidades de rochas e minerais (TELFORD et al., 1990).

Rocha ou mineral	Variação de densidade	Densidade média (g/cm³)
Granito	2,50 – 2,81	2,64
Sienito	2,60 – 2,95	2,77
Basalto	2,70 – 3,30	2,99
Gabro	2,70-3,50	3,03
Gnaisse	2,59-3,00	2,80
Xisto	2,39-2,90	2,64
Arenito	1,60-2,68	2,24
Folhelho	1,56-3,20	2,10
Magnetita	4,90-5,20	5,12
Malaquita	3,90-4,03	4,00
Quartzo	2,50-2,70	2,65

Os valores de densidade nas rochas ígneas são inversamente proporcionais ao teor de sílica presente. As rochas sedimentares exibem maior variação de densidade, pois estão associadas não somente a composição mineralógica, mas também ao grau de compactação, porosidade e presença ou não de fluidos nos poros. Nas rochas

metamórficas a densidade aumenta no sentido das fácies com mais alto grau de metamorfismo.

Nos minerais metálicos as densidades geralmente são superiores a $4,0 \text{ g/cm}^3$, enquanto os não-metálicos possuem densidades geralmente inferiores a $3,5 \text{ g/cm}^3$.

2.4 – AQUISIÇÃO E PROCESSAMENTO DE DADOS GRAVIMÉTRICOS

2.4.1 Aquisição

As medidas de aceleração da gravidade (g) foram efetuadas com o Gravímetro Scintrex CG5, modelo “CG”, nº 5, dotado de *feedback* digital, leitura e níveis eletrônicos, com precisão de $\sigma = \pm 0,04 \text{ mGal}$. O dispositivo denominado *feedback* (realimentação), compensa eletronicamente o deslocamento da massa interna do gravímetro, mantendo-a na posição de equilíbrio. A força eletromagnética aplicada para realizar essa compensação é convertida em unidades de g e lida num visor digital, fornecendo a parcela centesimal da leitura convencional, sendo esta última feita no disco de leitura da compensação mecânica. Sua utilização permite uma maior precisão ($0,01 \text{ mGal}$), da ordem de 10 vezes da medida de g efetuada sem o *feedback* (RUGENSKI, 2006).

O Gravímetro Scintrex CG5 foi manuseado pelo técnico em Geofísica, Fernando Filho da UFC (Figura 2.7 e 2.9).

As coordenadas planimétricas em cada ponto foram determinadas através de um receptor de posicionamento por satélite (GPS) de marca Trimble, modelos R4 e R6. Esse mesmo equipamento foi utilizado para fins de navegação durante os levantamentos geofísicos e na localização dos pontos de coleta das amostras. A precisão na localização de cada ponto, variável entre 15 m e 50 m dependendo da constelação de satélites disponíveis no instante da medida, implica uma incerteza inferior a $0,1 \text{ mGal}$, para essa latitude, quando propagado para o valor da aceleração da gravidade (Figura 2.8)



Figura 2.7 - Equipamentos utilizados na aquisição dos dados gravimétricos: Gravímetro Scintrex CG5 e DGPS Trimble.

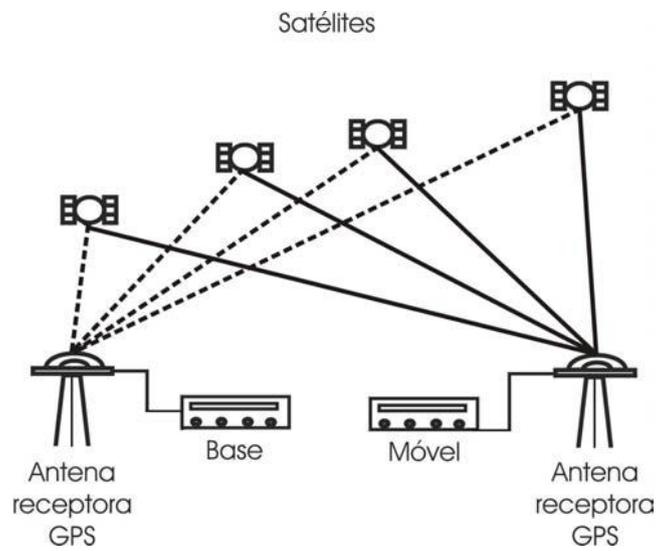


Figura 2.8 - Representação do mecanismo de funcionamento do posicionamento (GPS).



Figura 2.9 - Coleta de dados gravimétricos e de DGPS em campo.

As medidas do campo gravitacional (Figura 2.10) foram realizadas ao longo de nove perfis conforme mostrado a seguir e mantendo sempre o espaçamento de 2000 m entre os pontos de tomada de medida.

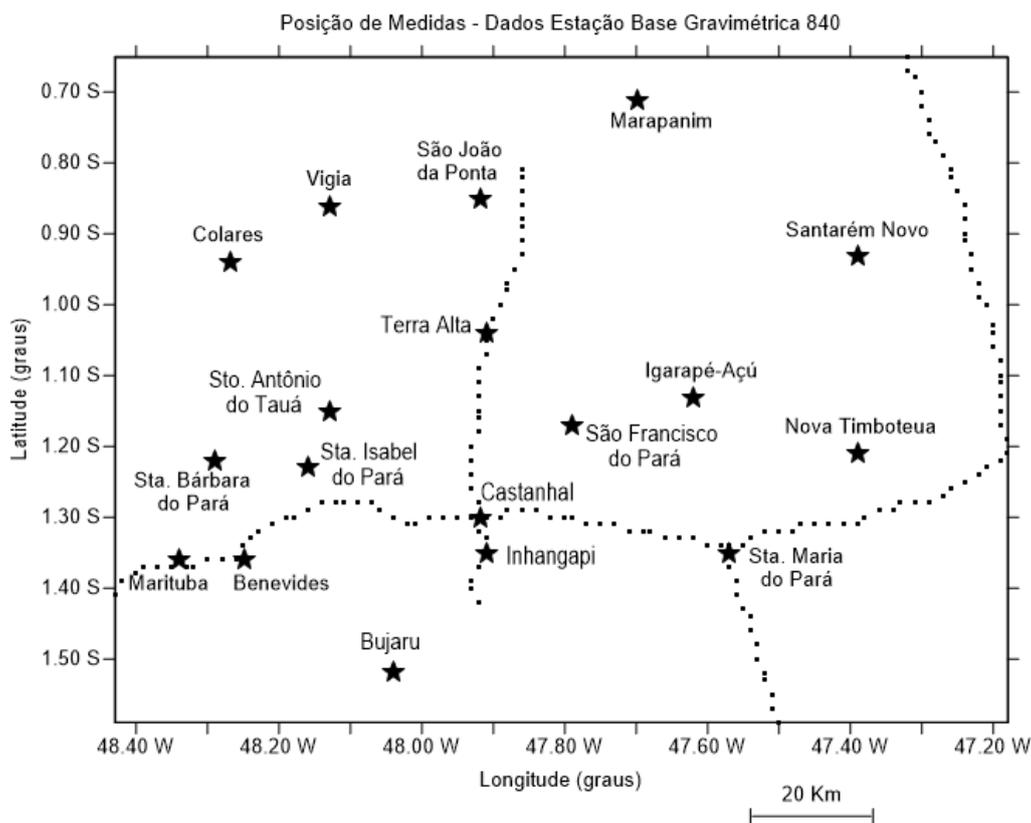


Figura 2.10 - Mapa que exhibe as localidades onde as medições foram realizadas (fonte: Autor).

O quadro a seguir contém, de maneira simplificada, a explicação dos perfis que foram levantados neste trabalho:

Tabela 2.2 – Perfis levantados durante o trabalho de campo e suas informações essenciais, como extensão, dimensões e número de pontos coletados.

Perfil	Extensão	Dimensão	Número de pontos
1	16 km	BR – 316, Escola Agrotécnica de Castanhal até a entrada de Inhangapí	8
2	60 km	BR – 316, Escola Agrotécnica de Castanhal até a entrada de Belém	30
3	56 km	BR – 316, Escola Agrotécnica de Castanhal até o trevo inicial de Curuçá (PA – 136)	28

4	70 km	BR – 316, Escola Agrotécnica de Castanhal até a entrada de São Miguel do Guamá	35
5	64 km	PA - 124, Igreja matriz de Capanema até o trevo de Salinópolis	32
6	48 km	BR – 316, Igreja matriz de Capanema até a subestação de Santa Maria do Pará	24
7	46 km	BR – 316, Igreja matriz de Capanema até a entrada de Santa Maria do Pará	23
8	108 km	BR – 308 (UFPA – campus Bragança), até as margens do rio Gurupi	54
9	56 km	BR – 308 (UFPA – campus Bragança), até a Igreja matriz de Capanema	28
10	52 km	BR – 308, entre as cidades de Bragança e Viseu	26
11	56 km	BR – 308, entre as cidades de Bragança e Viseu	28

A partir do perfil 10 foi necessária a transferência da base da UFPA – campus Bragança, até um ponto médio, definido no trajeto, de nome BASE COOMAC. Esta transferência de base ocorre de forma que é necessário fazer de 4 a 6 leituras, num intervalo de 2 (duas) horas, entre um ponto com medida geodésica definida e um ponto desconhecido.

A imagem abaixo (Figura 2.11) que representam o perfil 9, levantado entre as cidades de Bragança e Capanema.

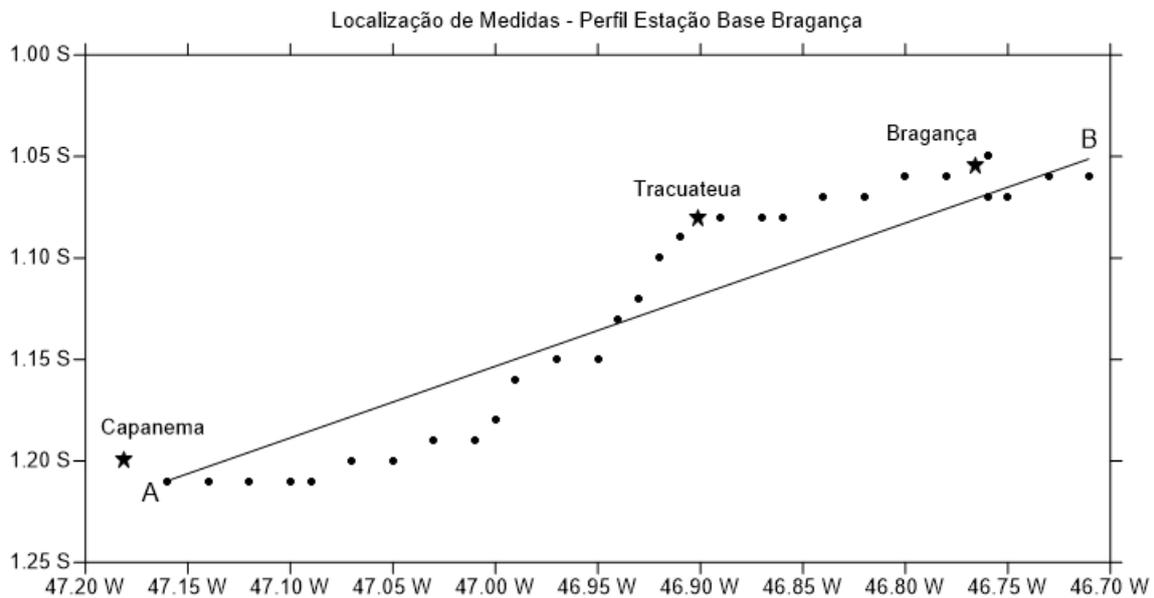


Figura 2.11 – Exemplificação do perfil 9, feito entre as cidades de Bragança e Capanema (fonte: Autor).

2.4.2 Processamento

2.4.2.1 Correção Bouguer

Do ponto de vista da geologia e geofísica, e para suas usuais utilidades em termos da gravimetria, são necessárias algumas correções no dado gravimétrico bruto em função dos objetivos propostos.

Em especial, neste trabalho lançamos mão da Correção de Bouguer, que tem por objetivo a remoção completa das massas topográficas entre a estação de medida e o nível de referência, isto é o geóide e pode ser expressa por:

$$C_B = -A - B + C \quad (4.1)$$

Onde o termo A corresponde a Correção de Bouguer, sendo a componente vertical da atração exercida por um platô horizontal de espessura H sobre um ponto de massa unitária. O termo B converte o platô em calota e por fim o termo C (correção topográfica) considera as irregularidades da topografia em relação à calota.

$$\Delta g_B = \Delta g + 0,3086h - 0,1119h - B + C \quad (4.2)$$

ou mesmo:

$$\Delta g_B = \Delta g + 0,1967h - B + C \quad (4.3)$$

Sendo C irrelevante em escala regional e se h for dado em metros, a anomalia será dada em mGal.

A Correção de Bouguer propriamente dita consiste na adição ao valor normal da gravidade, a atração exercida em um cilindro de raio infinito e com altura igual a altitude da estação no terreno. A densidade do cilindro deve ser igual a do material que está entre o geóide e a estação.

Sendo a massa do cilindro igual a $dm = \rho s \, d\theta \, ds \, dz$. A atração exercida por dm no ponto P será:

$$dg = G (dm / r^2) \quad (4.4)$$

E a atração total do cilindro é dada pela integração da mesma:

$$g = G \int_{vol} (dm / r^2) = G\rho \iiint (s \, d\theta \, ds \, dz) / (z^2 + s^2) \quad (4.5)$$

Com algumas integrações e simplificações, tem-se que:

$$g_z = 2\pi G\rho (\sqrt{Z_2^2 + a^2} - \sqrt{Z_1^2 + a^2} + Z_1 - Z_2) \quad (4.6)$$

Com o raio do cilindro aumentando, a diferença $\sqrt{Z_2^2 + a^2} - \sqrt{Z_1^2 + a^2} + Z_1 - Z_2$ se torna cada vez menor, se assumindo o valor de zero quando o raio é infinitamente grande em relação as dimensões Z_2 e Z_1 . Dessa forma, a atração exercida por um cilindro de raio infinito que representa a Correção de Bouguer (CB) é:

A equação $C_B = g_z = 2\pi G\rho (Z_1 - Z_2) = 0,04191 \rho h$ mGal, onde as uniades de ρ e h são respectivamente g/cm^3 e metros. Esta expressão mostra que a atração independente da distância do ponto P ao cilindro, sendo função apenas do seu comprimento e densidade. Finda-se com a expressão abaixo dada para a redução do valor normal da gravidade para o nível do terreno:

$$g_{nr} = g_n + 0,04191 \rho h \quad (4.7)$$

2.4.2.2 Correções nos Dados de Satélite

Para a correção dos dados de satélite, obtidos no levantamento de campo, foi utilizado o *software* TBC – *Trimble Business Center*, de propriedade da empresa TRIBLE®. O objetivo foi reduzir a incerteza dos dados obtidos, fazendo com que os erros de posicionamento fossem mínimos.

Este ajuste foi feito através das bases homologadas pelo IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística), os RN'S e os dados coletados, fazendo com que o deslocamento deste posicionamento, seja na escala milimétrica, com maior credibilidade aos dados obtidos.

CAPÍTULO III - GEOLOGIA REGIONAL

3.1 – GEOMORFOLOGIA

O estado do Pará é caracterizado por terrenos de cotas inferiores a 250 m, formados a partir de longos períodos de aplainamento generalizado do relevo. Em sua maior parte, estes terrenos são sustentados pelo embasamento ígneo-metamórfico e coberturas sedimentares plataformais de idade arqueana a paleoproterozóica (JOÃO et al., 2013). Segundo Ab'Saber (1967, 1969), praticamente todo o território paraense está inserido no Domínio Morfoclimático das Terras Baixas Equatoriais da Amazônia, caracterizado por terras baixas, depressões, planícies aluviais e planaltos, cobertos pela extensa floresta latifoliada equatorial amazônica.

No estado do Pará são destacadas as paisagens geomorfológicas: planícies de inundação e terraços fluviais das várzeas amazônicas; tabuleiros e baixos platôs modelados em rochas sedimentares pouco litificadas; superfícies de aplainamento das áreas cratônicas; planaltos e serras modelados em coberturas plataformais ou litologias mais resistentes à erosão (JOÃO et al., 2013). A diversidade das formas de relevo no território paraense permitiu a sua compartimentação em 18 domínios geomorfológicos (Fig. 3.1). A área estudada está inserida no domínio da Planície Costeira do Nordeste do Pará (Fig. 3.1) e será detalhada a seguir.

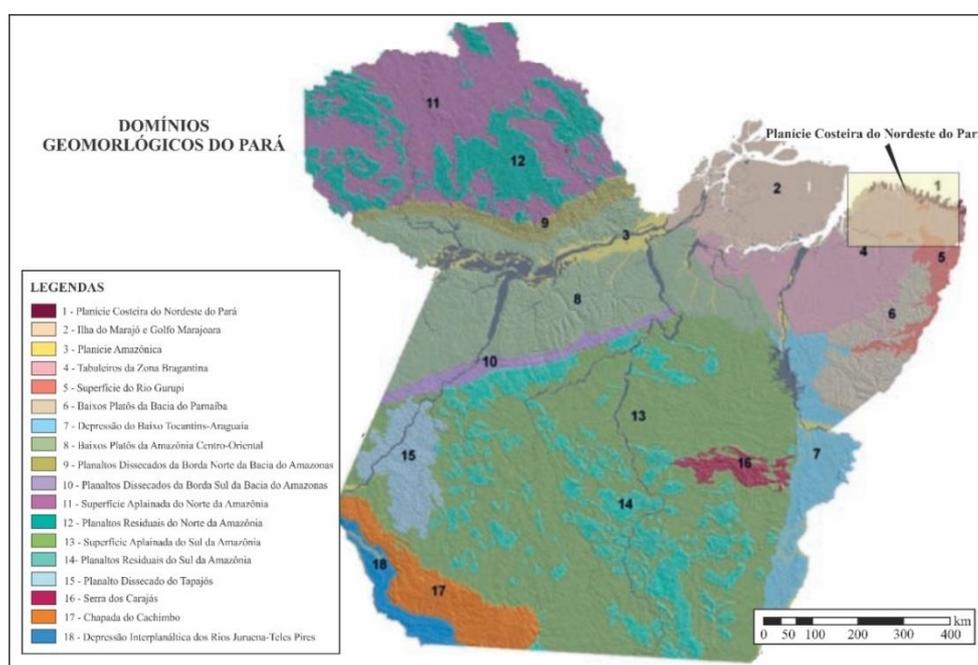


Figura 3.1 - Domínios geomorfológicos do estado do Pará com destaque para Planície Costeira do Nordeste do Pará.

(JOÃO et al., 2013).

3.1.2 - Planície Costeira do Nordeste do Pará

A Planície Costeira do Nordeste do Pará abrange uma área relativamente restrita que se estende entre as baías de Guajará e Viseu. Neste domínio geomorfológico ocorrem rochas de idade cenozóica superior, expostas na Zona Bragantina e agrupadas em três sucessões litológicas representadas pelos calcários da Formação Pirabas e rochas siliciclásticas do Grupo Barreiras e Pós-Barreiras (ROSSETTI et al., 2001). Este domínio é constituído principalmente por planícies fluviomarinhas, caracterizadas por terras baixas e inundáveis, dominada por manguezais, além de escassas planícies costeiras e aluviais que compõem a paisagem. De acordo com Ab'Saber (2003), imagens de radar e dados de campo atestam uma costa de vales afogados, mascarada por uma extensa sedimentação fluvio-marinha. Ab'Saber em continuidade (2003) destaca ainda que o processo de afogamento mais intenso dos antigos vales fluviais ocorreu nos últimos 6.000 anos. As planícies fluviomarinhas e de intermarés são de idade quaternária e formadas por sedimentos inconsolidados, argilosos e ricos em matéria orgânica.

A sedimentação nas planícies fluviomarinhas é diretamente influenciada pela morfologia da zona costeira no Estado do Pará com acumulações quaternárias. A alternância de longos estuários e extensos canais de maré com ocorrência de protuberâncias da linha de costa formadas por cordões arenosos isolados (*cheniers*) que geram, à sua retaguarda, um ambiente de baixa energia, propício à sedimentação das planícies fluviomarinhas, além da formação de um litoral de rias a leste da ilha do Marajó até o golfo maranhense (NOVAES PINTO, 1973; COSTA et al., 1993; SOUZA FILHO & EL-ROBRINI, 2000; EL-ROBRINI et al., 2006).

Adicionalmente, a influência de notáveis variações de marés, da ordem de 5 a 6 m de oscilação diurna (SOUZA FILHO & EL-ROBRINI, 1998), também contribui para a deposição de sedimentos fluviomarinhas e o desenvolvimento de manguezais.

3.2 – HIDROGEOLOGIA

Três grandes bacias hidrográficas recobrem o Estado do Pará: Amazônica, Tocantins-Araguaia e Atlântico Norte (ANA, 2007). Embora, possua uma considerável rede de drenagem superficial constituída por inúmeros rios de vazões expressivas, cerca de 76% dos 143 municípios paraenses são abastecidos parcial ou totalmente por águas subterrâneas. Modelos de abastecimento pautados em águas subterrâneas são

preferenciais devido a maior proteção contra a contaminação, serem (são) captadas no próprio local e não necessitem, na maioria das vezes, de tratamento prévio – apenas da adição de cloro para eliminação dos coliformes eventualmente presentes, o que diminui os custos de produção.

As águas subterrâneas de aquíferos sedimentares no Estado do Pará não ocorrem de forma homogênea, já que cerca de 60% do território está assentado em ambiente de rochas cristalinas. No Estado do Pará, predominam as águas subterrâneas de boa qualidade e em quantidades apreciáveis com baixos a médios teores de mineralização e pH médio entre 4,8 e 8,0. Entretanto, ainda não se tem pleno conhecimento de suas reservas (JOÃO et al., 2013). O quadro hidrogeológico da região investigada compreende as unidades litológicas cenozóicas pertencentes à Formação Pirabas e ao Grupo Barreiras e à Formação Pós Barreiras.

O Sistema Aquífero Barreiras constitui um aquífero predominantemente livre, amplamente distribuído pela costa brasileira, aflorando de forma descontínua da região Norte à região Sudeste, ocupando uma área de aproximadamente 175.000 km². Uma das características mais marcantes desse sistema é o alto teor de ferro das suas águas, o que comumente acarreta a necessidade de tratamento para desferrização, a fim de evitar problemas, tais como: gosto metálico nas águas produzidas, incrustações nas bombas e filtros dos poços e nos materiais de revestimento, reduzindo a vida útil dos poços (MATTA, 2002). Cortez et al., (2000) destacam que o Sistema Aquífero Barreiras apresenta águas com baixas concentrações de sais dissolvidos, variando entre 15,18 e 32,61 mg/L e pH de 4,3 a 4,6. Em virtude do nível eustático raso (< 5 m) e da natureza do aquífero ser livre, as águas subterrâneas desse sistema, podem interagir facilmente com águas superficiais contaminadas por efluentes líquidos (principalmente esgotos domésticos), fossas negras caso não exista saneamento básico (ARAÚJO e TANCREDI, 2000; MATTA, 2002). Além disso, resíduos sólidos em lixões, tais como, metais pesados e solventes clorados diversos podem contaminar mais facilmente este aquífero dada a sua proximidade com a superfície. Diversas capitais litorâneas das regiões norte-nordeste, tais como, São Luís, Belém, Fortaleza, Natal e Maceió, tem grande parte de seu abastecimento hídrico suprido pelo Sistema Aquífero Barreiras (HIRATA et al., 2016).

O Sistema Aquífero Pirabas faz parte do contexto geológico da região nordeste do Pará, se estendendo até as faixas litorâneas dos estados do Maranhão e Piauí. As camadas aquíferas do Sistema Pirabas, quando comparadas com o Sistema Barreiras,

apresentam melhores e maiores continuidades laterais além de uma boa espessura, geralmente em torno de 80 m (MATTA, 2002). Segundo levantamentos realizados pelo Serviço Geológico do Brasil (CPRM), essa unidade ocorre na região de Belém e Ananindeua em profundidades a partir de 180 e 200 m. Na região do Salgado, a profundidade dos poços de abastecimento da COSANPA varia entre 80 e 160 metros, sempre captando água subterrânea da Formação Pirabas (FREIMAN et al., 2014). O aquífero Pirabas apresenta uma elevada produtividade, com excelentes vazões de até 300 m³/h e água de boa qualidade (SAUMA FILHO, 1996). Características físico-químicas dessas águas apresentadas por Picanço et al., (2002), de maneira geral, para a região metropolitana de Belém dão conta de valores de ferro total entre 0,5 a 3,09 para as profundidades entre 100-370 metros e valores de pH entre 5,16 e 7,6 para as mesmas profundidades.

3.3 – NEOTECTÔNICA

Os estudos neotectônicos da região amazônica (NE do Estado do Pará) dão conta da existência de estruturas tectônicas, impostas a sequências sedimentares as quais condicionam padrões de drenagem e sistemas de relevo (COSTA et al., 1996). A movimentação tectônica na região é controlada pela estruturação do embasamento, relacionada à tectônica transcorrente dextral E-W (Figura 3.2), induzida pelo deslocamento da Placa Sul-Americana para oeste (HASUI, 1990; COSTA et al., 1993; HASUI, 1996). Na região nordeste do Pará registros de atividade neotectônica vêm sendo descritos como tendo lugar desde o Terciário Superior até ao Quaternário (COSTA et al., 1993, 1994; BORGES et al., 1995) (Figura 3.3). Em um primeiro momento, durante o intervalo Mioceno-Plioceno, as manifestações neotectônicas levaram ao desenvolvimento de estruturas transtensivas e transpressivas, incluindo, falhas mestras normais, lítricas e planares, com direção NW-SE e mergulho para NE, encontradas da região do Marajó até o litoral nordeste do Estado do Pará (COSTA et al., 1996). Neste cenário, foram depositados os sedimentos da sucessão Pirabas-Barreiras em duas fases distintas: 1) O desenvolvimento de falhas-mestras normais (NW-SE) observadas em linhas sísmicas, possuindo mergulho para NE, favoreceram a ingressão do “Mar de Pirabas” e a sedimentação da sequência carbonática na região; 2) A movimentação ao longo de falhas normais promoveu a deposição da sequência siliciclástica do Grupo Barreiras, enquanto a tectônica transcorrente dextral (NE-SW) serviu como agente controlador da distribuição dessas sequências.

No Pleistoceno-Holoceno ocorreu o segundo evento de estruturação tectônica na região. Este se caracterizou pela formação de estruturas romboédricas transtensivas, assimétricas e simétricas, marcadas por falhas transcorrentes dextrais de direção E-W interconectadas por falhas normais NW-SE, NNW-SSE e N-S, configurando bacias de afastamento (COSTA et al., 1996). A compartimentação e o basculamento dos blocos em virtude da movimentação das falhas normais promoveu a distribuição, em faixas alternadas compostas pelas sedimentações Barreiras e Pirabas.

A região nordeste ainda apresenta feições referentes aos deslocamentos verticais da maioria das falhas normais presentes nestes eventos supracitados. Características como a distribuição da Formação Ipixuna e Grupo Barreiras em faixas alternadas em São Miguel do Guamá; exposições isoladas de rochas carbonáticas Pirabas em meio aos depósitos siliciclásticos; o basculamento da Ilha do Marajó com canais anastomosados migrando para a região sudoeste; formação de terraços fluviais pleistocênico-holocênicos e depósitos associados a fluxo de detritos, e por fim, pelos segmentos retos e capturas de rios por falhas normais, como exemplificado pelo trecho entre Ourém e Belém do Rio Guamá (COSTA et al., 1996).

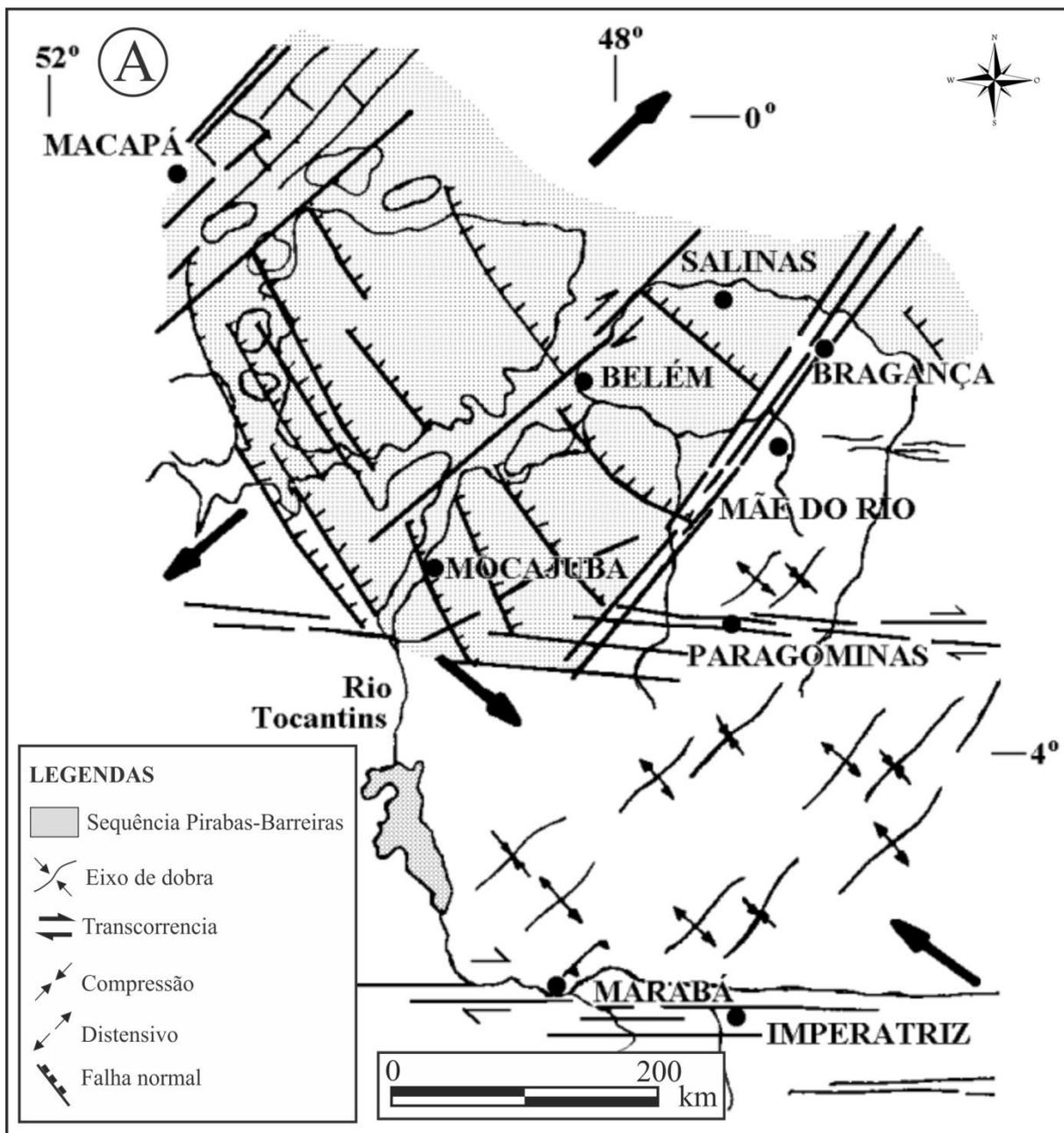


Figura 3.2 - Estruturas maiores do Terciário Superior da região nordeste do Pará. Pontilhado: Sequência Pirabas-Barreiras (COSTA et al., 1996).

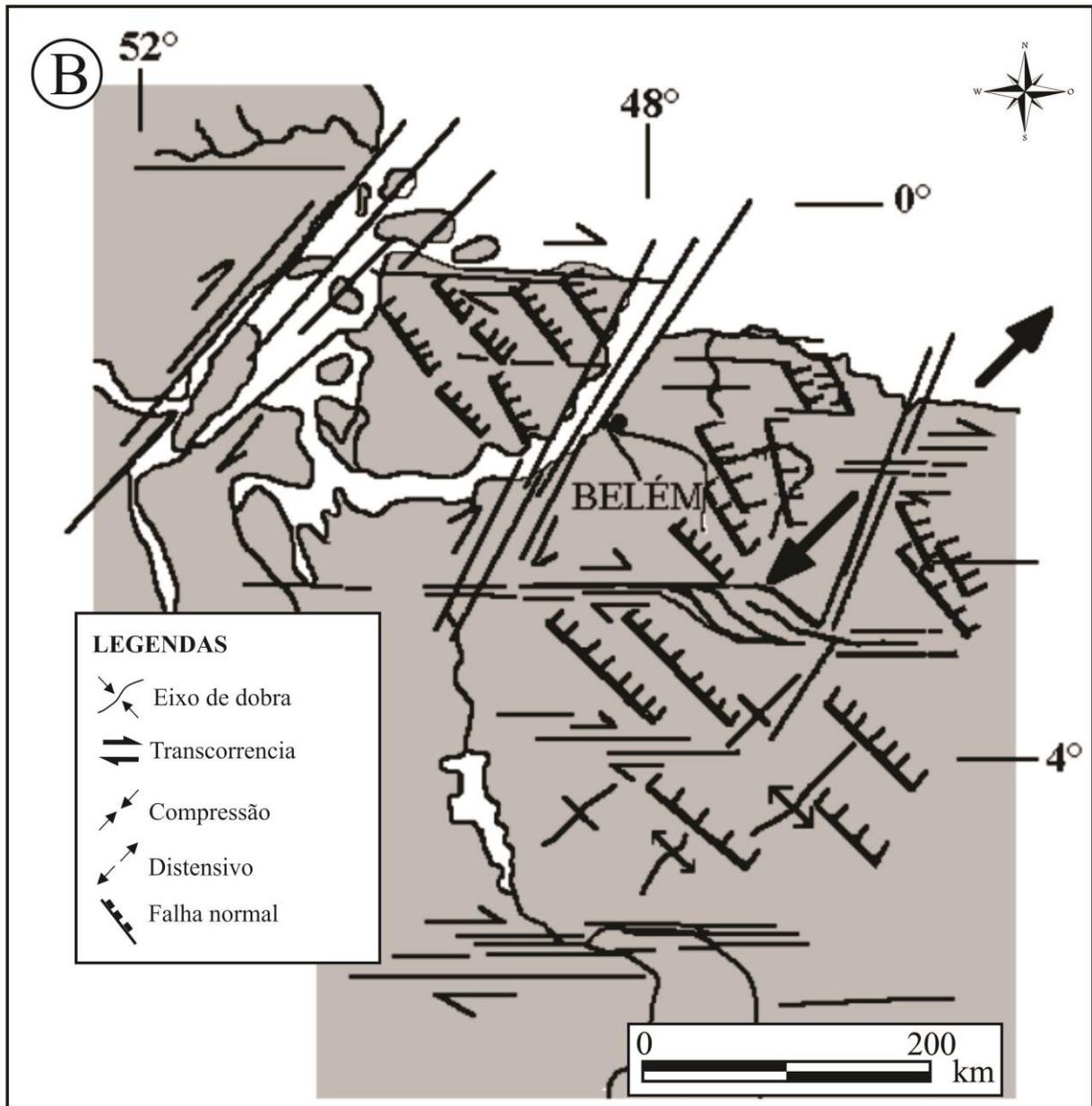


Figura 3.3 - Estruturas maiores do Quaternário da região nordeste do Pará (COSTA et al., 1996).

3.4 - PLATAFORMA BRAGANTINA

A Plataforma Bragantina (figura 3.4) está situada na região norte do Brasil. É limitada a oeste pela Plataforma do Pará, a leste pela Bacia Bragança-Vizeu e ao sul pela Bacia do Parnaíba (ROSSETTI e GÓES, 2004). A Plataforma Bragantina corresponde às áreas continentais emersas e submersas, continuamente estáveis nos episódios de tectônica distensiva que ocorreram durante a quebra do Gondwana e a abertura do Atlântico Equatorial no Jurássico/Cretáceo inferior (SZATMARI et al.,

1987; AZEVEDO 1991; SOARES JÚNIOR et al., 2008).

As estruturas presentes na Plataforma Bragantina são antigas e condicionam o comportamento estrutural observado nas rochas das formações Pirabas e Barreiras.

A Plataforma Bragantina é constituída, da base para o topo, pelas formações Pirabas, Barreiras e sedimentos Pós-Barreiras que registram as oscilações eustáticas do final do Oligoceno e reativações tectônicas regionais (Quadro 1). O relevo formado nas fases anteriores de abertura é denudado e nesta região é depositada a Formação Pós-Barreiras.

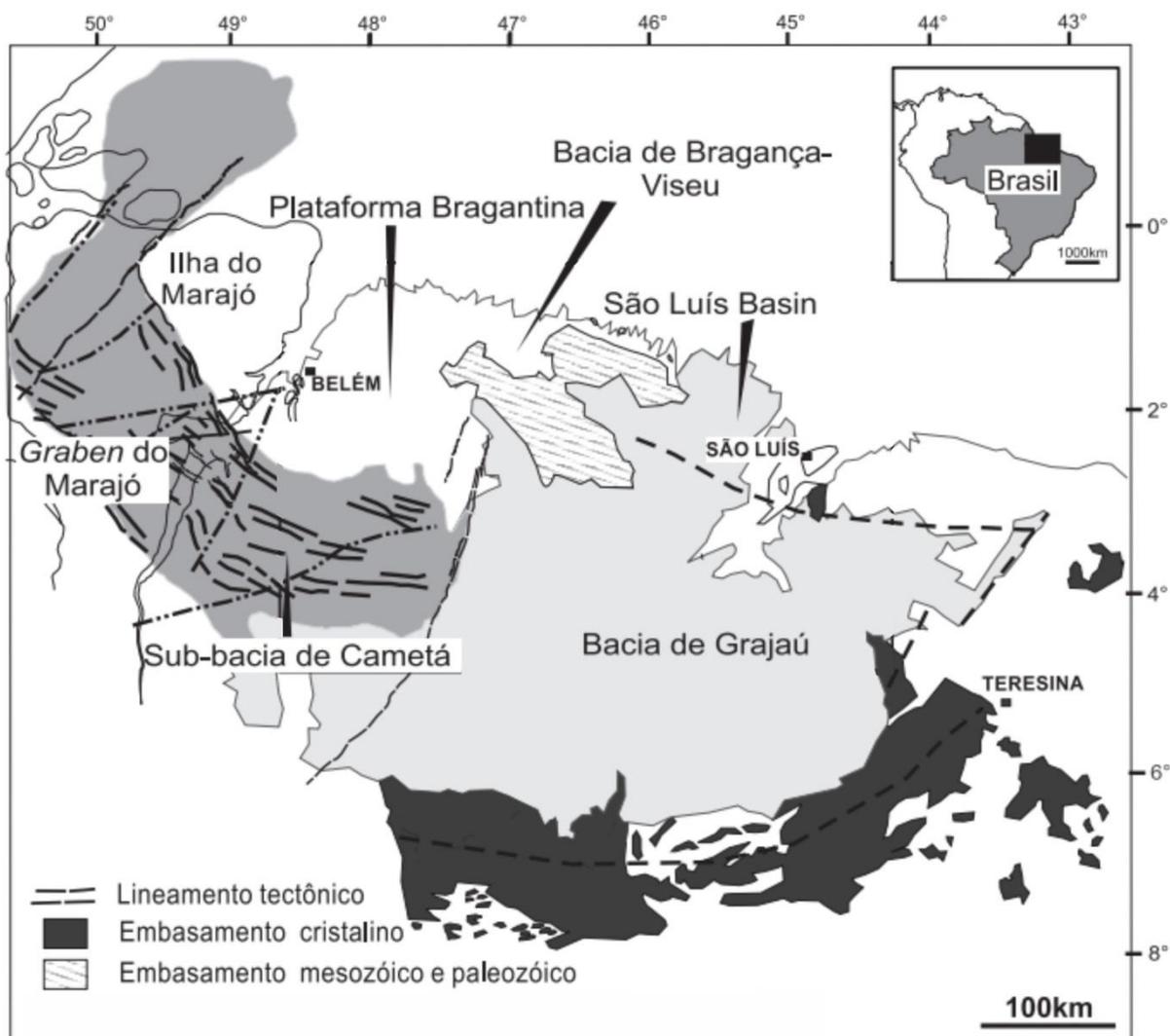


Figura 3.4 - Mapa de localização da Plataforma Bragantina, no contexto das bacias sedimentares associadas (ROSSETTI, 2006).

Os carbonatosossilíferos da Formação Pirabas (Eomioceno) são produtos de incursões marinhas, cujas camadas ocorrem em outros locais restritos da faixa costeira no Maranhão, Piauí e na bacia de Marajó, promovidas por deslocamento de blocos do embasamento e rearranjo das drenagens (COSTA et al., 1996). Posteriormente, o

desenvolvimento de drenagens encaixadas ao longo de zonas de falhas normais e transcorrentes aprisionou uma grande quantidade de sedimentos siliciclásticos da Formação Barreiras (ROSSETTI e GÓES, 2004). Por fim, sedimentos Pós-Barreiras caracterizados por condições eólicas (dunas costeiras), cordões litorâneos, planícies de maré, canal de maré e mangue recobriram em discordância as formações Pirabas e Barreiras (ROSSETTI, 2001).

Quadro 1 – Coluna litoestratigrafica da porção nordeste do Estado Pará (AMORIM, 2016).

IDADE		UNIDADE ESTRATIGRÁFICA	DESCRIÇÃO
QUATERN.		SEDIMENTOS RECENTES	Argilas de coloração branca acinzentada, com manchas vermelhas a amareladas devido a oxidação do ferro
PLIOCENO		PÓS-BARREIRAS	Sedimentos areno-argilosos, maciços, coloração amarela, apresentando grânulos de quartzo e concreções ferruginosas dispersas aleatoriamente
MIOCENO	NEO	PALEOSSOLO LATERÍTICO (SB3)	
	MESO	GRUPO BARREIRAS	Sedimentos areno-argilosos e conglomeráticos de coloração vermelha amarelada com tons esbranquiçados localmente bioturbados. Apresentam laminação plano paralela, estratificações cruzadas acanalada, tangencial, sigmoidal e acamamentos de maré
		(SB2)	
	EO	GRUPO BARREIRAS	É constituída por biocalcirrudito, biocalcarenito, bioermito, calcirrudito e micrito intercalado com pelitos laminados e arenitos calcíferos. Estruturas sedimentares incluem laminações plano-paralela, estratificações cruzadas tabular, baixo-ângulo e <i>hummocky</i> , além de marcas onduladas simétricas. É comum a presença de micro/macrofósseis diversificados e restos de vegetais
OLIGOCENO SUPERIOR		FORMAÇÃO PIRABAS	
		PALEOSSOLO LATERÍTICO/BAUXÍTICO(SB1)	
CRETÁCEO		GRUPO ITAPECURU	Predominam arenitos vermelhos a cinza-esbranquiçados, caulíníficos com siltitos e folhelhos intercalados. Conglomerados clasto suportado também ocorrem.

3.4.1 - Formação Pirabas

A Formação Pirabas foi originalmente definida por Maury (1925) como rochas calcárias fossilíferas que ocorrem na foz do Rio Pirabas, nordeste do Estado do Pará. A idade da Formação Pirabas é posicionada entre o Oligoceno superior - Mioceno inferior (ROSSETTI, 2001) ou Mioceno inferior (TÁVORA e FERNANDES, 1999, TÁVORA et al., 2007, 2010; SOCORRO e PAES, 2012). A Formação Pirabas foi inicialmente estudada e definida em três diferentes biofácies, sendo denominadas: Castelo (ou Fortaleza), Capanema (ou Canecos) e Baunilha Grande (PETRI, 1957; FERREIRA, 1966).

Esta formação encontra-se exposta ao longo de falésias costeiras na região litorânea do norte do Brasil, cortes de estradas e minas a céu aberto, principalmente nos estados do Pará e Maranhão, com exposições menos frequentes no norte do Estado do Piauí (ROSSETTI e GÓES 2004). A irregularidade dos registros da Formação Pirabas pode estar relacionada à paleogeografia e à influência tectônica além de resultado de processos erosivos que assolaram a região provavelmente durante o Quaternário antigo (ALMARAZ e FORMOSO, 1971).

Os calcários da Formação Pirabas são notadamente reconhecidos por seu abundante conteúdo de fósseis que incluem pelecípodes, gastrópodes, foraminíferos (plantônicos e bentônicos), ostracodes, equinodermos, celenterados, briozoários, crustáceos, cefalópodes e poríferos, bem como vertebrados (peixes, sirênios e répteis), algas (vermelhas e verdes) e fragmentos vegetais (TOLEDO, 1989; FERNANDES, 1984; ROSSETTI e SANTOS Jr., 2004; ROSSETTI 2006; TÁVORA et al., 2010).

Estudos sedimentológicos realizados na costa nordeste paraense por Góes et al., (1990) reconheceram sete fácies sedimentares: biocalcirudito, biocalcarenito, bioermito, calcirudito e micrito intercalado com pelitos laminados e arenitos calcíferos. Arcabouço faciológico constituído de biocalciruditos estratificados e não-estratificados, além de margas e biohermitos. Estruturas sedimentares incluem laminações plano-paralela, cruzada tabular, acamamentos heterolíticos (*wavy*, *flaser* e *linsen*), estratificações cruzadas de baixo-ângulo e *hummocky*. Interpretações paleoambientais sugerem um ambiente de plataforma rasa, constituídos por subambientes de laguna, *shoreface/foreshore* e depósitos de mangue/lama para a Formação Pirabas (GÓES et al., 1990; ROSSETTI e GÓES, 2004).

De acordo com Góes *et al.*, (1990) a distribuição e arquitetura estratal indicam um padrão progradacional, de maneira geral, apesar da organização de fácies ter um caráter mais transgressivo durante o Mioceno. A superposição da plataforma interna sobre os ambientes progressivamente mais costeiros, resulta num aumento do influxo de terrígenos. Este padrão é mais proeminente quando a sucessão carbonáticas Pirabas está juntamente depositada com os sedimentos siliciclásticos Barreiras.

3.4.2- Grupo Barreiras

O termo “Barreiras” possui caráter incerto na literatura geológica, referido por vezes como “Formação”, “Grupo” e ainda, como “Série”. Esse último foi considerado

impróprio, por representar unidades cronoestratigráficas, não coerente para o caso, pois se desconhecem os limites de sua sedimentação no tempo geológico (NUNES et al., 2011). De acordo com Bigarella et al., (2007) a utilização da nomenclatura Formação Barreiras, também não é adequada devido à grande variação litológica e a presença de inconformidades erosivas.

O Grupo Barreiras é constituído por sedimentos terrígenos continentais e marinhos, de idade miocênica a pleistocênica inferior (SUGUIO e NOGUEIRA, 1999; VILAS BOAS et al., 2001; ARAI, 2006). Estes depósitos estão expostos ao longo do litoral brasileiro, desde a região amazônica até o estado do Rio de Janeiro (ARAI, 2006; NUNES et al., 2011). Os Sedimentos Barreiras se constituem a última rocha sedimentar terciária do Nordeste do Brasil formada na história da abertura do Atlântico, representada pela sequência sedimentar ao longo de mais de 4.000 km do litoral (BEZERRA et al., 2001).

O grupo é constituído principalmente por arenitos, folhelhos, depósitos heterolíticos e subordinadamente conglomerados sendo este último mais frequente, embora não exclusivo, da margem costeira oriental. A idade do Grupo Barreiras é controversa, e o seu escasso conteúdo fossilífero dificulta a obtenção de uma idade consensual, contudo a sucessão miocênica siliciclástica é rica em icnofósseis que ajudam a estimar uma idade mais concisa (ROSSETTI, 2006). Arai et al., (1994) posicionaram a sucessão inferior da unidade no Mioceno Inferior a Médio, além de admitir a interdigitação desta com a Formação Pirabas, na região Norte do Brasil (Pará e Maranhão), essa sucessão é compreendida como Pirabas/Barreiras (ROSSETTI, 2006). A falta de informação bioestratigráfica resultou em inferências de uma idade plio-pleistocênica para esses depósitos.

3.4.3 - Sedimentos Pós-Barreiras

Os Sedimentos Pós-Barreiras recobrem em discordância a sucessão terciária Pirabas/Barreiras. O termo “Pós-Barreiras” é aplicado de maneira generalizada para se referir aos sedimentos costeiros que recobrem a Formação Barreiras Tatumi et al., (2008). Estudos indicam que os Sedimentos Pós-Barreiras podem ter dezenas até centenas de metros de espessura, e que nas cotas topográficas em que são encontrados atualmente pode ter sido estabelecida por processos neotectônicos subsequentes a sua deposição. Sedimentos Pós-Barreiras são constituídos predominantemente por areias de

coloração vermelho-clara a alaranjada, maciças, localmente bioturbadas de forma intensa, de seleção moderada a boa, granulação em geral finas a médias, podendo ser localmente grossas a conglomeráticas. Pelitos e argilitos bioturbados são também localmente registrados; fragmentos de carvão dispersos e, eventualmente, fragmentos de cerâmica. Não existe um consenso quanto à origem e ao processo deposicional para a composição desta unidade. A presença de areias de granulação grossa até cascalho é compatível com ambiente marinho costeiro de alta energia, entretanto, a presença de areia em altas altitudes também sugere contribuição do vento para a formação de sedimentos Pós-Barreiras. Por um longo tempo, estes sedimentos foram considerados como um produto do intemperismo da Formação Barreiras, o que para Tatumi et al., (2008) explicaria a ausência de datações radiométricas para os Sedimentos Pós-Barreiras. Datações prévias por luminescência opticamente estimulada (LOE) obtidos por Tatumi et al., (2008) indicam deposição entre o Neopleistoceno e Neo-holoceno.

CAPITULO VI – MÉTODO GRAVIMÉTRICO E A DISCUSSÃO DOS DADOS

4.1 – ESTUDO REGIONAL

Estudos geológicos realizados pela Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM) na região nordeste do Pará tem contribuído significativamente para o avanço do conhecimento hidrogeológico, com destaque para a região de Belém e para as sedes municipais (Figura 4.1) como Santa Isabel do Pará, Bujaru, Santo Antônio do Tauá, Castanhal, Capanema, Santo Antônio do Tauá, Capitão Poço, Primavera, Santa Luzia do Pará, Vigia, Ourém e Salinópolis. (ARAÚJO et al., 2016).

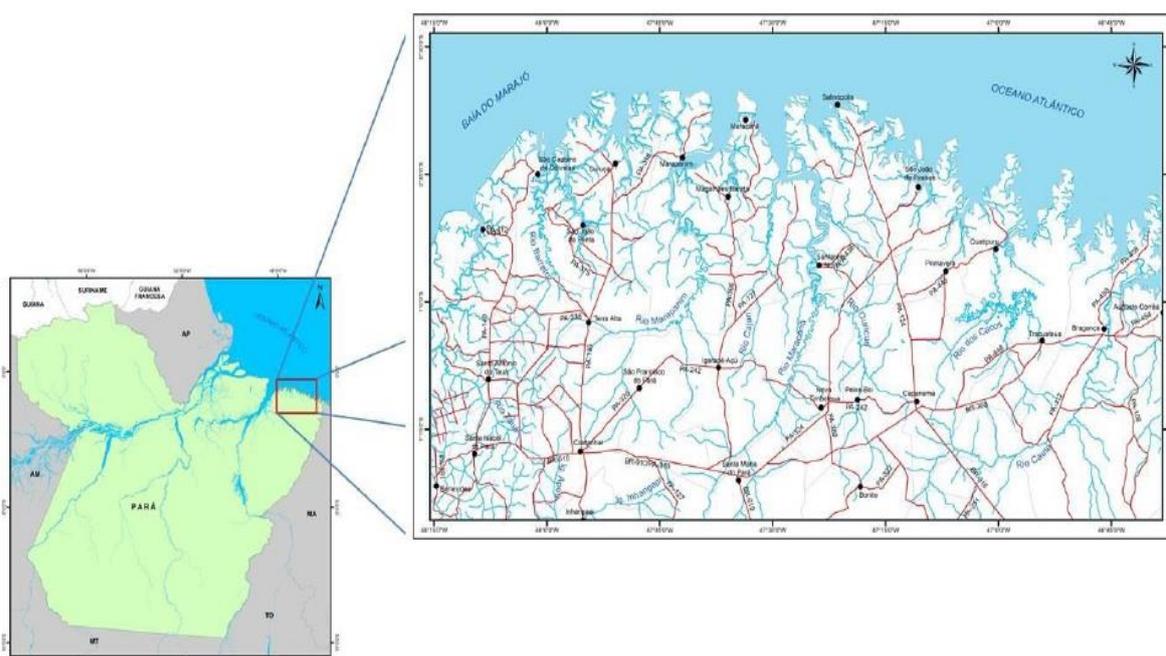


Figura 4.1 - Mapa de localização (ARAÚJO et al., 2016).

Uma compilação de dados envolvendo informações de poços cadastrados no SIAGAS (CPRM): cotas topográficas, medidas de nível estático, litologia e profundidade do poço, permitiu elaborar um mapa potênciométrico para a região estudada.

Dados gravimétricos foram utilizados para a geração do mapa de Anomalia Bouguer, o qual trouxe clareza para o entendimento da geometria dos corpos geológicos da região de estudo e a sua relação com os parâmetros hidrogeológicos.

A análise do mapa de relevo sombreado, com base nas imagens SRTM, revelou certa coincidência, em termos de direção das morfoestruturas regionais compiladas nos mapas geológicos da CPRM. A direção principal dos lineamentos extraídos é NE-SW, com variações de 10~15° para norte e para leste. Dessa forma, esta direção se assemelha àquelas relatadas pelos mapas compilados. A rosácea confeccionada reflete esta orientação na área de estudo (figura 4.2).

A geologia da área de trabalho é conhecida com base em dados cartográficos de Vasquez et al., (2008) e Collyer et al., (2003) em mapa geológico e gemológico do Estado do Pará, respectivamente, como observamos na Figura 4.3.

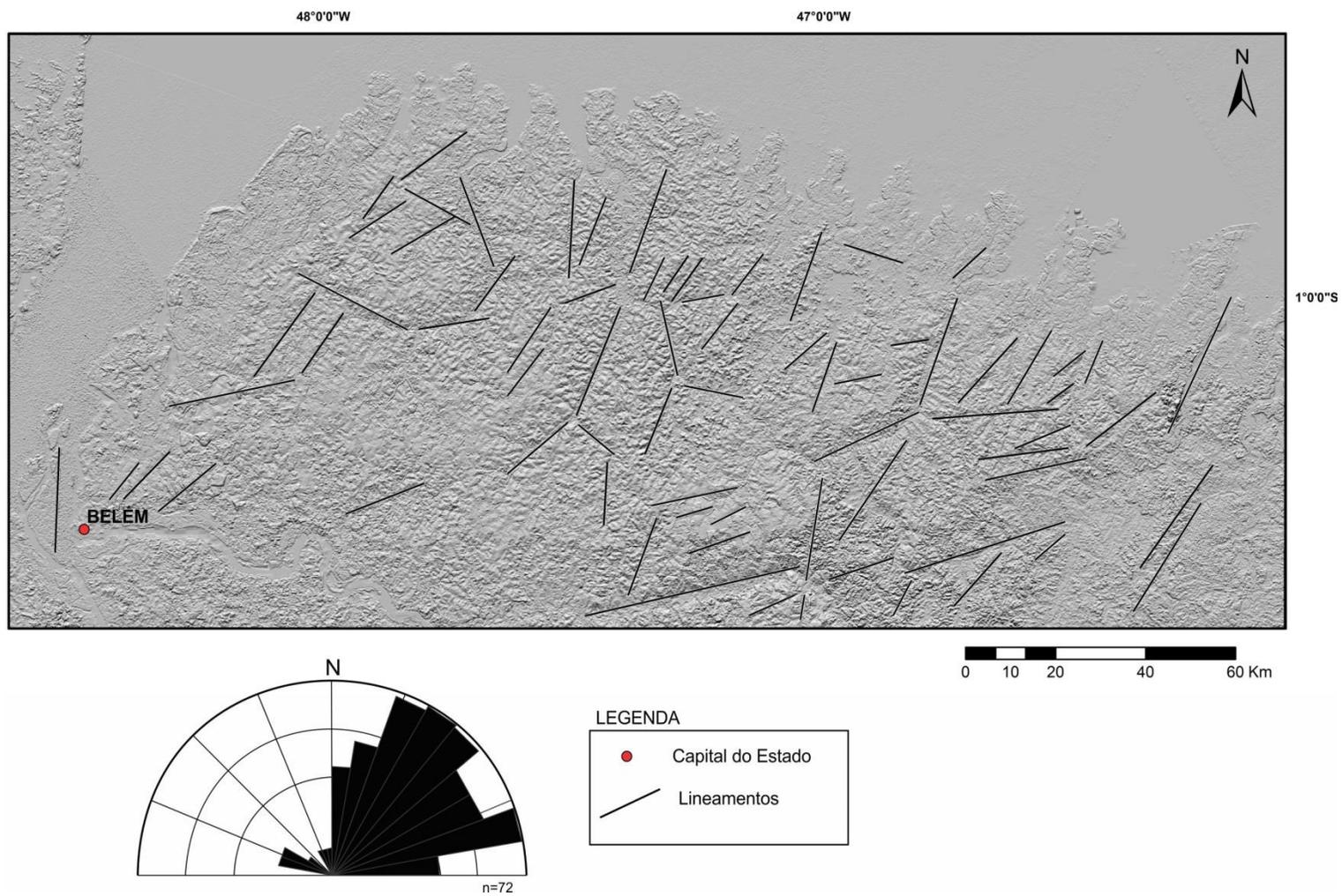


Figura 4.2 – Mapa de relevo sombreado da região nordeste do Estado do Pará, com os lineamentos extraídos para esta área de trabalho (fonte: Autor).

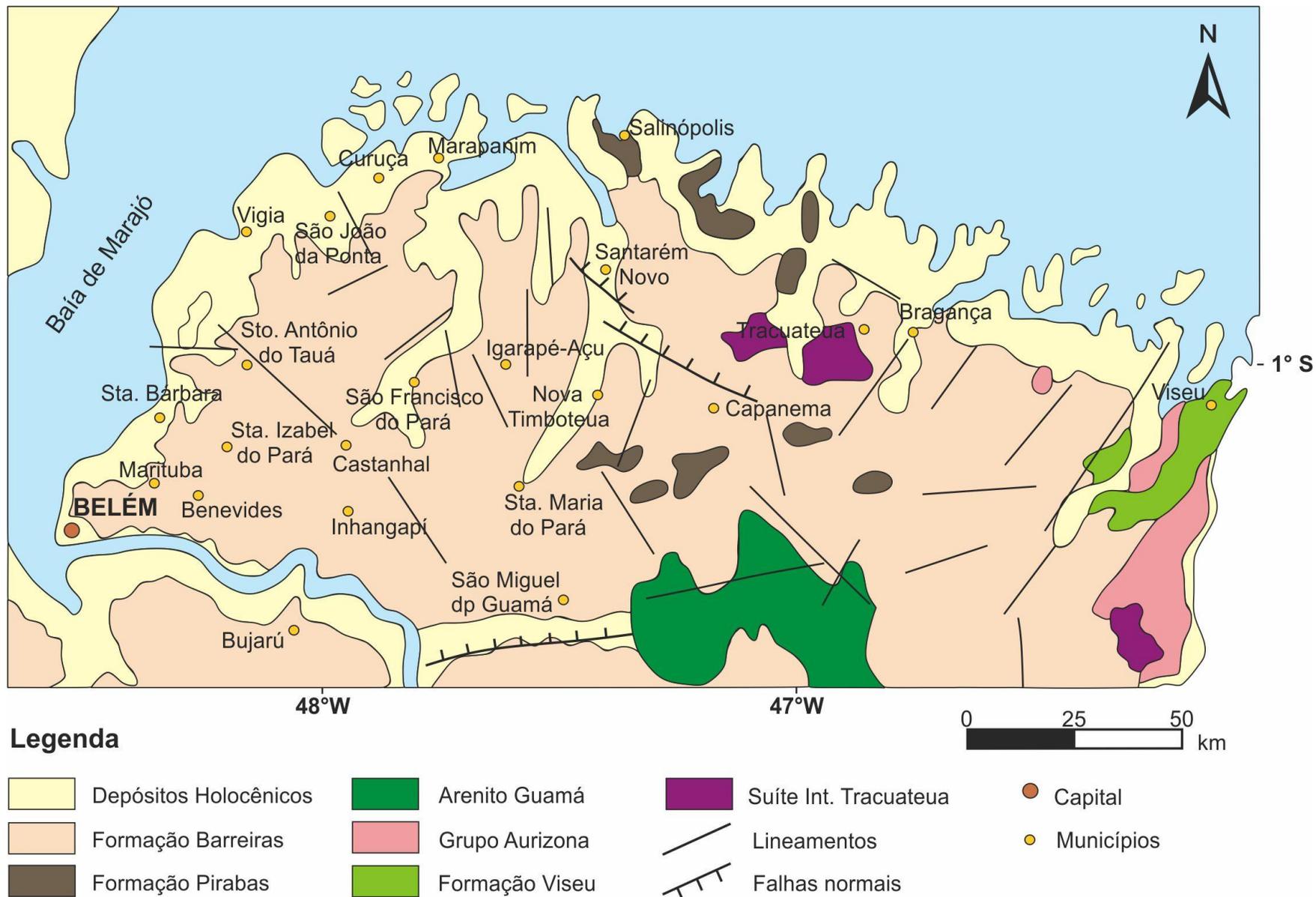


Figura 4.3 – Mapa geológico da área estudada, compilado e adaptado de Vasquez et al., (2008) e Collyer et al., (2003), com as unidades geológicas e o arcabouço estrutural principal.

4.1.1. Correlação entre os Dados Hidrogeológicos e Gravimétricos

O cartograma das bacias hidrogeológicas foi constituído pela interpretação de dois mapas: potenciométrico e gravimétrico. No primeiro mapa, constam linhas isopotenciométricas obtidas pela resultante da diferença entre a cota dos poços e a profundidade do nível estático. No segundo mapa, está representada a configuração da superfície do embasamento da cobertura sedimentar meso-cenozóica, numa escala gradativa de cores onde, o vermelho significa menores profundidades com relação à superfície do terreno e o azul as maiores espessuras dos sedimentos sotopostos ao embasamento.

A simbologia cartográfica, para a delimitação das bacias hidrogeológicas e hidrográficas, está de acordo com a proposta de Arraes e Campos (2007). Nesta proposta metodológica as linhas contínuas, azul-claro, representam os divisores das bacias hidrográficas e aquelas linhas pontilhadas, azul escuro, são utilizadas para a demarcação dos limites das bacias hidrogeológicas¹. Estas últimas, quando vazias correspondem a divisores inferidos. As setas indicam os sentidos de fluxo das águas estudadas.

Na metodologia de elaboração do mapa cartográfico das bacias hidrogeológicas, em essência, procurou-se observar o sentido preferencial de fluxo das águas subterrâneas, assim como a configuração da superfície do cristalino, fazendo-se constar informações práticas sem comprometer a representação cartográfica (ARAÚJO et al., 2016).

4.2 – LEVANTAMENTO E INTERPRETAÇÃO DE DADOS GRAVIMÉTRICOS

O mapa de Anomalia Bouguer da região nordeste do Estado do Pará (Figura 4.4) foi elaborado utilizando o espaçamento de isogálicas de 2 mGal. Conjuntamente foi realizado o levantamento planialtimétrico das estações, o qual auxiliou na redução dos dados (para efetuar a correção Bouguer) utilizados para a posterior geração do mapa de Anomalia Bouguer.

¹ O limite entre as zonas de recarga e descarga de determinado aquífero subterrâneo, com diferentes padrões de drenagem, por vezes englobando mais de uma bacia hidrográfica (Arraes e Campos, 2007).

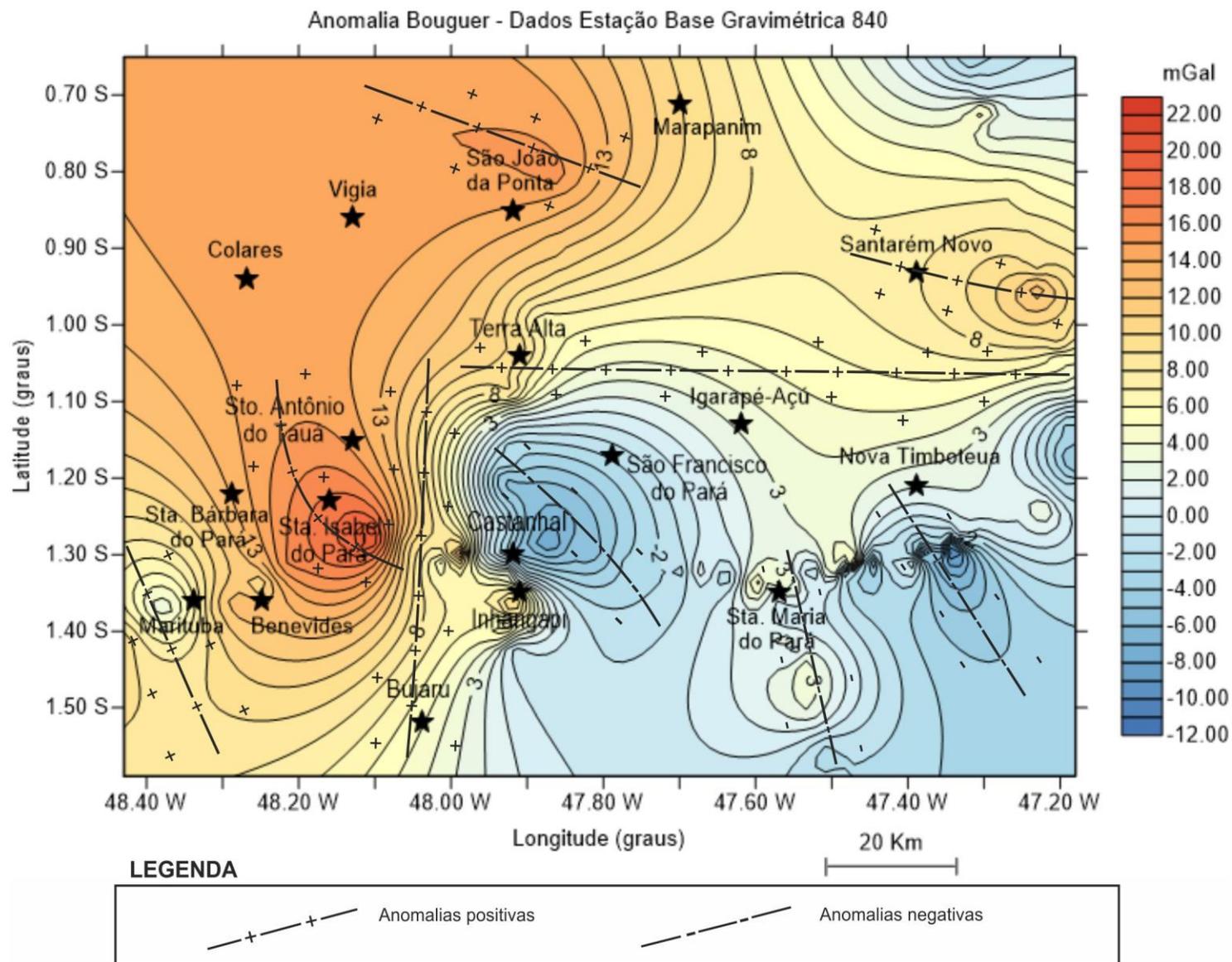


Figura 4.4 – Mapa de Anomalia Bouguer para a área de estudo (fonte: Autor).

No mapa de Anomalia Bouguer nota-se a orientação próxima a E-W a leste de 48° W juntamente com valores mais baixos na anomalia, o que pode estar associado aos sedimentos do Grupo Barreiras. Na região de Castanhal as isogálicas mostram uma orientação tendendo para N-S além de terem pouco espaçamento entre si, o que denota gradientes gravimétricos maiores e pode ser relacionado a falhas normais de grande extensão, como proposto por Vasquez et al., (2008). Além de também exibir imediatamente acima da cidade de Castanhal uma anomalia negativa expressiva, o que assegura a interpretação destas falhas normais.

A região dos municípios de Santa Maria do Pará e Nova Timboteua, onde as isogálicas novamente se aproximam, gerando o traçado da anomalia negativa, que se relaciona aos lineamentos estruturais nesta região com direção NW-SE, como é observada no mapa da Figura 4.3. Neste mapa, o *trend* com a direção referida ultrapassa a região de anomalia negativa, chegando à região do município de São João da Ponta, o que nos mostra uma extensão desses lineamentos por longas distâncias.

Os eixos de anomalias positivas e negativas que foram traçados denotam compartimentação estrutural relacionada a esses eixos. Estas estruturas podem ser correlacionadas com a disposição das rochas e sua disposição espacial, exibindo associação com o padrão estrutural da região onde temos um destacado padrão de falhas NW-SE e E-W (figuras 3.3 e 4.3). A área alvo desta dissertação é localizada no segmento trativo (Figura 3.2), acima da região de Paragominas, que apresenta bacias orientadas na direção NW-SE e abatimento em ambas as direções NE e S.

De maneira geral, as anomalias negativas ocorrem concentradas na região centro-sul e sudeste do mapa de Anomalia Bouguer. Observando o contexto geológico-estrutural da região, esta concentração pode estar relacionada a uma falha normal de direção ENE-WSW (Figura 4.3), em que a região de anomalia negativa relaciona-se ao bloco rebaixado. Esta falha se encontra imediatamente a leste da cidade de Bujaru, com extensão aproximada de 50 km em mapa. Esta pode ser uma explicação, associando assim o bloco baixo com menores leituras em mGal para a região. Um fator que auxilia na confirmação desta hipótese é o aparecimento de anomalias negativas acima do município de Santarém Novo, que, também em mapa exhibe outra falha normal com o bloco baixo nesta ao norte desta cidade.

Nesse sentido, podemos definir que as principais anomalias negativas (representando descontinuidades), são condicionadas por falhas normais, contidas no bloco baixo destas falhas.

Perfis geológicos a partir de perfis de densidade foram confeccionados, nos quais são calculados segundo os valores para a densidade local das rochas. Nestes perfis, os valores que

foram mensurados são relacionados ao sinal “+” e a linha contínua representa os valores que foram calculados para a modelagem de distribuição de densidades ao longo do mesmo. Os perfis apresentados neste trabalho foram associados, como supracitado, a valores de densidade das rochas de subsuperfície, valores estes mostrados na tabela 2.1 (capítulo 2) para materiais geológicos já mensurados (TELFORD et al., 1990). À medida que os perfis são gerados, a indicação de contatos geológicos, de natureza estratigráfica ou pela presença de descontinuidades (falhas/fraturas), são inferidos de acordo com o padrão geológico-estrutural regional, observado nos mapas geológicos e de relevo sombreado, além de informações sobre a geologia da região nordeste paraense, conforme textos científicos, relatórios e compilações bibliográficas. Um perfil AB (figuras 4.5 e 4.6) foi confeccionado a partir dos dados gravimétricos obtidos em campo, como vemos a seguir.

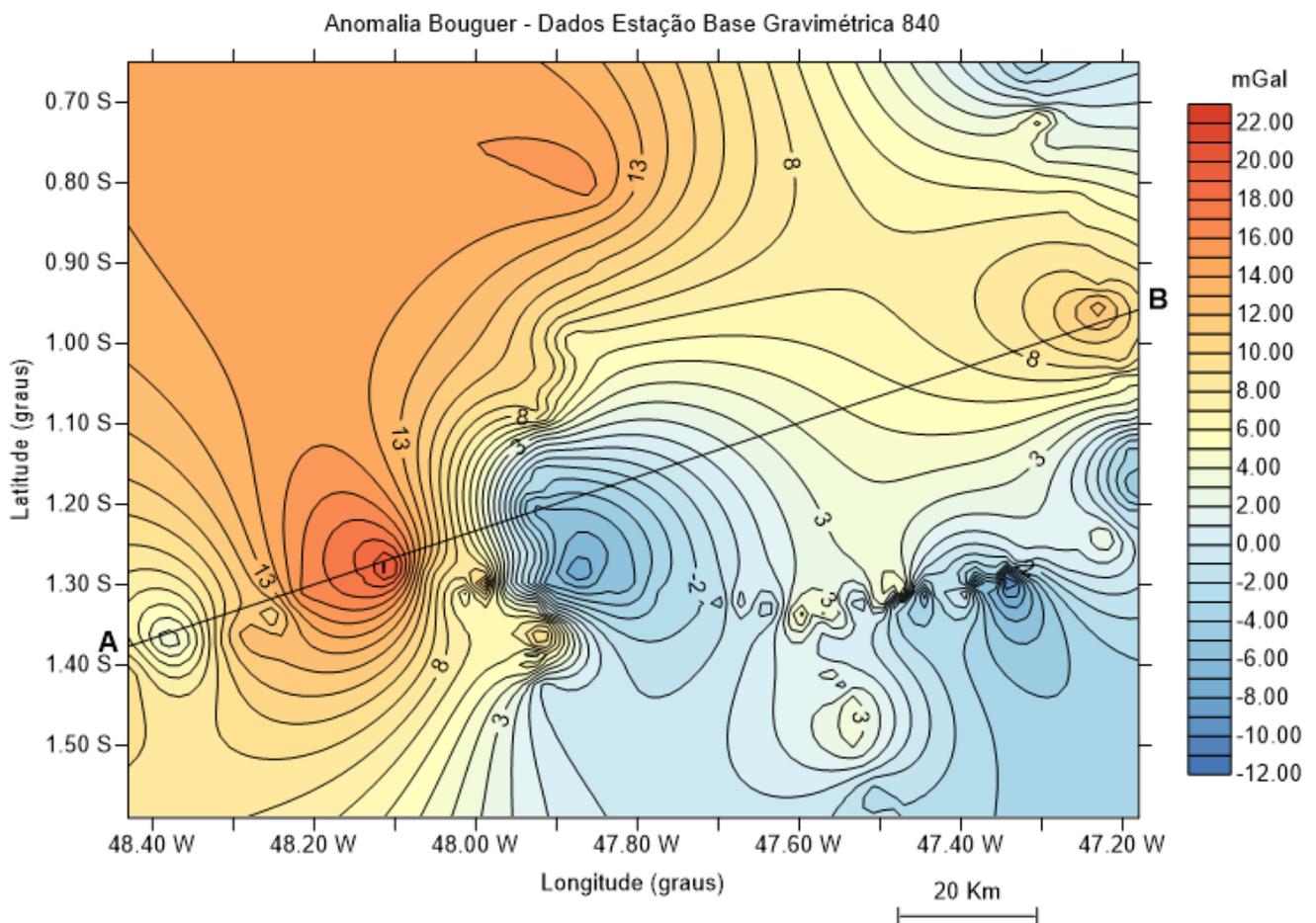


Figura 4.5 – Mapa de Anomalia Bouguer com o perfil AB (fonte: Autor).

Foram feitas três modelagens a partir dos dados de densidades obtidos em campo para a região em estudo.

A Modelagem 1 (Figura 4.6) representada pelo perfil AB – Estação Base 840, de direção NE, que foi uma seção feita entre os municípios de Marituba – Santarém Novo, exibe a densidade de 2.28 g/cm^3 que de acordo com Telford et al., (1990) é um valor atribuído à arenitos. Este valor será adotado como representando a cobertura sedimentar Meso-Miocênica a Pliocênica das formações Barreiras e Pós-Barreiras nas camadas superiores. O valor de 2.65 g/cm^3 e a profundidade encontrada nos indica a provável ocorrência dos carbonatos/folhelhos da Formação Pirabas. De acordo com Telford et al., (1990) os valores para folhelhos podem até ultrapassar 2.65 g/cm^3 . Por fim, o maior valor de densidade encontrado no primeiro perfil foi de 2.80 g/cm^3 , neste caso relacionado ao embasamento cristalino dessas formações, com idades entre o Neoproterozóico ao Paleozóico.

O embasamento cristalino com densidades elevadas, em relação à cobertura sedimentar, são tentativamente correlacionadas a rochas metamorfizadas em diferentes graus, como gnaisses e xistos (OLIVEIRA et al., 2002) que possuem, segundo Telford et al., (1990), densidades que podem variar dentro desse espectro, além de rochas graníticas. A morfologia dos corpos do embasamento cristalino pode ser variada e relacionada às falhas observadas neste perfil, desta feita, assumindo formas trapezoidais de acordo com o arranjo estrutural da região, como exibido no perfil (Figura 4.6).

A falha normal observada neste perfil é correlacionada com a falha observada no mapa da Figura 4.3 (falha em preto), próximo ao município de Santarém Novo. Já a outra falha do perfil, destacada na cor vermelha, é inferida pelo padrão gerado no modelamento da anomalia, e quando observado no mapa da Figura 4.5, em que a mudança brusca de anomalias positivas para negativas, em que as isogálicas se aproximam e pode resultar numa inclinação, que o perfil exibe de forma clara. O ponto a se discutir é se essa falha aparece em superfície ou não. Em mapa (Figura 4.3) não é observada, contudo como o perfil e o mapa de Anomalia Bouguer exibem, essa relação pode ser inferida.

De acordo com Pinheiro (2009), na região de Castanhal há a ocorrência de um arranjo de blocos altos e baixos, seguindo um padrão de falhamento. No perfil deste trabalho, encontramos uma falha principal na região de Castanhal, o que nos levou a comparação entre os dados obtidos anteriormente. Este dado sustenta o modelo do perfil AB, com blocos tectônicos para a área.

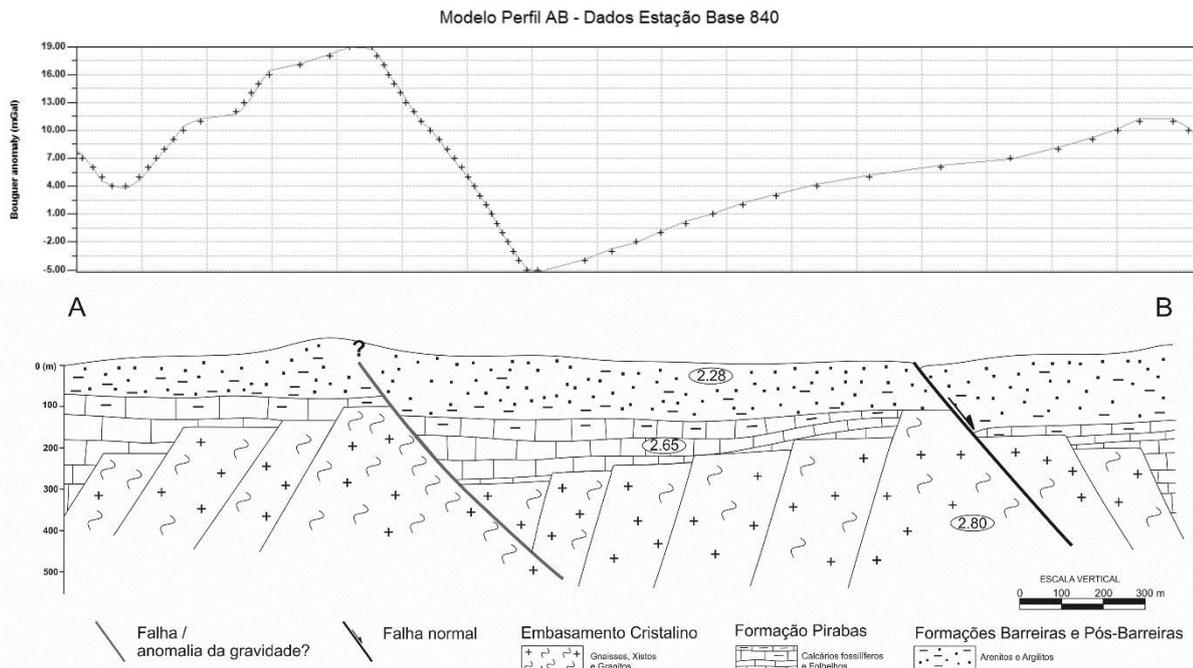


Figura 4.6 – Modelagem 1 feita para o perfil AB com interpretação geológica e com os valores de densidades incluídos. A escala vertical deste perfil foi associada a informações litológicas de cinco poços tubulares profundos nas regiões de Marituba, Castanhal e Igarapé-Açu obtidos no site: siagasweb.cprm.gov.br/layout/visualizar_mapa.php (a distância AB é aproximadamente 144,5 km, escala vertical 1:10000).

A modelagem 2 (Figura 4.7) é representada pelo perfil CD – Estação Base Bragança, esta seção foi feita entre os municípios de Capanema – Bragança, de direção NE. A menor densidade encontrada foi de 2.15 g/cm³ que é interpretada como representando a cobertura sedimentar meso-miocênica a pliocênica da Formação Barreiras, composta por sedimentos areno-argilosos a conglomeráticos. Este valor se assemelha aos obtidos por Telford et al., (1990) para arenitos. O valor de 2.65 g/cm³ pode ser correlacionado com as rochas da Formação Pirabas, compreendendo calcários e folhelhos, similares aos valores para folhelhos obtidos por Telford et al., (1990). O último valor encontrado, e em maior profundidade, foi de 2.95 g/cm³ pode ser correlacionado a sienitos e granitos do embasamento. Nessa porção é onde a Anomalia Bouguer cresce a área central do perfil.

Com base no conhecimento geológico local, esta anomalia pode estar relacionada à ocorrência da Suíte Intrusiva Tracuateua (Proterozóico Inferior), a qual engloba biotita-muscovita sienogranitos e diques sin-plutônicos. Como observado na região central do perfil, o valor positivo da anomalia elevado, pode indicar as regiões no município de Tracuateua, aonde esses corpos afloram e são explorados em pedreiras para brita na região. Onde estes últimos podem estar gerando anomalias mais restrita, e mais próxima da cidade de Bragança

(COSTA e ALMEIDA, 1998). A falha normal observada no perfil é relacionada tanto ao observado na anomalia negativa do perfil (no sentido Capanema-Bragança), quanto no mapa compilado de Vasquez et al., (2008) e Collyer et al., (2003), que exibe uma falha normal de grande extensão, e que sua terminação sudeste se encontra na direção descrita deste perfil, tendo como bloco baixo o que se encontra na porção NE do perfil.

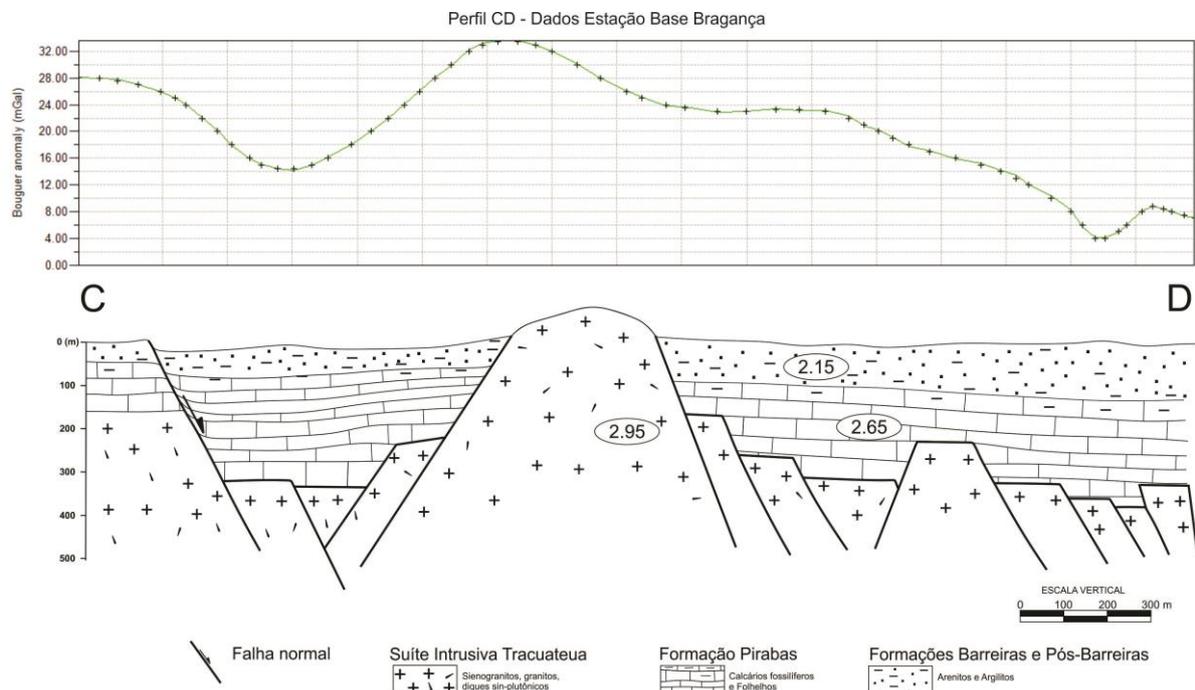


Figura 4.7 – Modelagem 2 feita para o perfil CD com interpretação geológica e com os valores de densidades incluídos. A escala vertical deste perfil foi associada a informações litológicas de três poços tubulares nos municípios de Capanema, Tracuateua e Bragança, obtidos no site: siagasweb.cprm.gov.br/layout/visualizar_mapa.php (a distância CD é aproximadamente de 56 km, escala vertical 1:10000).

A modelagem 3 (Figura 4.8) compreende o perfil EF – Estação Base Curupaiti, realizada no município de Viseu, de direção NE. A menor densidade encontrada neste perfil foi de 2.15 g/cm³. É interpretada como atribuída às formações Vizeu e Barreiras, tendo em vista que possuem, basicamente, a litologia muito similar, contendo arenitos, argilitos e conglomerados. Esse valor também está no campo de variação para arenitos e folhelhos proposto por Telford et al., (1990). Em seguida, o valor de densidade de 2.65 g/cm³ foi designado como representante de unidades carbonáticas da Formação Pirabas, abaixo das unidades Vizeu e Barreiras. O valor de 2.95 g/cm³ foi interpretado como sendo de rochas cristalinas do embasamento. Na região do perfil, o Grupo Aurizona, e nas proximidades da cidade de Viseu, a Suíte Intrusiva Tromai seriam os correspondentes geológicos. O Grupo Aurizona compreendendo rochas metamórficas, como metaultramáficas, quartzitos e xistos, e a Suíte Intrusiva Tromai com quartzo-dioritos, tonalitos e granodioritos (VASQUEZ et al.,

2008) gerando uma anomalia mais elevada na porção leste do perfil EF. O valor baixo na anomalia a leste do perfil EF, próximo à cidade de Vizeu, em contraste com duas positivas em cada lado, é relacionada ao preenchimento com as unidades sedimentares das formações Barreiras e Vizeu, pode ser estar ligada a uma zona de falhas normais de idades pré-barremianas. Estas falhas estão relacionadas à abertura do *graben* de Bragança-Vizeu, as quais posteriormente estariam gerando a bacia homônima (SOARES JUNIOR et al., 2008).

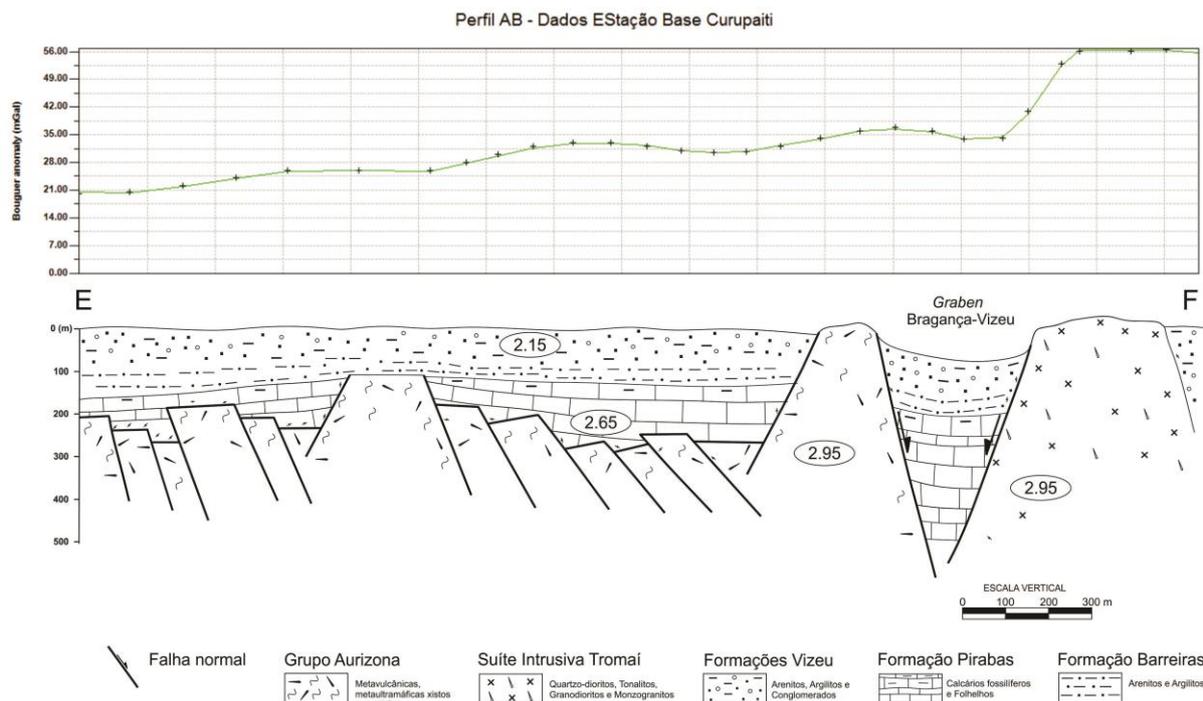


Figura 4.8 - Modelagem 3 feita para o perfil EF com interpretação geológica e com os valores de densidades incluídos. A escala vertical deste perfil foi associada a informações litológicas de dois poços tubulares no município de Vizeu e uma localidade denominada Curupaiti, obtidos no site: siagasweb.cprm.gov.br/layout/visualizar_mapa.php (a distância EF é aproximadamente de 33 km, escala vertical 1:10000).

O perfil CD com a porção inicial deste (imediatamente sob a cidade de Capanema), a forma da anomalia da gravidade que é aproximadamente ovalada com eixos N-S e E-W de mesmo comprimento (Figura 4.9), destoa de maneira geral das anomalias observadas na região, o que pode já estar ligado às rochas da Suíte Intrusiva Tracuateua, com os corpos ovalados a semi-ovalados.

Os perfis CD e EF, mas com ênfase no primeiro destes, podem relacionar suas anomalias positivas principalmente nas proximidades das cidades em que findam os perfis, mas não somente, com rochas com altas densidades e composições básica-ultrabásicas em profundidades crustais. Essas rochas sendo então colocadas seguindo direções NW-SE (que intersecta os perfis confeccionados) de discontinuidades, por uma faixa móvel, que está localizada entre os crátons Amazônico e São Luís (ABREU e LESQUER, 1985).

Em termos de regiões com altos e baixos estruturais, de acordo com o mapa de Anomalia Bouguer gerado nesta dissertação, quando as regiões negativas denotam baixos estruturais e regiões positivas por sua vez, altos estruturais; além dos lineamentos estruturais e magnéticos retirados, e alguns compilados da literatura (VASQUEZ et al., 2008; COLLYER et al., 2003), deram suporte a delimitação dessas regiões com altos e baixos estruturais (Figura 4.9 e 4.10). De posse desses mapas que exibem a morfoestrutura da área, pode-se verificar as regiões de colinas e possíveis vales. Esta informação, somada às de poços, quanto a sua geologia, auxiliariam na futura captação de água subterrânea nestas regiões do Nordeste do Estado do Pará.

É possível notar que a região norte-noroeste do mapa que exhibe a morfoestrutura, está presente o alto estrutural, sendo que ainda na região do município de Santarém Novo (NE do mapa), este alto estrutural ainda persiste. Em contrapartida, na região centro-sul e sudeste o baixo estrutural é o prevalecente, com exceção do extremo nordeste, onde se encontra outro baixo estrutural da região.

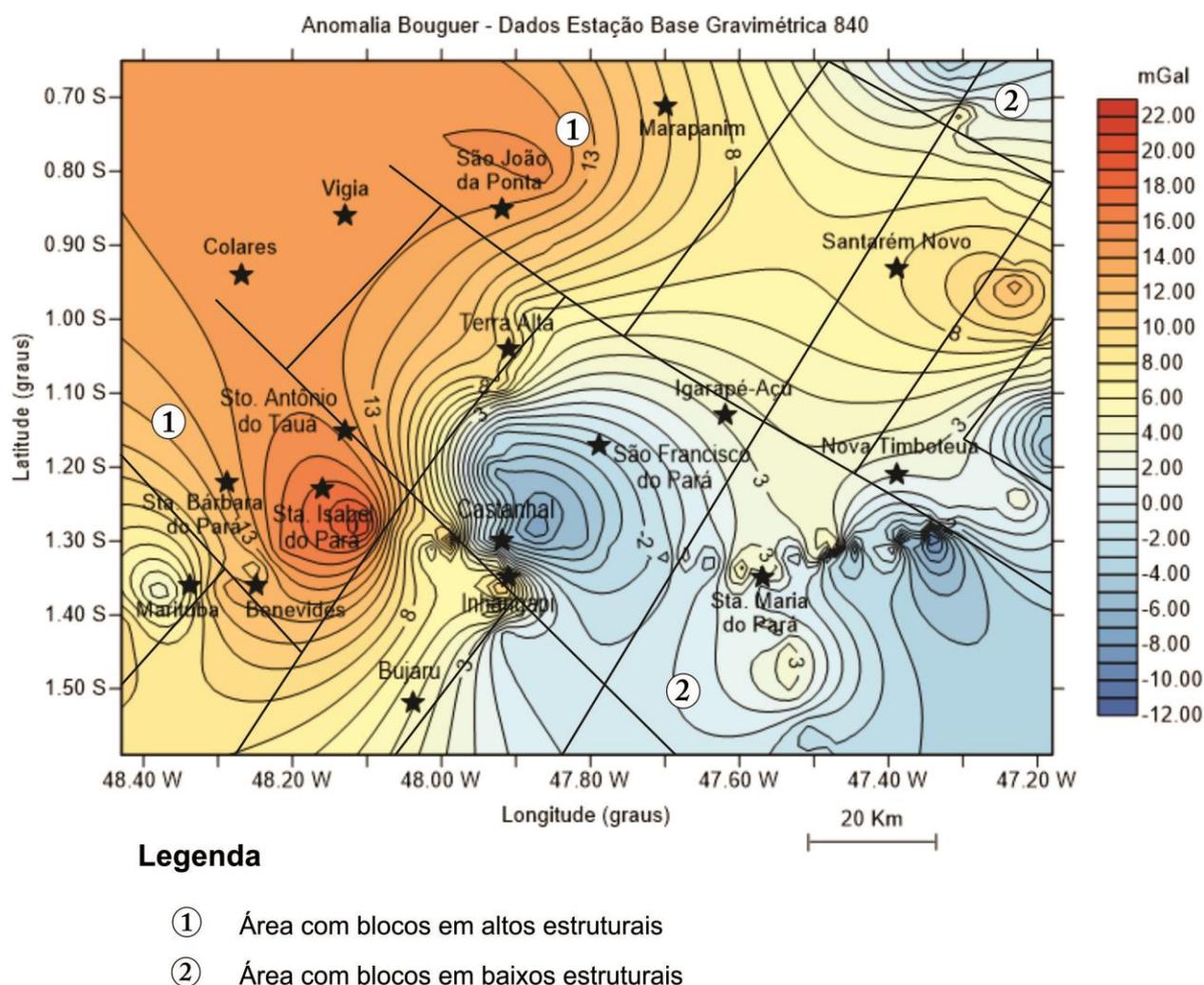


Figura 4.9 – Mapa que exhibe a morfoestrutura de parte da região Nordeste do Estado do Pará, sobreposto ao mapa de Anomalia Bouguer (fonte: Autor).

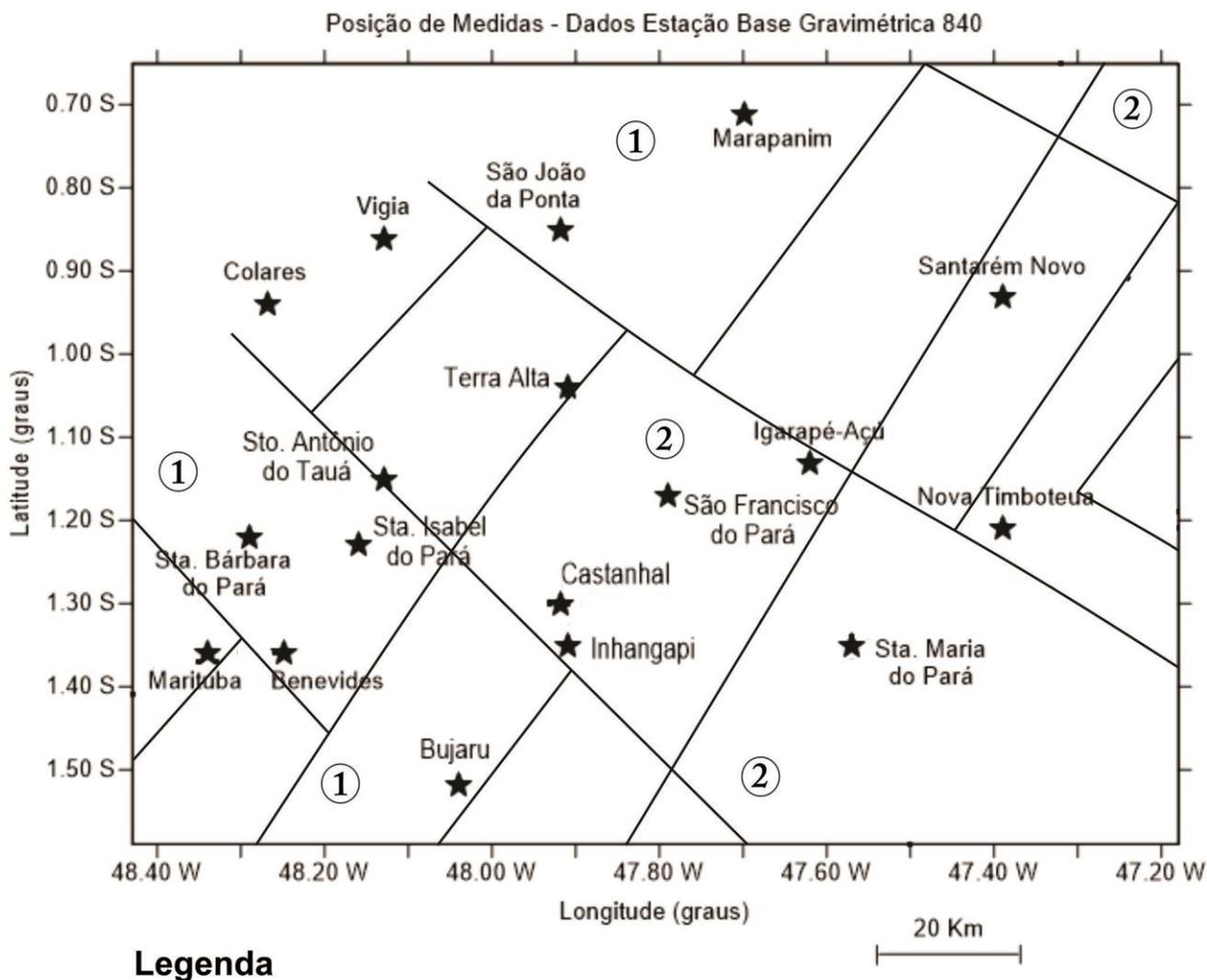
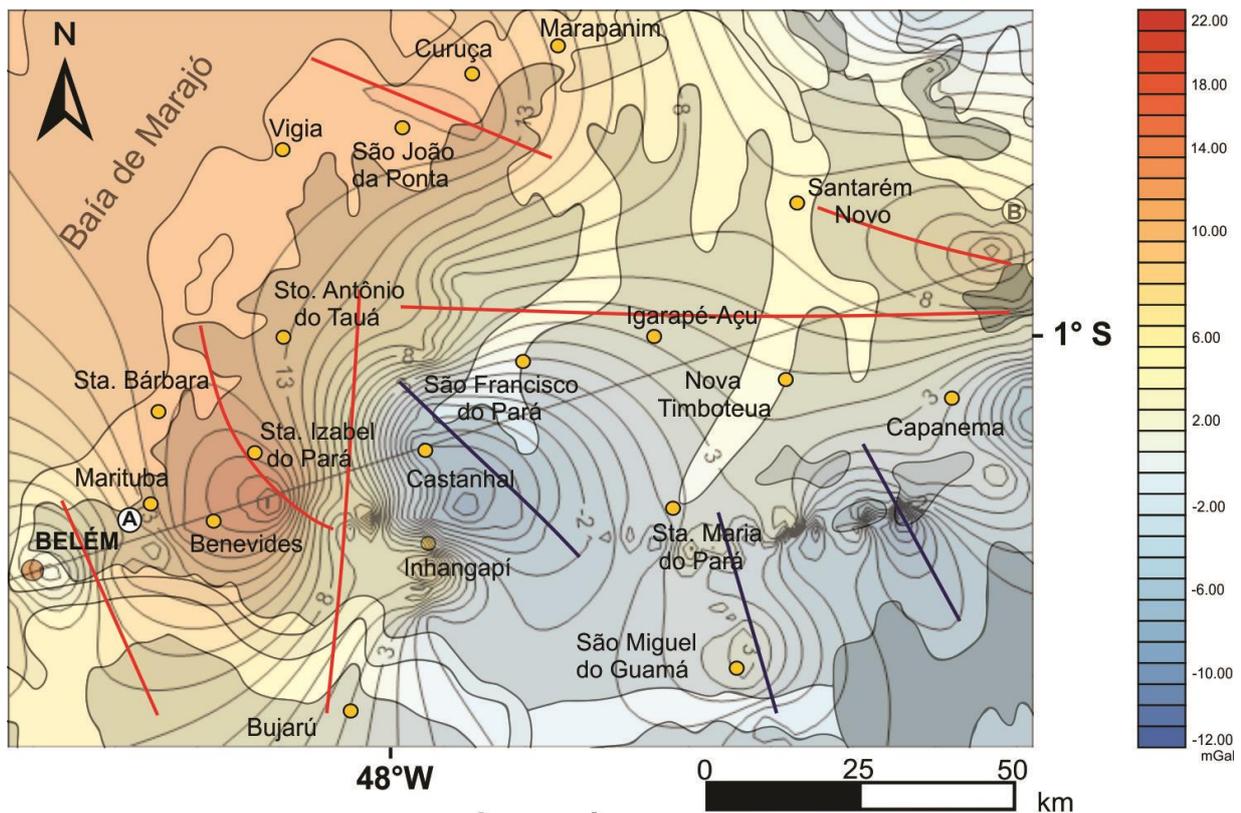


Figura 4.10 - Mapa que exhibe a morfoestrutura de parte da região Nordeste do Estado do Pará (fonte: Autor).

O mapa integrado (Figura 4.11) exhibe os parâmetros da Anomalia de Bouguer juntamente com o mapa geológico da região nordeste do Estado do Pará. Uma interpretação válida é quanto aos valores positivos e negativos dessa anomalia, quando estes são positivos temos as regiões mais elevadas e, provavelmente com presença de terrenos cristalinos. Em oposição a isto, valores negativos revelam regiões mais baixas topograficamente, com predominância de unidades sedimentares. Desta forma, na região centro-sul deste mapa, próximo dos municípios de Santa Maria do Pará, São Miguel do Guamá, Capanema, Nova Timboteua, São Francisco do Pará e Castanhal, possivelmente pode ser uma região adequada à perfuração de poços profundos para água subterrânea. Assim sendo, mostra sua utilidade neste aspecto prospectivo.



Legenda

- | | | |
|-----------------------|----------------|-----------------------|
| Capital | Municípios | Perfis |
| Depósitos Holocênicos | Arenito Guamá | Suíte Int. Tracuateua |
| Formação Barreiras | Grupo Aurizona | Anomalia Positiva |
| Formação Pirabas | Formação Viseu | Anomalia Negativa |

Figura 4.11 – Mapa Geológico sobreposto pelo mapa de Anomalia Bouguer, que exhibe regiões elevadas e abatidas topograficamente, o que pode auxiliar na locação de poços profundos para água subterrânea (compilado e adaptado de Vasquez et al., 2008 e Collyer et al., 2003, e o mapa de Anomalia Bouguer gerado pelo autor).

CAPÍTULO V – CONCLUSÕES

A análise integrada de informações secundárias, associada ao banco de dados levantado e estruturado ao longo desse trabalho permitem enunciar as seguintes considerações, à guisa de conclusão, tomando como referência os mapas gerados e analisando-se a configuração das anomalias bouguer e dos perfis desenhados a partir dessa configuração, conforme a seguir:

- O mapa de anomalia Bouguer, associado à dados construtivos e estratigráficos de poços perfurados na região nordeste do Estado do Pará, disponíveis no SIAGAS – CPRM, e dados de imagens aéreas (SRTM – NASA), permitiram a confecção de mapa composto, reunindo dados geológicos e de gravidade, bem como perfis geológicos esquemáticos importante para o entendimento do arranjo geométrico da área em consideração;
- A área de estudo apresenta, de forma marcante, uma estruturação morfoestrutural em blocos tectônicos, ressaltados por baixos e altos gravimétricos, cujo resultado principal se reflete na espessura diferenciada da cobertura sedimentar, representada destacadamente pelos grupos Pirabas e Barreiras;
- Os blocos tectônicos tem dimensões variadas, da ordem de quilômetros, são delimitados por descontinuidades NW-SE e NE-SW, representadas por falhas, as quais, em rejeitos verticais, são responsáveis por desnivelamentos métricos a decamétricos, dos pacotes sedimentares. A organização dos blocos também reflete a orientação dos eixos de anomalias bouguer positivas e negativas;
- O valor numérico das anomalias bouguer positivas é composto pela maior ou menor profundidade do embasamento cristalino, o qual aflora em várias porções da área, como também pela natureza litológica desse embasamento, formado por rochas ígneas e metamórficas, as quais se apresentam com densidades distintas;

- A maior espessura de sedimentos está localizada: na porção sudeste da área, na qual se situam os municípios de Castanhal, São Francisco, Santa Maria do Pará, São Miguel do Guamá e também no extremo nordeste da área;
- Nas áreas dos municípios de Santa Izabel, Colares, São João da Ponta, Curuçá, Marapanim... na parte oeste da área se encontram as menores espessura da cobertura sedimentar e morfológicamente ali se configura, uma região aplainada, uma plataforma, desenhada pelas rochas pré-cobertura;
- A passagem entre os blocos evidenciam em NW, um embasamento raso, com gradientes suaves à NE e SW. Na porção Centro-Norte, assinala um embasamento mais profundo, com gradiente à NE e SW suaves e um pouco mais fortes para SE. E finalmente, na porção Centro-Sul, um embasamento profundo, cobertura em degraus, mais profunda a NW e SE e mais rasa na parte central.
- A combinação do mapa de anomalias bouguer e os mapas geológicos disponíveis permitem a definição de um mapa previsional para a locação de poços na perspectiva de se poder explorar maiores ou menores espessuras da cobertura sedimentar;
- As metodologias e técnica utilizadas nesse trabalho se mostraram robustas para a compartimentação geológica da área de trabalho, no que se refere à nortear com maior taxa de sucesso, a locação de poços, em termos de produtividade esperada, sendo dessa forma, o resultado da aplicação das mesmas, um importante instrumento de planejamento e gestão de recursos hídricos.

CAPÍTULO VI – BIBLIOGRAFIA

AB’SÁBER, A. N. Aspectos Geomorfológicos da Amazônia Brasileira. Simpósio de sobre a Biota Amazônica. Belém. Atas. V.1, p.33-67. 1967.

AB’SÁBER, A. N. Províncias Geológicas e Domínios Morfoclimáticos no Brasil. Geomorfologia. São Paulo. Instituto de Geografia da USP. N°. 15. 15p. 1969b.

ALMARAZ, J. S. U.; FORMOSO, M. L. L. Contribuição ao Ambiente da Formação Pirabas-Mineralogia das Argilas. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 25. São Paulo. Anais, 2: p.247-265. 1971.

ABREU, F. A. M.; LESQUER, A. Considerações sobre o Pré-cambriano da Região Sul-Sudoeste do Cráton São Luís. Anais do II Simpósio de Geologia da Amazônia. Belém. 1985.

PINHEIRO, A. V. R. Uso de Ferramentas Multidisciplinares na Avaliação de Vulnerabilidade e Risco a Subsidência no Meio Cárstico na Cidade de Castanhal, Nordeste do Pará – Brasil. 2009. 211p. Dissertação de Mestrado em Geologia. Universidade Federal do Pará. Instituto de Geociências. Curso de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica. Belém. 2009.

AZEVEDO, R. P. *Tectonic evolution of Brazilian Equatorial Continental Margin Basins*. 1991. 455p. Tese de Doutorado - University of London, Londres, 1991.

ARAI, M.; TRUCKENBRODT, W.; NOGUEIRA, A. C .R.; GÓES, A. M.; ROSSETTI, D. F. Novos Dados sobre Estratigrafia e Ambiente Depositional dos Sedimentos Barreiras, NE do Pará. In: Simpósio de Geologia da Amazônia, 4. Belém. Boletim de Resumos Expandidos. Belém, SBG, p. 185-187. 1994.

ARAÚJO, P. P.; TANCREDI, A. C. F. N. S. Nitrato em Aquífero Freático na Amazônia Oriental: Cidade de Santa Izabel do Pará, Brasil. In: Congresso Mundial Integrado de Águas Subterrâneas, 1. CBAS, 11. Fortaleza. 2000.

AB’SÁBER, A. N. Os Domínios de Natureza no Brasil: Potencialidades Paisagísticas. São Paulo. Ateliê Editorial. 2003.

ARAI, M. A Grande Elevação Eustática do Mioceno e sua Influência na Origem do Grupo Barreiras. USP – Série Científica, n.2, vol.6. 2006.

ANA. GEO Brasil Recursos Hídricos: Componente da Série de Relatórios sobre o Estado e Perspectivas do Meio Ambiente no Brasil. Brasília. PNUMA. 264p. 2007.

ARRAES, T. M.; CAMPOS, J. E. G. Proposição de Critérios para Avaliação e Delimitação Hidrogeológicas. Revista Brasileira de Geociências. 37(1): p.81-89. 2007.

ANA. Atlas Brasil: abastecimento urbano de água: resultados por estado / Agência Nacional de Águas; Engecorps/Copabre. – Brasília: ANA? Engecorps/Copabre. 2010.

AMORIM, K. B. *Paleoambiente Paleogeografia e Isótopos de Carbono e Oxigênio da Formação Pirabas (Mioceno Inferior), Plataforma Bragantina, NE do Estado do Pará, Brasil*. 2016. Tese de Doutorado em Geologia. Universidade Federal do Pará. Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica. Instituto de Geociências. Belém. 2016.

ARAÚJO, P. P.; FREDDO, V. J. F.; FERREIRA, H. S.; ABREU, F. A. M. Cartografia de Bacias Hidrogeológicas usando os Métodos Potenciométrico e Gravimétrico – Nordeste do Estado do Pará. *Revista Águas Subterrâneas*. XIX Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas. Campinas. 2016.

BEZERRA, F. H. R.; AMARO, V. E.; VITA-FINZI, C.; SAADI, A. Pliocene-Quaternary Fault Control of Sedimentation and Coastal Plain Morphology in NE Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, vol.14: p.61-75. 2001.

BIGARELLA J. J. et al. *Estrutura e Origem das Paisagens Tropicais e Subtropicais*. Florianópolis. 2º Edição, vol. 3. Editora da UFSC, 1436p. 2007.

BORGES, M. S.; COSTA, J. B. S.; BEMERGUY, R. L.; FERREIRA JR., C. R. P.; HASUI, Y. A Esculturação da Paisagem do Litoral Norte do Brasil e sua Relação com os Movimentos Neotectônicos do Quaternário. In: *Simpósio Nacional de Estudos Tectônicos*, 5. Gramado. *Boletim de Resumos Expandidos*. Porto Alegre: SBG/RS e CPGQ/UFRGS, p.423-424. 1995.

COSTA, J. B. S et al. A Evolução Cenozóica da Região de Salinópolis, Nordeste do Estado do Pará. *Geociências*. São Paulo. Editora da UNESP. 12 (2): p.373-396. 1993.

COSTA. J. B. S.; HASUI, Y.; BORGES, M. S.; BEMERGUY, R. L.; SAADI, A.; COSTA Jr., P. S. Arcabouço Tectônico Mesoceno-zóico da Região da Calha do Amazonas. In: *Simpósio de Geologia da Amazônia*, 4. Belém. *Boletim de Resumos Expandidos*. Belém: SBG, p.47-50. 1994.

COSTA, J. B. S.; BEMERGUY, R. L.; HASUI, Y.; BORGES, M. S.; FERREIRA JUNIOR, C. R. P.; BEZERRA, P. E. L.; COSTA, M. L.; FERNANDES, J. M. G. Neotectônica da Região Amazônica: Aspectos Tectônicos, Geomorfológicos e Depositionais. *Geonomos*. 4(2), p.23-44. 1996.

COSTA, E. J. S.; ALMEIDA, H. G. Mapa geológico e Mapa de Favorabilidade para tipos de Jazimentos Minerais, Município de Tracuateua. Belém. CPRM, SEICOM - PA. 1998.

CORTEZ, C. M. B et al. Utilização de Águas Minerais dos Aquíferos do Grupo Barreiras na Região de Belém (PA). In: *Joint World Congress on Groundwater*, 1. Fortaleza – CD-ROOM. 2000.

- COLLYER, T. A. et al. Mapa Gemológico do Estado do Pará. Belém. SEICON. 2003.
- EL-ROBRINI, M. H. S. et al. Atlas de Erosão e Progradação da Zona Costeira do Estado do Pará – Região Amazônica: Áreas oceânica e estuarina. In: Muehe, D. (Eds.) Atlas de Erosão e Progradação da Zona Costeira Brasileira. São Paulo. p.1-34. 2006.
- FERREIRA, C.S. Características lito-paleontológicas na Formação Pirabas, estado do Pará. In: 6ª Conferência Geológica das Guianas, Belém. *Anais*, 6: p.101-111. 1966.
- FERNANDES, J. M. G. Paleocologia da Formação Pirabas. In: SBG, Congresso Brasileiro de Geologia, 33. Rio de Janeiro. *Anais*, 1: p.330-340. 1984.
- FREIMAN, B. C.; ALVES, J. G. V.; SILVA, M. W. C. Estudo Hidrogeológico através de Perfis Geofísicos de Poços – Salinópolis – PA. *Águas Subterrâneas*. 28(1): p.14-30. 2014.
- GÓES A. M.; ROSSETTI, D. F.; NOGUEIRA, A. C. R.; TOLEDO, P. M. Modelo Depositional Preliminar da Formação Pirabas No Nordeste Do Estado Do Pará. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi*, vol 2: p.3-15. 1990.
- HASUI, Y. Neotectônica e Aspectos Fundamentais da Tectônica Ressurgente no Brasil. In: Workshop sobre Neotectônica e Sedimentação Cenozóica Continental no Sudeste Brasileiro, Belo Horizonte. Belo Horizonte: SBG/MG, p.1-31. 1990.
- HASUI, Y. Evolução Geológica da Amazônia. In: Simpósio de Geologia da Amazônia, 5. Belém. Boletim de Resumos Expandidos. SBG, p.31-34. 1996.
- HIRATA, R.; FOSTER, S.; OLIVEIRA, F. *Águas Subterrâneas Urbanas no Brasil*. Instituto de Geociências, FAPESP. São Paulo. 111p. 2016.
- JOÃO, X. S. J.; TEIXEIRA, S. G.; FONSECA, D. D. F. (Orgs). *Geodiversidade do Estado do Pará*. Belém. Programa Geologia do Brasil: Levantamento da Geodiversidade. CPRM. 218p. 2013.
- LUIZ, J.G.; SILVA, L. M. C. *Geofísica de Prospecção*. Centro de Geociências/ Departamento de Geofísica. Belém – Universidade Federal do Pará. Vol. 1. 311 p. 1995.
- MAURY, C.J. *Fósseis Terciários do Brasil com Descrição de Novas Formas Cretáceas*. 1925. 665p. Monografia. Rio de Janeiro.
- MENTE, A. *Análise das Informações sobre Recursos Hídricos Subterrâneos no País*. Relatório Técnico 015. Projeto Estal. Ministério de Minas e Energia – MNE. 2009.
- MATTA. M. A. S. *Fundamentos Hidrogeológicos para a Gestão Integrada dos Recursos Hídricos da Região de Belém/Ananindeua – Pará, Brasil*. 2002. 292p. Tese de Doutorado em Geologia. Universidade Federal do Pará. Centro de Geociências. Curso de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica. Belém. 2002.

NOVAES PINTO, G. V. Geomorfologia. n: Brasil. Departamento Nacional de Produção Mineral. Projeto RADAM BRASIL. Folha SA.23 - São Luís e parte da folha SA.24 - Fortaleza. Rio de Janeiro, p.1-26. 1973.

NUNES, F. C.; SILVA, E. F.; VILAS BOAS, G. S. Grupos Barreiras: Características, Gênese e Evidências de Neotectonismo. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, EMBRAPA, vol. 194, 90p. 2011.

OLIVEIRA, W.; TAGLIARINI, E. M.; TANCREDI, A. C. F. N. S. Estudo Hidrogeológico para a Implantação do Cemitério Max Domini II – Região de Belém, Pará. XII Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas. Santa Catarina. 2002.

PETRI, S. Foraminíferos Miocênicos da Formação Pirabas. Boletim da Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras da Universidade de São Paulo (Geologia) 216: p.1-172. 1957.

PICANÇO, F. E. L.; LOPES, E. C. S.; SOUZA, E. L. Fatores Responsáveis pela Ocorrência de Ferro em Águas Subterrâneas da Região Metropolitana de Belém - PA. XII Congresso Nacional de Águas Subterrâneas. 2002.

ROSSETTI, D. F. Influence of Low Amplitude/high Frequency Relative Sea-level Changes in a Wave-dominated Estuary (Miocene), São Luis Basin, Northern Brazil. Sedimentary Geology. 133, n.3-4, p.295-324. 2001.

ROSSETTI, D. F.; GÓES, A. M. Geologia. In: Rossetti, D. F.; Góes, A. M. (Eds.). O Neógeno da Amazônia Oriental. Belém. Museu Paraense Emílio Goeldi, p.13-52. 2004.

ROSSETTI, D. F.; SANTOS JR., A. E. A. Facies Architecture in a Tectonically-influenced Estuarine Incised Valley Fill of Miocene Age, Northern Brazil. Journal of South America Earth Sciences, vol.17, p.267-284, 2004.

ROSSETTI, D. F. Evolução sedimentar Miocênica nos estados do Pará e Maranhão. Revista de Geologia da USP – Série Científica. São Paulo, v. 6, n. 2, p. 7-18. 2006.

RUGENSKI, A. Investigação Gravimétrica do Complexo Alcalino de Ipanema, São Paulo, Brasil. Geologia da USP – Série Científica. São Paulo, v. 6, n. 1, p.13-27. 2006.

SAUMA FILHO, M. *As Águas Subterrâneas de Belém e Adjacências: Influência da Formação Pirabas e parâmetros Físico-Químicos para Medidas de Qualidade*. 1996. 128p. Dissertação de Mestrado em Geologia e Geoquímica. Universidade Federal do Pará. Curso de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica, Centro de Geociências. Belém. 1996.

SOUZA FILHO, P. W. M.; EL-ROBRINI, M. H. S. As Variações de Nível Relativo do Mar e a Estratigrafia de Sequências da Planície Costeira Bragantina, Nordeste do Pará, Brasil. Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi, 10: p.45-78. 1998.

SOARES JUNIOR, A. V.; COSTA, J. B. S.; HASUI, Y. Evolução da Margem Atlântica Equatorial do Brasil: Três Fases Distensivas. *Revista de Geologia da UNESP. São Paulo*. V.27, p.427-437. 2008.

SOUZA FILHO, P. W. M.; EL-ROBRINI, M. H. S. Geomorphology of the Bragança Coastal Zone, Northeastern Pará State. *Revista Brasileira de Geociências*. 30: p.522- 526. 2000.

SOCORRO, O. A.; PAES, E. T. A Formação Pirabas do Brasil (Mioceno Inferior) e a Subprovíncia Tropical do Atlântico Noroeste Central. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi, Ciências Naturais*, vol. 7, n.1, p.29-45. 2012.

SUGUIO, K.; NOGUEIRA A. C. R. Revisão Crítica dos Conhecimentos Geológicos sobre a Formação (ou Grupo?) Barreiras do Neógeno e o seu Possível Significado como Testemunho de Alguns Eventos Geológicos Mundiais. *Geociências, São Paulo*, 18: p. 461-479. 1999.

SZATMARI, P.; FRANÇOLIN, J. B. L.; ZANOTTO, O.; WOLF, S. Evolução Tectônica da Margem Equatorial Brasileira. *Revista Brasileira de Geociências*. 17(2): p.180-188. 1987.

TÁVORA, V. A.; FERNANDES, J. M. G. Estudio de los Foraminiferos de la Formación Pirabas (Mioceno Inferior), Estado do Pará, Brasil y su Correlación com Faunas Del Caribe. *Revista Geologica de America Central*, vol. 22: p.63-74. 1999.

TÁVORA, V. A.; SILVEIRA, E. S. F.; MILHOMEM NETO, J. M. Mina B-17, Capanema, PA-Expressivo Registro de uma Paleolaguna do Cenozóico Brasileiro. In: WINGE, M.; SCHOBENHAUS, C.; BERBERT-BORN, M.; QUEIROZ, E. T.; CAMPOS, D. A.; SOUZA, C. R. G.; FERNANDES, A. C. S. (Eds.). *Sítios Geológicos e Paleontológicos do Brasil*. DNPM-CPRM-SIGEP. Brasília. 2007.

TATUMI, S. H.; SILVA, L. P.; PIRES, E. L.; ROSSETTI, D. F.; GÓES, A. M.; MUNITA, C. S. Datação de Sedimentos Pós-Barreiras no Norte do Brasil: Implicações Paleogeográficas. *Revista Brasileira de Geociências*. 38(3): p.514-524, 2008.

TÁVORA, V.A.; SANTOS, A.A.R.; ARAÚJO, R. Localidades fossilíferas da Formação Pirabas (Mioceno Inferior). *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi. Ciências Naturais*, 5: p.207-224. 2010.

TOLEDO, P. M. Sobre Novos Achados de Sirênios (*Sirenotherium pirabense* Paula Couto, 1967) na Formação Pirabas (Pará, Brasil). *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi, série Ciências da Terra*, 1: p.5-10. 1989.

TELFORD, W. M.; GELDART, L. P.; SHERIFF, R. E. *Applied Geophysics*. Second Edition. Cambridge. Cambridge University Press, 770p. 1990.

VASQUEZ, M. L.; SOUSA, C. S.; CARVALHO, J.M.A. (Orgs.). *Mapa Geológico e de Recursos Minerais do Estado do Pará*, escala 1:1.000.000. Belém. Programa Geologia do

Brasil (PGB), Integração, Atualização e Difusão de Dados da Geologia do Brasil, Mapas Geológicos Estaduais. CPRM. 2008.

VILAS BOAS, G. S.; SAMPAIO, F. J.; PEREIRA, A. M. S. The Barreiras Group in the Northeastern Coast of the State of Bahia, Brazil: depositional mechanism and process. Anais da Academia Brasileira de Ciências. Rio de Janeiro. Vol. 73, n.3. 2001.

WINTER, T.C.; ROSENBERRY, D.O.; LABAUGH, J.W. Where Does the Groundwater in Small Watersheds Come From? Ground Water, watershed issue, v. 41, p.989-1000, 2003.

http://siagasweb.cprm.gov.br/layout/visualizar_mapa.php

<http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/geodesia/gravimetrica.shtm>

http://www.siagasweb.cprm.gov.br/pmapper/_bacias_hidrograficas.php

CAPÍTULO VII – ANEXOS

Levantamento Gravimétrico Belém								Data: 02 / 09 / 2016
Nº	X	Y	Elevação	Height	Hora	ETC	mGal	Toponímia
BRAG	01°02'58,08	46°45'39,55	19.434	0.164	7:57:09	0.134	3,804,700	BASE BRAGANÇA
1	01°12'23,00	47°09'35,70	19.819	0.162	9:13:09	0.063	3,824,274	TREVO CAPANEMA
2	01°12'41,31	47°08'30,98	31.936	0.16	9:29:55	0.046	3,821,787	
3	01°12'39,86	47°07'23,90	30.781	0.169	9:43:10	0.031	3,820,732	
4	01°12'36,13	47°06'16,84	17.078	0.16	9:55:23	0.018	3,822,554	
5	01°12'19,19	47°05'13,02	15.776	0.17	10:10:38	0.013	3,813,240	
6	01°12'01,88	47°04'07,68	24.782	0.173	10:22:48	0.008	3,802,081	
7	01°11'44,65	47°03'03,02	21.176	0.164	10:36:15	0.022	3,805,446	
8	01°11'27,32	47°01'59,44	16.319	0.162	10:53:25	0.034	3,811,271	
9	01°11'08,99	47°00'51,88	17.141	0.16	11:02:05	0.044	3,817,071	
10	01°10'35,10	47°00'00,03	7.781	0.169	11:15:07	0.054	3,823,790	
11	01°09'45,96	46°59'14,39	12.152	0.16	12:02:01	0.078	3,829,015	
12	01°09'14,15	46°58'17,72	3.262	0.17	12:14:23	0.081	3,830,003	VILA FÁTIMA
13	01°08'43,81	46°57'17,68	6.846	0.173	12:32:45	0.084	3,828,136	
14	01°07'52,58	46°56'36,72	0.731	0.164	12:45:24	0.084	3,822,355	
15	01°06'58,92	46°55'57,72	10.202	0.162	12:58:43	0.002	3,817,556	
16	01°06'16,08	46°55'06,27	8.098	0.16	13:11:27	0.079	3,815,609	
17	01°05'24,39	46°54'26,15	11.543	0.169	13:24:46	0.068	3,817,556	
18	01°04'58,54	46°53'28,55	6.327	0.16	13:38:37	0.06	3,815,609	
19	01°04'47,27	46°52'22,80	8.947	0.17	13:51:47	0.012	3,817,314	
20	01°04'30,52	46°51'19,07	3.624	0.173	14:17:41	0.031	3,818,783	ENTRADA TRAQUATEUA
21	01°04'09,15	46°50'14,85	6.954	0.164	14:29:31	0.019	3,808,807	
22	01°03'55,85	46°49'07,94	6.936	0.162	14:42:56	0.003	3,807,980	
23	01°03'49,68	46°48'01,97	14.521	0.16	14:59:18	0.013	3,805,034	
24	01°03'51,48	46°46'57,28	6.351	0.192	15:15	0.027	3,803,326	
25	01°03'54,78	46°45'51,94	3.271	0.16	15:28:37	0.044	3,800,807	
26	01°03'57,48	46°44'54,38	18.073	0.139	15:43:25	0.059	3,799,921	
27	01°03'28,01	46°44'03,04	4.521	0.16	15:57:32	0.073	3,803,202	
28	01°03'25,99	46°42'51,04	3.198	0.192	16:10:51	0.104	3,798,838	
BRAG	01°02'58,08	46°45'39,55	19.434	0.16	12:46:00	0.12	3,794,753	BASE BRAGANÇA

Levantamento Gravimétrico Belém								Data: 03 / 09 / 2016
Nº	X	Y	Elevação	Height	Hora	ETC	mGal	Toponímia
840U	01°17'51,06	47°56'59,33	19.935	0.164	10:14:17	0.033	3,810,448	BASE IFPA CASTANHAL

1	01°18'54,35	47°54'56,25	19.011	0.162	10:29:51	0.018	3,814,479	
2	01°20'01,18	47°54'45,34	4.818	0.16	10:44:52	0.003	3,813,713	
3	01°21'07,73	47°54'49,92	18.047	0.169	11:00:25	0.011	3,820,243	
4	01°22'14,73	47°54'57,29	10.897	0.16	11:10:49	0.019	3,825,173	
5	01°23'12,67	47°55'31,86	11.949	0.17	11:23:04	0.03	3,821,182	
6	01°24'11,47	47°55'35,66	0.765	0.173	11:41:46	0.044	3,825,552	
7	01°25'13,09	47°55'14,88	19.804	0.164	11:53:21	0.051	3,820,800	
840U	01°17'51,06	47°56'59,33	19.935	0.16	12:33:12	0.07	3,814,056	BASE IFPA CASTANHAL

Levantamento Gravimétrico Belém								Data: 21 / 08 / 2016
Nº	X	Y	Elevação	Height	Hora	ETC	mGal	Toponímia
840	01°17'51,06	47°56'59,33	19.935	0.163	7:38:27	0.181	3,817,834	IFPA CAMPUS CASTANHAL
1	01°17'56,80	47°58'07,36	5.158	0.168	8:08:12	0.182	3,826,046	
2	01°18'05,96	47°59'14,09	14,281	0.166	8:30:06	0.177	3,838,186	PRÓXIMO AO RIO APEÚ (FALHA)
3	01°18'21,58	48°00'18,56	9.312	0.169	8:47:51	0.171	3,824,224	PRÓXIMO AO POSTO DA PRF
4	01°18'24,93	48°01'26,37	11.177	0.167	9:09:05	0.157	3,825,628	
5	01°18'17,92	48°02'29,94	20.491	0.173	9:27:09	0.144	3,826,161	EM FRENTE AO PRESÍDIO AMERICANO
6	01°17'31,39	48°03'18,91	18.292	0.164	10:01:18	0.112	3,828,507	
7	01°16'47,69	48°04'09,53	18.664	0.17	10:15:49	0.097	3,831,226	
8	01°16'32,12	48°05'16,14	15.412	0.169	10:33:49	0.078	3,836,432	
9	01°16'34,82	48°06'22,12	15.031	0.166	10:55:08	0.057	3,839,754	
10	01°16'47,32	48°07'29,06	8,762	0.17	11:06:01	0.042	3,839,181	
11	01°17'01,07	48°08'34,02	15.808	0.155	11:24:07	0.022	3,836,314	
12	01°17'28,86	48°09'33,79	0.66	0.16	11:40:48	0.004	3,839,350	
13	01°17'50,97	48°10'38,33	10.206	0.162	11:59:06	0.013	3,836,447	
14	01°18'02,11	48°11'39,11	11.968	0.165	12:21:41	0.033	3,835,547	
15	01°18'26,75	48°12'40,95	4.151	0.155	12:33:29	0.043	3,837,190	
16	01°19'01,57	48°13'33,80	2.958	0.12	12:49:26	0.054	3,835,364	
17	01°19'52,48	48°14'13,52	6.114	0.16	13:04:17	0.063	3,832,373	
18	01°20'41,01	48°15'02,56	4,747	0.17	14:33:13	0.074	3,832,104	
19	01°21'33,97	48°15'42,11	10.613	0.134	14:52:27	0.068	3,831,979	
20	01°21'51,29	48°16'42,53	5.39	0.17	15:07:25	0.068	3,833,373	
21	01°21'52,34	48°17'51,39	0.294	0.155	15:33:02	0.059	3,833,227	
22	01°21'58,99	48°18'56,51	3.177	0.166	15:48:38	0.042	3,831,966	EM FRENTE AO CREMATÓRIO
23	01°21'54,58	48°20'05,26	4.439	0.164	16:03:11	0.031	3,830,345	EM FRENTE AO ICAAR, DEPOIS DA PASSARELA
24	01°21'54,84	48°21'10,54	15.784	0.162	16:16	0.019	3,830,136	
25	01°21'59,56	48°22'16,39	10.006	0.161	16:31:59	0.004	3,827,227	
26	01°22'27,95	48°23'18,85	3.586	0.167	17:04:29	0.009	3,825,972	
27	01°23'02,13	48°24'16,42	5.341	0.163	17:18:40	0.04	3,828,445	

28	01°23'37,68	48°25'13,74	6.254	0.165	17:33:24	0.055	3,830,751	
29	01°24'19,64	48°26'05,80	7.014	0.159	17:50:50	0.09	3,833,065	
840	01°17'51,06	47°56'59,33	19.935	0.174	20:08:58	0.179	3,817,604	

Levantamento Gravimétrico Belém								Data: 22 / 08 / 2016
Nº	X	Y	Elevação	Height	Hora	ETC	mGal	Toponímia
840	01°17'51,06	47°56'59,33	19.893	0.173	7:34:20	0.048	3,817,477	
1	01°16'37,47	47°55'28,45	20.147	0.164	8:32:44	0.164	3,814,628	
2	01°15'30,40	47°55'35,38	21.287	0.162	8:48:50	0.164	3,815,621	
3	01°14'21,23	47°55'41,55	16.386	0.16	9:02:51	0.163	3,815,405	
4	01°13'15,25	47°55'35,85	3.671	0.169	9:20:20	0.158	3,815,855	
5	01°12'06,61	47°55'30,20	1.176	0.16	9:32:48	0.154	3,815,335	
6	01°10'59,89	47°55'24,82	19.969	0.17	9:50:00	0.148	3,814,939	
7	01°09'52,60	47°55'25,58	9.849	0.173	10:01:16	0.139	3,815,600	
8	01°08'47,05	47°55'13,66	12.109	0.164	10:12:59	0.132	3,816,983	
9	01°07'39,36	47°55'08,23	15.584	0.162	10:50:52	0.102	3,818,174	
10	01°06'30,59	47°55'02,89	8.411	0.16	11:06:46	0.087	3,822,290	
11	01°05'24,03	47°54'57,24	2.95	0.169	11:17:37	0.075	3,829,298	
12	01°04'14,68	47°54'50,53	1.304	0.16	11:33:50	0.062	3,027,838	
13	01°03'11,03	47°54'33,66	4.509	0.17	11:48:00	0.047	3,829,769	
14	01°02'09,08	47°54'19,78	1.597	0.173	12:10:18	0.026	3,829,619	
15	01°01'04,31	47°53'53,64	11.156	0.164	12:34:46	0.004	3,826,878	
16	01°00'01,25	47°53'26,62	13.53	0.162	12:49:05	0.008	3,824,185	
17	00°59'00,39	47°53'00,88	16.372	0.16	13:04:30	0.02	3,823,928	
18	00°57'57,33	47°52'32,29	4.722	0.169	13:18:42	0.03	3,827,506	
19	00°56'56,58	47°52'05,18	15.352	0.16	13:36:16	0.041	3,826,150	
20	00°55'54,64	47°51'38,02	13.754	0.17	13:50:15	0.048	3,827,043	
21	00°54'47,95	47°51'24,94	0.604	0.173	14:02:38	0.053	3,830,772	
22	00°53'41,56	47°51'24,72	10.741	0.164	14:16:14	0.057	3,828,662	
23	00°52'33,65	47°51'24,50	8.506	0.162	14:33:34	0.06	3,833,417	
24	00°51'26,14	47°51'24,60	0.411	0.16	14:52	0.061	3,832,477	
25	00°50'17,96	47°51'24,85	0.091	0.169	15:08:22	0.06	3,833,004	
26	00°49'10,07	47°51'22,63	0.181	0.16	15:21:27	0.057	3,834,068	
27	00°48'33,11	47°51'20,25	3.611	0.17	15:35:04	0.053	3,834,115	POSTO DE GAS. TREVO DE MARUDA-CURUÇA
840	01°17'51,06	47°56'59,33	19.893	0.173	17:45:44	0.036	3,817,062	

Levantamento Gravimétrico Belém								Data: 23 / 08 / 2016
Nº	X	Y	Elevação	Height	Hora	ETC	mGal	Toponímia
840	01°17'51,06	47°56'59,33	19.893	0.163	7:45:10	0.11	3,817,130	IFPA CAMPUS CASTANHAL

1	01°17'48,96	47°55'51,10	6.323	0.17	8:08:12	0.121	3,817,961	
2	01°17'45,58	47°54'50,21	17.001	0.166	8:30:06	0.137	3,813,974	
3	01°17'42,24	47°53'41,59	18.699	0.174	8:47:51	0.14	3,814,968	
4	01°17'35,71	47°52'35,20	19.461	0.155	9:09:05	0.14	3,813,696	
5	01°17'26,79	47°51'29,42	19.974	0.159	9:27:09	0.14	3,814,782	
6	01°17'22,54	47°50'18,53	11.667	0.161	10:01:18	0.138	3,820,233	
7	01°17'42,53	47°49'16,74	23.487	0.148	10:15:49	0.134	3,818,168	
8	01°18'11,10	47°48'16,07	22.73	0.17	10:33:49	0.129	3,820,040	
9	01°18'13,25	47°47'09,68	18.771	0.166	10:55:08	0.11	3,822,767	
10	01°18'22,17	47°46'03,61	26.573	0.174	11:06:01	0.121	3,823,013	
11	01°18'34,04	47°44'56,05	24.212	0.155	11:24:07	0.137	3,824,469	
12	01°18'45,86	47°43'48,82	17.173	0.159	11:40:48	0.14	3,827,336	
13	01°18'57,26	47°42'43,97	20.927	0.161	11:59:06	0.14	3,827,577	
14	01°19'09,15	47°41'36,96	30.332	0.148	12:21:41	0.14	3,826,152	
15	01°19'20,59	47°40'32,03	19.64	0.163	12:33:29	0.138	3,833,832	
16	01°19'32,37	47°39'25,16	15.133	0.17	12:49:26	0.134	3,833,306	
17	01°19'44,11	47°38'18,62	21.844	0.166	13:04:17	0.129	3,830,387	
18	01°19'55,89	47°37'11,76	3.806	0.174	13:28:58	0.11	3,839,722	
19	01°20'08,00	47°36'03,68	9.767	0.155	14:10:35	0.121	3,844,707	
20	01°20'19,71	47°34'59,03	8.703	0.159	14:33:13	0.137	3,841,573	
21	01°21'17,39	47°34'29,53	15.014	0.161	14:52:27	0.14	3,840,554	
22	01°22'22,68	47°34'05,89	3.719	0.148	15:07:25	0.14	3,844,753	
23	01°23'25,23	47°33'44,15	4.769	0.17	15:33:02	0.14	3,843,883	
24	01°24'28,25	47°33'21,51	17.012	0.166	15:48:38	0.138	3,845,212	
25	01°25'32,63	47°32'58,34	26.082	0.174	16:03:11	0.134	3,841,049	
26	01°26'36,65	47°32'33,85	11.146	0.155	16:19	0.129	3,848,700	
27	01°27'39,12	47°32'08,97	7.741	0.159	16:27:26	0.11	3,849,619	
28	01°28'46,20	47°31'48,43	20.229	0.161	16:40:18	0.121	3,847,848	
29	01°29'52,64	47°31'31,99	2.106	0.148	17:01:04	0.137	3,852,451	
30	01°30'56,69	47°31'16,44	18.177	0.174	17:13:39	0.14	3,848,308	
31	01°32'01,02	47°30'58,80	6.887	0.155	17:26:55	0.14	3,850,342	
32	01°33'05,96	47°30'41,45	4.57	0.159	17:39:36	0.14	3,850,772	
33	01°34'11,65	47°30'25,04	1.747	0.161	17:50:51	0.138	3,850,350	
34	01°35'10,37	47°29'47,90	17.566	0.148	18:01:34	0.134	3,855,029	ENTRADA DA CIDADE DE SÃO MIGUEL
840	01°17'51,06	47°56'59,33	19.893	0.163	19:29:03	0.129	3,852,383	IFPA CAMPUS CASTANHAL

Levantamento Gravimétrico Belém							Data: 25 / 08 / 2016	
Nº	X	Y	Elevação	Height	Hora	ETC	mGal	Toponímia
840	01°17'51,06	47°56'59,33	19.893	0.164	7:19:41	(-)0.002	3,828,789	Igreja Matriz de Capanema

1	01°12'24,60	47°10'37,43	2.313	0.162	7:43:46	0.007	3,831,209	
2	01°11'20,27	47°11'04,34	9.814	0.16	8:08:24	0.016	3,829,550	
3	01°10'12,18	47°11'12,61	12.825	0.169	8:28:05	0.025	3,825,027	
4	01°09'03,70	47°11'16,31	31.032	0.16	8:42:09	0.032	3,822,686	
5	01°07'55,39	47°11'20,24	14.331	0.17	8:57:00	0.039	3,825,916	
6	01°06'49,46	47°11'28,93	13.717	0.173	9:10:56	0.045	3,828,676	
7	01°05'42,56	47°11'33,21	21.996	0.164	9:25:35	0.051	3,829,128	
8	01°04'36,35	47°11'36,66	19.514	0.162	9:39:57	0.057	3,831,625	
9	01°03'29,39	47°11'54,63	10.573	0.16	9:54:25	0.064	3,835,031	
10	01°02'21,75	47°12'03,54	20.787	0.169	10:13:06	0.072	3,832,353	
11	01°01'55,05	47°12'16,74	2.87	0.16	10:29:44	0.078	3,841,460	
12	01°00'12,61	47°12'37,89	12.778	0.17	10:43:16	0.083	3,843,850	
13	00°59'09,22	47°13'00,56	9.58	0.173	10:59:00	0.088	3,843,850	
14	00°58'07,11	47°13'26,39	5.87	0.164	11:13:06	0.092	3,844,376	
15	00°56'59,22	47°13'31,98	3.978	0.162	11:31:57	0.095	3,843,529	
16	00°55'52,66	47°13'45,70	1.257	0.16	11:45:06	0.097	3,840,817	
17	00°54'50,44	47°14'10,17	12.752	0.169	11:59:40	0.098	3,837,372	
18	00°53'44,46	47°14'22,14	3.014	0.16	13:32:01	0.085	3,839,276	
19	00°52'42,07	47°14'40,99	7.982	0.17	13:45:38	0.08	3,837,786	
20	00°51'35,08	47°14'24,49	9.241	0.173	14:01:09	0.074	3,836,536	
21	00°50'30,38	47°14'51,40	9.836	0.164	14:18:15	0.067	3,835,809	
22	00°49'29,20	47°15'20,92	1.394	0.162	14:40:12	0.057	3,837,712	
23	00°48'26,42	47°15'46,48	0.782	0.16	15:13:00	0.048	3,836,726	
24	00°47'26,90	47°16'18,02	12.114	0.169	15:27	0.042	3,833,402	
25	00°46'26,96	47°16'49,70	16.285	0.16	15:45:27	0.035	3,831,498	ESCOLA VILA DO CRUZEIRO
26	00°45'24,48	47°17'12,45	1.225	0.17	15:59:30	0.026	3,833,606	
27	00°44'19,63	47°17'34,05	3.23	0.16	16:12:18	0.02	3,833,786	
28	00°43'13,26	47°17'54,07	4.339	0.169	16:29:26	0.04	3,836,235	
29	00°42'09,41	47°18'10,13	1.817	0.16	16:43:11	0.007	3,831,083	
30	00°41'03,94	47°18'28,75	5.171	0.17	16:57:31	0.001	3,831,428	
31	00°40'02,28	47°18'57,63	4.792	0.165	17:11:54	(-)0.002	3,829,816	
32	00°39'01,53	47°19'29,44	6.333	0.167	17:33:45	(-)0.007	3,829,062	
840	01°17'51,06	47°56'59,33	19.893	0.192	19:18:35	(-)0.03	3,828,602	Igreja Matriz de Capanema

Levantamento Gravimétrico Belém							Data: 26 / 08 / 2016	
Nº	X	Y	Elevação	Height	Hora	ETC	mGal	Toponímia
840	01°17'51,06	47°56'59,33	19.893	0.164	7:34:20	0.048	3,828,507	Igreja Matriz
1	01°13'00,85	47°11'34,81	5.279	0.162	8:32:44	0.164	3,833,051	
2	01°13'36,07	47°12'32,38	2.531	0.160	8:48:50	0.164	3,835,141	
3	01°14'10,99	47°13'29,80	18.156	0.169	9:02:51	0.163	3,834,132	

4	01°14'46,03	47°14'30,12	1.477	0.160	9:20:20	0.158	3,836,253	
5	01°15'18,62	47°15'27,68	14.44	0.170	9:32:48	0.154	3,832,941	
6	01°15'54,66	47°16'23,71	3.744	0.173	9:50:00	0.148	3,837,213	
7	01°16'30,90	47°17'22,50	2.27	0.164	10:01:16	0.139	3,835,638	
8	01°16'44,22	47°18'25,00	5.389	0.162	10:12:59	0.132	3,835,317	
9	01°16'58,61	47°19'31,03	14.884	0.160	10:50:52	0.102	3,834,242	
10	01°17'09,48	47°20'38,21	7.893	0.169	11:06:46	0.087	3,825,692	
11	01°17'25,20	47°21'42,39	30.048	0.160	11:17:37	0.075	3,831,357	
12	01°17'57,48	47°22'40,78	6.839	0.170	11:33:50	0.062	3,827,377	
13	01°18'31,97	47°23'40,03	26.795	0.173	11:48:00	0.047	3,834,755	
14	01°18'42,39	47°24'46,29	4.599	0.164	12:10:18	0.026	3,837,183	
15	01°18'50,71	47°25'50,50	0.448	0.162	12:34:46	0.004	3,838,825	
16	01°18'33,45	47°26'56,17	3.645	0.160	12:49:05	0.008	3,833,449	
17	01°18'37,87	47°28'01,52	26.284	0.169	13:04:30	0.02	3,842,186	
18	01°18'59,89	47°29'04,51	3.415	0.160	13:18:42	0.03	3,837,761	
19	01°18'59,49	47°30'12,46	24.883	0.170	13:36:16	0.041	3,842,186	
20	01°19'20,24	47°31'14,07	14.267	0.173	13:50:15	0.048	3,837,761	
21	01°20'01,13	47°32'08,29	1.56	0.164	14:02:38	0.053	3,842,494	
22	01°20'29,48	47°33'09,79	2.947	0.162	14:16:14	0.057	3,846,917	
23	01°20'27,11	47°34'13,89	7.467	0.160	14:33:34	0.06	3,845,806	200 MEROS DA SUBESTAÇÃO DE SANTA MARIA
840	01°17'51,06	47°56'59,33	19.893	0.192	16:40	0.061	3,841,602	

Levantamento Gravimétrico Belém							Data: 27 / 08 / 2016	
Nº	X	Y	Elevação	Height	Hora	ETC	mGal	Toponímia
Base	01°24'31,66	48°27'45,17	9,036	0.164	7:57:09	0.07	3,828,206	IGREJA MATRIZ E CAPANEMA
1	01°12'58,23	47°10'36,02	2.652	0.162	9:13:09	0.033	3,830,981	
2	01°13'44,05	47°09'48,14	4.198	0.160	9:29:55	0.036	3,832,262	
3	01°14'37,03	47°09'00,39	12.793	0.169	9:43:10	0.037	3,830,772	
4	01°15'25,60	47°08'16,04	16.378	0.160	9:55:23	0.038	3,822,514	
5	01°16'16,00	47°07'30,53	13.848	0.170	10:10:38	0.036	3,826,425	
6	01°17'05,84	47°06'45,88	5.546	0.173	10:22:48	0.028	3,817,851	RIO CAETÉ
7	01°17'56,65	47°06'00,83	1,040	0.164	10:36:15	0.024	3,810,095	
8	01°18'47,49	47°05'15,74	23.104	0.162	10:53:25	0.016	3,806,552	
9	01°19'38,05	47°04'31,10	27.965	0.160	11:02:05	0.011	3,806,859	
10	01°20'28,63	47°03'46,58	15.795	0.169	11:15:07	0.003	3,803,085	
11	01°21'19,54	47°03'01,74	22.761	0.160	12:02:01	0.004	3,800,496	
12	01°22'10,10	47°02'17,46	31.706	0.170	12:14:23	0.011	3,800,313	
13	01°23'02,07	47°01'32,44	43.439	0.173	12:32:45	0.02	3,808,815	
14	01°23'53,42	47°00'48,16	37.636	0.164	12:45:24	0.03	3,825,160	

15	01°24'42,25	47°00'01,46	17.519	0.162	12:58:43	0.044	3,825,143	
16	01°25'30,14	46°59'15,84	33.365	0.160	13:11:27	0.053	3,822,551	
17	01°26'21,38	46°58'30,18	27.287	0.169	13:24:46	0.061	3,829,238	
18	01°27'11,76	46°57'45,22	13.609	0.160	13:38:37	0.069	3,826,348	
19	01°28'01,34	46°56'59,27	14.738	0.170	13:51:47	0.076	3,828,459	
20	01°28'51,16	46°56'16,41	28.198	0.173	14:17:41	0.084	3,829,628	
21	01°29'42,11	46°55'28,53	23.607	0.164	14:29:31	0.09	3,823,656	
Base	01°24'31,66	48°27'45,17	9,036	0.162	14:42:56	0.112	3,828,394	IGREJA MATRIZ E CAPANEMA

Levantamento Gravimétrico Belém

Data: 30 / 08 / 2016

Nº	X	Y	Elevação	Height	Hora	ETC	mGal	Toponímia
B. CURU	01°26'03,53	46°28'13,28	15.841	0.164		0.034	3,798,368	BASE CURUPAITI
1	01°26'37,02	46°27'22,57	13.027	0.162		0.047	3,800,594	
2	01°26'41,83	46°26'17,49	3.261	0.160		0.077	3,803,072	
3	01°26'41,05	46°25'10,96	11.196	0.169		0.08	3,807,334	
4	01°26'40,16	46°24'02,46	2.505	0.160		0.0082	3,809,348	
5	01°26'39,13	46°22'55,97	10.183	0.170		0.0082	3,812,974	
6	01°26'37,75	46°21'47,40	3.841	0.173		0.08	3,815,245	
7	01°26'36,41	46°20'41,27	7.434	0.164		0.07	3,816,772	FAZENDA SANTA MARIA
8	01°25'50,66	46°19'59,85	7.098	0.162		0.08	8,817,478	
9	01°24'49,84	46°19'29,34	6.716	0.160		0.005	3,819,514	
10	01°23'49,59	46°18'59,91	2.707	0.169		0.039	3,821,662	
11	01°22'59,33	46°18'17,25	4.89	0.160		0.029	3,822,002	
12	01°22'20,84	46°17'23,07	11.954	0.170		0.017	3,822,843	
13	01°21'46,26	46°16'29,24	4.632	0.173		0.001	3,825,766	
14	01°21'11,14	46°15'34,79	7.18	0.164		0.013	3,832,886	
15	01°20'34,56	46°14'37,12	3.294	0.162		0.029	3,832,903	
16	01°19'55,15	46°13'44,02	0.087	0.160		0.043	3,823,362	
17	01°18'56,25	46°13'13,34	5.553	0.169		0.056	3,823,738	
18	01°17'55,12	46°12'41,59	4.097	0.160		0.072	3,831,637	
19	01°16'55,98	46°12'10,72	10.793	0.170		0.084	3,838,148	
20	01°15'57,17	46°11'17,49	3.261	0.173		0.097	3,848,174	
21	01°14'56,79	46°11'41,07	13.206	0.164		0.132	3,825,067	
22	01°13'58,66	46°11'14,93	4.746	0.162		0.141	3,852,110	
23	01°13'02,70	46°10'48,60	3.17	0.160		0.147	3,850,123	
24	01°12'06,09	46°10'13,55	6.606	0.192		0.153	3,852,817	
25	01°12'00,39	46°09'08,95	12.779	0.160		0.157	3,854,364	
26	01°12'31,21	46°08'12,33	19.738	0.139		0.161	3,856,301	

B. CURU	01°26'03,53	46°28'13,28	15.841	0.164		0.147	3,798,659	BASE CURUPAITI
------------	-------------	-------------	--------	-------	--	-------	-----------	-------------------

Levantamento Gravimétrico Belém							Data: 31 / 08 / 2016	
Nº	X	Y	Elevação	Height	Hora	ETC	mGal	Toponímia
COOMAC	01°04'04,12	46°40'43,48	5.389	0.164	11:52:00	0.016	3,797,970	
1	01°26'03,53	46°28'13,29	15.881	0.162	12:44:43	0.066	3,794,860	
2	01°25'29,06	46°29'09,96	12.387	0.160	12:59:03	0.056	3,791,752	
3	01°24'49,62	46°30'00,04	5.143	0.169	13:11:03	0.047	3,792,807	
4	01°23'48,96	46°30'28,76	9.65	0.160	13:27:37	0.033	3,786,612	
5	01°22'45,96	46°30'53,73	13.223	0.170	13:40:04	0.021	3,789,016	
6	01°21'51,89	46°31'29,73	1.166	0.173	13:53:38	0.008	3,786,097	
7	01°21'02,01	46°32'14,59	8.126	0.164	14:05:52	0.004	3,785,115	
8	01°20'10,92	46°32'54,97	9.909	0.162	14:19:17	0.019	3,781,660	
9	01°19'19,01	46°33'36,14	23.381	0.160	14:35:06	0.037	3,783,688	
10	01°18'22,63	46°34'21,19	11.806	0.169	14:50:42	0.054	3,778,169	
11	01°17'39,95	46°34'59,76	32.746	0.160	15:35:06	0.102	3,778,116	
12	01°16'33,92	46°35'09,00	34.518	0.170	15:48:58	0.114	3,780,581	
13	01°15'25,84	46°35'18,15	24.807	0.173	16:01:27	0.126	3,780,819	
14	01°14'21,09	46°35'26,55	25.461	0.164	16:29:58	0.147	3,780,819	
15	01°13'12,98	46°35'36,36	19.284	0.162	16:44:22	0.156	3,780,905	
16	01°12'08,16	46°35'44,95	24.011	0.160	16:57:22	0.162	3,782,091	
17	01°10'59,66	46°35'54,12	18.23	0.169	17:13:37	0.168	3,782,680	
18	01°09'54,57	46°36'03,02	16.684	0.160	17:26:09	0.170	3,783,809	
19	01°08'47,81	46°36'12,10	16.015	0.170	17:40:35	0.171	3,786,967	
20	01°07'56,62	46°36'37,72	2.224	0.173	17:53:49	0.171	3,787,763	
21	01°07'44,77	46°37'37,94	8.021	0.164	18:07:29	0.168	3,789,150	
22	01°06'42,13	46°37'31,37	7.858	0.162	18:23:53	0.163	3,788,555	
23	01°05'35,29	46°37'44,38	3.797	0.160	18:48:36	0.154	3,795,136	
24	01°04'36,11	46°38'06,24	19.897	0.192	18:55	0.146	3,792,335	
25	01°04'00,38	46°39'02,10	8.293	0.160	19:10:23	0.135	3,793,743	
26	01°03'58,63	46°40'08,11	12.696	0.139	19:26:41	0.122	3,791,409	
COOMAC	01°04'04,12	46°40'43,48	5.389	0.164	19:52:00	0.016	3,797,970	