

ESTUDOS HIDROGEOLÓGICOS PARA A GESTÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DA REGIÃO DE BELÉM/PA



| Relatório Final - Volume 1 |
Diagnóstico do Meio Físico
da Região de Belém/PA

República Federativa do Brasil

Michel Miguel Elias Temer Lulia

Presidente da República

Ministério do Meio Ambiente

Edson Duarte

Ministro

Agência Nacional de Águas

Diretoria Colegiada

Christianne Dias Ferreira - Diretora-Presidente

Ricardo Medeiros de Andrade

Ney Maranhão

Oscar de Moraes Cordeiro Netto

Marcelo Cruz

Superintendência de Implementação de Programas e Projetos - SIP

Tibério Magalhães Pinheiro (Superintendente)

Victor Sucupira (Superintendente Adjunto)

Coordenação de Águas Subterrâneas - COSUB

Fernando Roberto de Oliveira (Coordenador)

Adriana Niemeyer Pires Ferreira

Fabício Bueno da Fonseca Cardoso

Letícia Lemos de Moraes

Leonardo de Almeida (Gestor Substituto do Contrato)

Márcia Tereza Pantoja Gaspar (Gestora do Contrato)

© 2018 Agência Nacional de Águas – ANA
Setor Policial, Área 5, Quadra 3, Blocos B, L, M, N, O e T
CEP: 70610-200, Brasília - DF
PABX: 2109-5400 / 2109-5252
Endereço eletrônico: <http://www.ana.gov.br>

Capa: Vanessa Cardoso
Local da Foto: Museu Emilio Goeldi – Belém/PA
Autor da fotografia: Angelo Matos

Equipe:

Comissão Técnica de Acompanhamento e Fiscalização – CTAF

Márcia Tereza Pantoja Gaspar (ANA)	Leonardo de Almeida (ANA)	
Márcia Helena D'Oliveira Nascimento (SEMAS/PA)	Juvenal Andrade Neto (SEMAS/PA)	Luciene Mota de Leão Chaves (SEMAS/PA)
Homero Reis de Melo Junior (CPRM)	Manoel Imbiriba Junior (CPRM)	Valmor José Freddo Filho (CPRM)
Raimundo Nonato do Espírito Santo (UFPA/IG)	Ronaldo Lopes Mendes (UFPA/NUMA)	Giovanni Chaves Penner (UFPA/ITEC)
Wanderley Nascimento da Silva (COSANPA)	Alessandra Machado Noronha (AMAE)	Hélida Gonçalves Soares (SEMMA Belém)
Edivan de Jesus Souza (SEMMA Marituba)	Fernando Monteiro da Silva (SEMMA Marituba)	Rosângela Maria L. da Rocha (SEMMA Marituba)
Alexsandra Christine Borges de Queiroz (SEMMA Marituba)	Ricelly Luciana Luz Maia do Rosário (SEMMA Santa Izabel do Pará)	Carla Marques de Oliveira (SEMMA Santa Bárbara do Pará)

Elaboração e Execução – PROFILL Engenharia e Ambiente S.A.

Mauro Jungblut – Coordenação Geral
Cíntia Letícia Sallet – Gerente de Projetos

Membros da Equipe Técnica Executora:

Flávio de Paula e Silva e Tiago Vier Fischer – Coordenação Técnica		
Antônio Flavio Uberti Costa	Antônio Silvio Jornada Krebs	Ana Luiza Helfer
Carla Gasparini	Carlos Bortoli	Daniel Wiegand
Guilherme Joaquim	Igor Alves	Isabel Rekowski
Marcia Regina Stradioto	Neomar Oliveira Fraga	Rodrigo Tusi Costa
Sidnei Agra		

Agradecimentos

Agradecemos a todos os colaboradores e usuários de recursos hídricos que direta ou indiretamente contribuíram com a elaboração deste trabalho.

Todos os direitos reservados.

É permitida a reprodução de dados e de informações, desde que citada a fonte.

A265e Agência Nacional de Águas (Brasil).
Estudos Hidrogeológicos para a Gestão das Águas Subterrâneas da
Região de Belém/PA: Relatório Final / Agência Nacional de Águas;
Elaboração e Execução: Profill Engenharia e Ambiente S.A – Brasília: ANA,
2018.

208 p. il.

Conteúdo: v.1. Diagnóstico do meio físico da região de Belém/PA – v. 2,
t 1. Hidrogeologia dos sistemas aquíferos da região de Belém/PA: Resultados
em hidrogeologia – v. 2, t. 2. Hidrogeologia dos sistemas aquíferos da região
de Belém/PA: Impactos da urbanização nas águas subterrâneas – v. 3. Plano
de gestão para as águas subterrâneas da região de Belém/PA.

1. Hidrogeologia. 2. Bacias Hidrográficas. 3. Belém, Região metropolitana
de (PA). I. Título

CDU 556.3

APRESENTAÇÃO

O Relatório Final dos “*Estudos Hidrogeológicos para Gestão das Águas Subterrâneas da Região de Belém/PA*” apresenta os resultados do projeto desenvolvido no âmbito do Contrato nº 039/2016/ANA, adjudicado pela Agência Nacional de Águas (ANA) à Empresa Profill Engenharia e Ambiente S.A., em agosto de 2016.

Os estudos realizados estão compilados neste Relatório Final, Resumo Executivo, complementados por relatórios técnicos temáticos sobre os dados gerados no projeto, definidos a partir do Termo de Referência elaborado pela ANA e órgão gestor do Estado do Pará. O estudo contempla a ampliação do conhecimento acerca dos aquíferos nos municípios de Belém, Ananindeua, Marituba, Benevides, Santa Izabel do Pará e Santa Bárbara do Pará, numa área total de 2.536 km² e de 1.893 km² de terras emersas (Figura 1).

O estudo foi desenvolvido seguindo nove etapas metodológicas:

Etapa I: Mobilização, Planejamento e Detalhamento das Ações Previstas: consolidação do Plano de Trabalho e coleta de dados disponíveis sobre a área de estudo, além de reunião de apresentação da equipe e definição de diretrizes e procedimentos.

Etapa II: Levantamento, Sistematização e Interpretação de Dados Existentes: busca por dados secundários, visando à avaliação e obtenção do conhecimento técnico existente na área de estudo, incluindo Geologia, Hidrogeologia, Hidroquímica, entre outros.

Etapa III: Avaliação do Meio Físico: realização dos levantamentos de campo programados com base nas fases antecedentes (etapas I e II).

Etapa IV: Levantamento Hidrogeológico: cadastramento de pontos d'água e fontes potenciais de poluição, detalhamento dos estudos climatológicos e avaliação hidrológica. Realização de ensaios de infiltração, testes de aquíferos e eleição da rede de monitoramento da qualidade das águas subterrâneas, com duas campanhas de coleta de amostras d'água para análise físico-química.

Etapa V: Avaliação Hidrogeológica: elaboração do mapa hidrogeológico e do modelo hidrogeológico conceitual para a área de estudo.

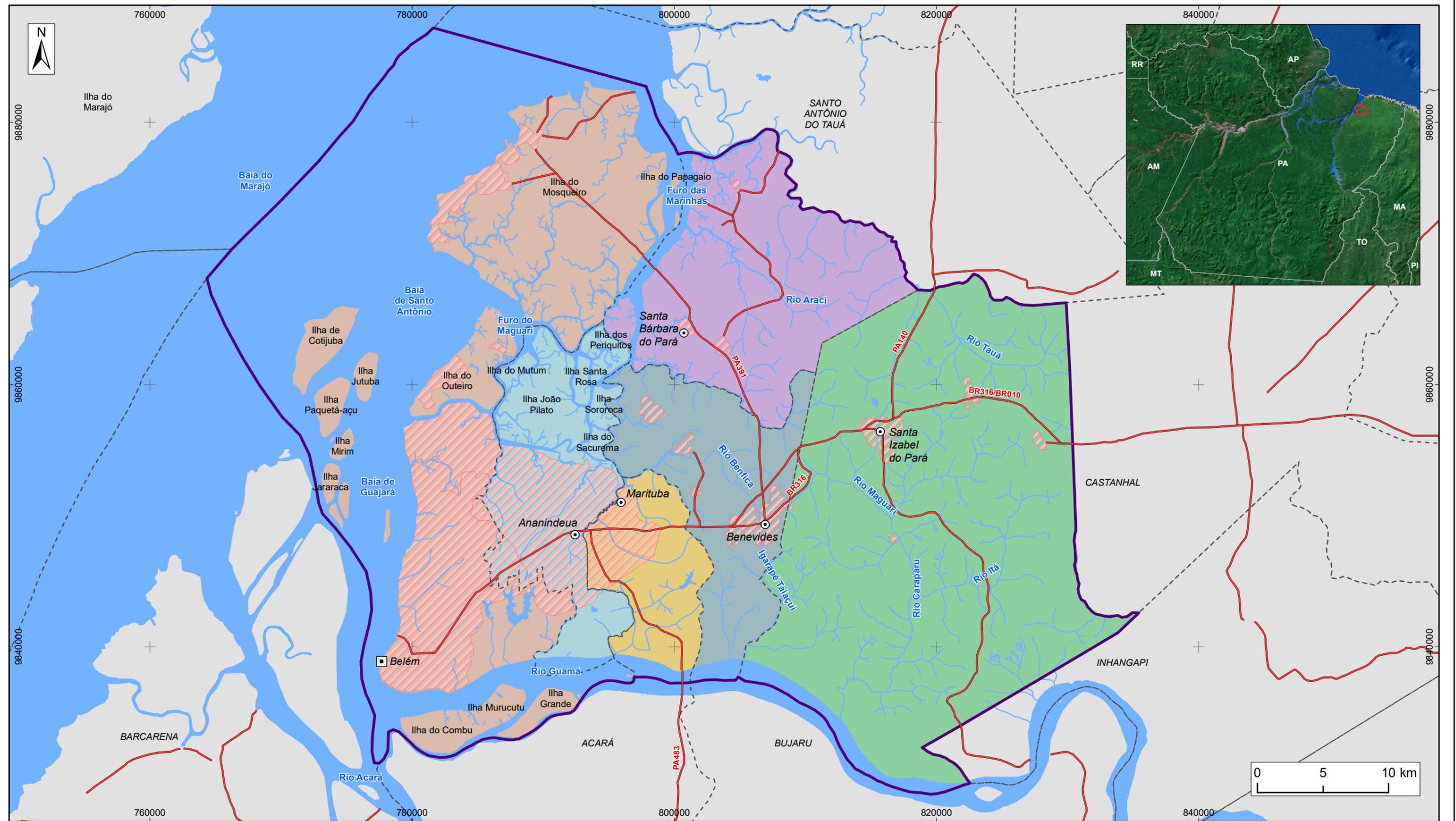
Etapa VI: Avaliação da Recarga, Reservas, Potencialidades, Disponibilidades e Exploração da Água Subterrânea: eleição e aplicação de metodologia para avaliação, a partir das características naturais e da urbanização, e cálculo do balanço hídrico.

Etapa VII: Avaliação das Atividades Antrópicas Impactantes nas Águas Subterrâneas: quantificação da exploração de água subterrânea e da recarga urbana pela infiltração de efluentes domésticos, vazamentos nas tubulações de abastecimento e fugas na rede de esgotos nos cenários atual e futuro e elaboração do balanço hidrogeológico.

Etapa VIII: Vulnerabilidade Natural dos Aquíferos e Perigo de Contaminação: proposição das zonas com maiores potencialidades para contaminação dos aquíferos.

Etapa IX: Proposta de Estratégias de Gestão de Águas Subterrâneas: identificação dos pontos de maior sensibilidade hidrogeológica e proposição de estratégias para a elaboração de um modelo de gestão das águas subterrâneas na área de estudo.

O projeto teve a supervisão da Comissão Técnica de Acompanhamento e Fiscalização (CTAF), composta por representantes de órgãos públicos dedicados ao conhecimento, distribuição e autorização de uso das águas subterrâneas na área de estudo. O estudo está orientado pelo ANEXO I - Projeto Básico, junto à documentação da Concorrência Nº 05/ANA/2015.



LEGENDA

- ▣ Capital Estadual **Município**
- ⊙ Sede Municipal
- ~ Hidrografia
- Rodovia
- ☁ Massa d'água
- ⊕ Área de Estudo
- ▨ Área urbana
- - - Limite municipal
- Ananindeua
- Belém
- Benevides
- Marituba
- Santa Bárbara do Pará
- Santa Izabel do Pará

Figura 1 – Mapa de localização da área de estudo



ESTUDOS HIDROGEOLÓGICOS PARA A GESTÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DA REGIÃO DE BELÉM/PA

Fonte: Rodovia: SEMAS/PA. Limites políticos: IBGE
Hidrografia: CPRM. Ilhas: adaptado de SEMAS/PA

Sistema de Coordenadas:	UTM
Datum Horizontal:	SIRGAS 2000
Unidade:	Metros
Fiscalização:	ANA
Data:	Junho/2018
Arquivo:	Figura_1_Mapa_Localizacao_A3
Escala:	1:290.000

Neste **Relatório Final** apresenta-se a consolidação dos estudos, estruturado em 14 capítulos, apresentado em três volumes, sendo o segundo subdividido em dois tomos. O produto final inclui ainda o Resumo Executivo, Relatórios Técnicos Temáticos (Impactos da Urbanização, Hidrogeoquímica, Geofísica, Testes de Aquífero e Ensaio de Infiltração), e um banco de dados (SIGBEL), que consiste no sistema de informações geográficas dos estudos que reúne mapas, relatórios, planilhas e toda a base de dados dos estudos.

O **Relatório Final** está estruturado conforme descrito a seguir:

VOLUME 1 – DIAGNÓSTICO DO MEIO FÍSICO DA REGIÃO DE BELÉM/PA

Capítulo 1 – Introdução

Capítulo 2 – Área de Estudo

Capítulo 3 – Levantamento de Dados Primários e Secundários

Capítulo 4 – Banco de Dados

Capítulo 5 – Aspectos Socioeconômicos

Capítulo 6 – Caracterização do Meio Físico

VOLUME 2 – HIDROGEOLOGIA DOS SISTEMAS AQUÍFEROS DA REGIÃO DE BELÉM/PA

TOMO I: RESULTADOS EM HIDROGEOLOGIA

Capítulo 7 – Avaliação Hidrogeológica

Capítulo 8 – Caracterização Hidrogeoquímica das Águas Subterrâneas

TOMO II: IMPACTOS DA URBANIZAÇÃO NAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

Capítulo 9 – Impactos da Urbanização nas Águas Subterrâneas no Cenário Atual

Capítulo 10 – Impactos da Urbanização nas Águas Subterrâneas em um Cenário Tendencial

Capítulo 11 – Balanço Hidrogeológico

VOLUME 3 – PLANO DE GESTÃO PARA AS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS NA REGIÃO DE BELÉM/PA

Capítulo 12 – Estratégias de Gestão das Águas Subterrâneas

Capítulo 13 – Proposta de Plano de Gestão das Águas Subterrâneas

Capítulo 14 – Seminários de Gestão Participativa

Ao final de cada volume são listadas as referências bibliográficas citadas no texto. Este caderno constitui o **Volume 1** do **Relatório Final**, e inclui os **capítulos 1 a 6**.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Localização da área de estudo	4
Figura 2 – Verificação das condições de poço para cadastramento.	22
Figura 3 – Exemplo de ficha cadastral preenchida.	23
Figura 4 – Representação numérica entre os diferentes tipos de pontos d'água cadastrados.	24
Figura 5 – Percentual e tipo de ponto d'água cadastrado nos municípios da Região de Belém.	24
Figura 6 – Mapa da distribuição espacial dos pontos de água inéditos cadastrados nos municípios da Região de Belém.	25
Figura 7 – Compilação de todos os poços levantados.	26
Figura 8 – Exemplo de poço tubular cadastrado.	28
Figura 9 – Poço escavado (amazonas) cadastrado na zona rural de Belém, Distrito de Mosqueiro. ...	29
Figura 10 – Natureza dos poços cadastrados em Belém e adjacências.	30
Figura 11 – Cadastramento de nascente.	30
Figura 12 – Mapa de localização das fontes de poluição relacionadas a estabelecimentos diversos.	40
Figura 13 – Mapa de localização dos grandes geradores de resíduos sólidos.	43
Figura 14 - Estrutura empresarial do Estado do Pará, na qual a RMB detém a maior concentração de atividades (Fonte: GUIA INDUSTRIAL DO PARÁ, 2013).	44
Figura 15 - Principais atividades da RMB são as indústrias de transformação e o setor de Construção (Fonte: GUIA INDUSTRIAL DO PARÁ, 2013).	45
Figura 16 – Mapa de localização das fontes pontuais de poluição relacionadas a atividades industriais.	46
Figura 17 - Visita ao Curtume Ideal, distrito industrial de Icoaraci.	49
Figura 18 - Poço “P1” de água do Curtume Ideal.	49
Figura 19 - Detalhe da situação do poço (Bomba P-1) do Curtume Ideal. Sem tampa de proteção. ...	50
Figura 20 - Igarapé com vegetação densa, Curtume Ideal.	50
Figura 21 - Vista dos galpões do Curtume Couro do Norte, distrito industrial de Icoaraci.	50
Figura 22 - Destino dos efluentes tratados do Curtume Couro do Norte.	50
Figura 23 - Estação de Tratamento de Efluentes do Curtume Ideal. São tratados efluentes de operação de calceiro, efluentes de operação de cromo e efluentes gerais.	51
Figura 24 - Medidor de vazão, calha Parshall, do Curtume Couro do Norte.	52
Figura 25 - Parte do Sistema da Estação de Tratamento de Efluentes, do Curtume Couro do Norte.	52
Figura 26 - Descarte irregular de lixo na avenida Gal. Teodoro/Av Eng Fernando Guilhon, Belém. ...	54
Figura 27 - Descarte irregular na Travessa Perebebuí, Belém.	54
Figura 28 - Descarte irregular na Rua do Canal Água de Cristal.	54
Figura 29 - Descarte irregular na Vila da Barca (Belém), onde é comum a presença de animais.	54
Figura 30 - Aglomerado de lixo na Rua Dr Assis X Av. Almirante Tamandaré.	55
Figura 31 - Moradora a descartar lixo na Av. Bernardo Sayão, Belém.	55

Figura 32 - Centro Municipal de Triagem de Materiais Recicláveis/Passagem Sol Nasce para Todos/Belém.	55
Figura 33 - Tentativa de visita técnica ao aterro sanitário de Marituba.	56
Figura 34 - Protesto de moradores do bairro São João contra o aterro sanitário de Marituba	56
Figura 35 - Lixão no bairro das Flores, em Benevides.	57
Figura 36 - Lixão, em Benevides. Disposição de resíduos diretamente sobre o solo.	57
Figura 37 - Lixão de Santa Izabel do Pará. Disposição do lixo sobre o solo.	57
Figura 38 - Lixão de Santa Izabel do Pará. O chorume proveniente de resíduos sólidos misturam-se às águas pluviais.	57
Figura 39 – Mapa de localização das fontes pontuais de poluição relacionadas a lixões.	58
Figura 40 - Mapa de localização das fontes pontuais de poluição relacionadas a postos de combustíveis.	60
Figura 41 - Borracharia com correta separação de óleos e graxas (Benevides).....	61
Figura 42 - Borracharia sem impermeabilização do solo, com destino dos resíduos para a vala (Santa Izabel do Pará).	61
Figura 43 - Trecho com grande concentração de oficinas e borracharias, próximo ao anel viário (Marituba).	61
Figura 44 - Lava-jato sem descarte correto das água residuais (Belém).	61
Figura 45 - Posto de combustível a ser inaugurado, em Santa Bárbara do Pará. Tanques novos e padrões conforme as normas ambientais.	61
Figura 46 - Lava-jato próximo ao Canal Água de Cristal, sem correto descarte das águas residuais (Belém).	61
Figura 47 - Túmulos em péssimo estado de preservação, Cemitério Soledade (Belém).	63
Figura 48 - Situação de abandono, Cemitério Santa Izabel do Pará (Belém).	63
Figura 49 – Túmulos suscetíveis à erosão, Cemitério Municipal (Santa Bárbara do Pará).	63
Figura 50 - Túmulos sem proteção de concreto, no Cemitério Municipal de Santa Izabel do Pará.	63
Figura 51 – Mapa com a localização das Estações de Tratamento de Esgoto da região de Belém.	70
Figura 52 - Casas de açaí, com descarte dos resíduos junto ao pavimento, Praça Brasil (Belém).	72
Figura 53 - Hospital Geral de Mosqueiro, classificado com potencial moderado no sistema POSH. ..	72
Figura 54 – Mapa com a localização das fontes pontuais de poluição relacionadas a estabelecimentos de saúde da Região de Belém.	73
Figura 55 - Mapa com a localização dos poços cadastrados sem proteção, das nascentes e dos poços amazonas da Região de Belém.	74
Figura 56 - Mapa do potencial de geração de carga difusa contaminante no subsolo, obtido a partir da reclassificação do mapa de uso do solo.	77
Figura 57 - Esgoto a céu aberto na Ilha de Mosqueiro.	79
Figura 58 - Canaletas da rede de esgoto quebradas na Ilha de Mosqueiro.	79
Figura 59 - Moradias, construídas sobre os canais, com despejo <i>in situ</i> de efluentes, Ilha de Mosqueiro/Belém.	79

Figura 60 - Residências lançam os efluentes diretamente sobre o canal, em Mosqueiro/Belém.	79
Figura 61 - Tipo de esgotamento sanitário por domicílio, em 2010, separados por localização em Aglomerado Subnormal (AS) ou não (Fonte: Elaborado a partir de IBGE - Censo Demográfico).	81
Figura 62 – Amostra da composição RGB532.....	84
Figura 63 – Proporção das classes de uso do solo na Região de Belém.	88
Figura 64 – Mapa de uso do solo nos municípios da Região de Belém.....	93
Figura 65 – Mapa de localização dos dados utilizados na integração entre Geofísica e Geologia: SEVs do projeto; SEVs (MENDES, 2000); Poços Tubulares (SIAGAS); Perfilagens Geofísicas (MENDES, 2000).....	95
Figura 66 - Mapa Bouger gerado a partir dos dados gravimétricos da CPRM (OLIVEIRA & SILVA, 2011).	99
Figura 67 - Mapa Bouger regional gerado a partir dos dados gravimétricos da CPRM (OLIVEIRA & SILVA, 2011).	100
Figura 68 - Mapa Bouger Residual gerado a partir dos dados gravimétricos da CPRM (OLIVEIRA & SILVA, 2011).	101
Figura 69 - Mapa Bouger regional com filtro gaussiano de 10 km gerado a partir dos dados gravimétricos da CPRM (OLIVEIRA & SILVA, 2011).	102
Figura 70 – Mapa de localização dos ensaios de infiltração executados.	104
Figura 71 – Ensaios de infiltração realizados: área da COSANPA 8º Setor, Belém (Ponto 07) (a) e (b); SAAE Benevides (Ponto 30) (c) e (d); Projeto “Minha Casa Minha Vida” em Santa Izabel do Pará (Ponto 34) (e) e (f), SAAEB/COSANPA Souza Franco - Icoaraci (Ponto 19) (g) e (h).....	106
Figura 72 - Histograma dos dados de infiltração em m/dia.....	109
Figura 73 – Mapa de Distribuição dos resultados dos ensaios sobre os diferentes tipos de uso de solo.	111
Figura 74 – Exemplo de apresentação da curva granulométrica.	112
Figura 75 – Mapa de localização dos testes de aquífero executados.	117
Figura 76 – Testes de aquífero. (a) poço bombeado, em Belém; (b) medição de vazão durante o teste, em Cotijuba; (c) poço de observação, em Benevides; e (d) poço de observação, em Belém (PA). ...	118
Figura 77 - Estrutura do banco de dados (SIGBEL).	124
Figura 78 – Exemplo de arquivos disponibilizados na pasta Mapas.	125
Figura 79 – Exemplo de arquivos disponibilizados na pasta Legendas.	125
Figura 80 – Exemplo de arquivos contidos na pasta Projetos.	126
Figura 81 - Estrutura do banco de dados.....	127
Figura 82 – Descrição dos componentes utilizados nas nomenclaturas dos arquivos do banco de dados.	128
Figura 83 – Descrição dos componentes utilizados nas nomenclaturas dos campos de arquivos do banco de dados.	128
Figura 84 – Evolução dos limites municipais na Região de Belém (Elaborado a partir dos limites vetoriais municipais disponibilizados por IBGE).	131

Figura 85 – Mapa de densidade demográfica da Região de Belém, por setor censitário.	137
Figura 86 – Rendimento nominal mensal domiciliar per capita na região de Belém (Elaborado a partir de IBGE - Censo Demográfico).	139
Figura 87 – Ocorrência de chuvas ocasionadas pela Zona de Convergência Intertropical (modificado de INMET, 2017).	142
Figura 88 – Climograma para a região considerando o período homogêneo (adaptado de ANA, 2005).	143
Figura 89 - Mapa de localização das estações pluviométricas analisadas.	145
Figura 90 – Mapa de isoietas ou linhas de igual precipitação (mm) na Região de Belém	146
Figura 91 – Distribuição mensal das temperaturas máximas, mínimas e médias.	147
Figura 92 - Distribuição mensal da umidade relativa do ar.	148
Figura 93 - Distribuição mensal da razão de insolação em porcentagem e da intensidade de radiação solar na Região de Belém.	149
Figura 94 - Média histórica da evapotranspiração potencial em Belém.	152
Figura 95 - Extrato do balanço hídrico mensal.	153
Figura 96 - Índices de deficiência, excedente, retirada e reposição hídrica ao longo do ano.	154
Figura 97 - Balanço hídrico normal mensal, com destaque à evapotranspiração potencial e real. ...	154
Figura 98 - Capacidade de armazenamento (CAD) e armazenamento mensal (ARM).	155
Figura 99 - Mapa das bacias hidrográficas da Região de Belém.	157
Figura 100 – Mapa de localização das estações fluviométricas.	160
Figura 101 – Monitoramento fluviométrico.	161
Figura 102 – Falésias observadas em porções costeiras da Região de Belém.	165
Figura 103 – Tipos de solos que ocorrem na área estudada.	166
Figura 104 - Crosta laterítica que aflora no Município de Benevides.	167
Figura 105 – Arcabouço tectônico da porção norte do Brasil (COSTA <i>et al.</i> 2002).	168
Figura 106 – Coluna estratigráfica da Zona Bragantina em diversas regiões da costa norte do Brasil (modificado de ROSSETTI <i>et al.</i> , 2013).	169
Figura 107 – Mapa geológico da Região de Belém.	171
Figura 108 – Mapa de profundidade da unidade Barreiras, com estruturação interpretada.	174
Figura 109 - Localização das seções geofísicas AB, CD e EF.	175
Figura 110 - Seção geofísica A-B.	177
Figura 111 - Seção geofísica C-D.	177
Figura 112 - Seção geofísica E-F.	178
Figura 113 – Perfil litológico do poço 1500004658 em Mosqueiro.	182
Figura 114 - Perfil litológico do poço 1500005519 em Outeiro.	183
Figura 115 - Perfil geológico representativo das três camadas que constituem as falésias da Ilha de Mosqueiro e adjacências. A = camada arenosa; B = camada arenoargilosa a arenoconglomerática; C = camada argiloarenosa (modificado de IGREJA <i>et al.</i> , 1990).	185
Figura 116 - Perfil litológico da Formação Barreiras no Município de Santa Izabel do Pará.	186

Figura 117 - Perfil observado na Praia do Amor, Ilha de Outeiro.	189
Figura 118 – Praia do Marahu, Ilha do Mosqueiro. Arenito ferruginoso que constitui um pequeno patamar na base da falésia.	190
Figura 119 – Afloramento em forma de falésia na Praia do Marahu, Ilha de Mosqueiro. Pacote de siltito argiloso, com aspecto mosqueado.....	190
Figura 120 – Praia do Paraíso, Ilha do Mosqueiro. Siltito caulínico cinza esbranquiçado com aspecto mosqueado (manchas avermelhadas) intercalado com o arenito conglomerático.....	191
Figura 121 – Afloramentos visitados ao longo do projeto.	192

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Descrição e organização das metas definidas para este estudo.....	19
Quadro 2 – População e área de Belém e municípios adjacentes.	20
Quadro 3 – Dados levantados das fichas dos poços cadastrados em campo.	29
Quadro 4 – Itens contemplados e informações contidas no levantamento das nascentes.	31
Quadro 5 - Fontes de contaminação pontuais segundo o sistema <i>POSH</i> (FOSTER <i>et al.</i> 2006).	39
Quadro 6 - Fontes de contaminação pontuais e classificação <i>POSH</i> adaptada.	39
Quadro 7 – Características das lagoas de efluentes dos curtumes Ideal e Couro do Norte.	51
Quadro 8 - Lixões e aterros localizados na área de estudo.....	52
Quadro 9 – Indicadores de atendimento dos serviços de esgotamento sanitário	64
Quadro 10 - Fases do Sistema de Esgotamento Sanitário da RMB (COSANPA, 2007).	64
Quadro 11 - Estudos e projetos para implantação do SES no Município de Belém (SILVA, 2010).	66
Quadro 12 – Informações sobre as ETEs do Município de Belém.	67
Quadro 13 – Dados para o Município de Belém com índices atuais e propostos (ANA, 2017).	67
Quadro 14 – Dados do Atlas de Despoluição (ANA), para o Município de Ananindeua, com índices atuais e propostos.	68
Quadro 15 – Dados do Atlas de Despoluição (ANA), para o Município de Benevides, com índices atuais e propostos.	68
Quadro 16 – Dados do Atlas de Despoluição (ANA), para o Município de Marituba com índices atuais e propostos.	69
Quadro 17 – Dados do Atlas de Despoluição (ANA), para o Município de Santa Bárbara do Pará, com índices atuais e propostos.	69
Quadro 18 - Dados do Atlas de Despoluição (ANA), para o Município de Santa Izabel do Pará, com índices atuais e propostos.	69
Quadro 19 – Fontes de contaminação difusas e classificação <i>POSH</i>	75
Quadro 20 – Proporção de domicílios atendidos pela rede geral de esgoto ou pluvial e por fossa séptica – Censos 2000 e 2010 (%).....	80
Quadro 21 – Produto Interno Bruto (PIB) municipal total e participação por setor (Fonte: IBGE – Produto Interno Bruto dos Municípios – ano de referência: 2014).	82
Quadro 22 – Cenas do satélite <i>RapidEye</i> utilizadas neste trabalho e a data de aquisição das imagens.	83
Quadro 23 – Classe de uso do solo por município (km ²).	89
Quadro 24 – Unidades de Conservação localizadas na Região de Belém.	91
Quadro 25 - Valores de resistividade para cada unidade aquífera.	96
Quadro 26 – Locais selecionados para a realização de testes de infiltração.	105
Quadro 27 - Valores medianos de K_v em m/dia e cm/seg obtidos nos testes de infiltração executados.	107
Quadro 28 - Sumário estatístico para os ensaios de infiltração.....	108

Quadro 29 - Parâmetros obtidos para geração do histograma.....	109
Quadro 30 - Classificação de Wentworth para materiais geológicos.	112
Quadro 31 - Classificação dos materiais segundo o coeficiente de uniformidade	113
Quadro 32 - Análises granulométricas e resultados quanto à classificação (textura) e uniformidade.	114
Quadro 33 - Valores medianos de K_v em m/dia e cm/seg obtidos nos testes de infiltração executados.	115
Quadro 34 – Resumo dos resultados dos testes de aquífero (Barreiras e Pirabas) na Região de Belém.	119
Quadro 35 – População residente por município.....	132
Quadro 36 – Taxa de crescimento anual da população por município.....	133
Quadro 37 – Taxa de urbanização do município.	134
Quadro 38 – Densidade demográfica em Habitante/km ²	136
Quadro 39 – Produto Interno Bruto (PIB) municipal total e participação por setor (2014).	138
Quadro 40 – Rendimento nominal mensal domiciliar <i>per capita</i> por município, separado por setores caracterizados como aglomerados subnormais.....	140
Quadro 41 – Índice de Desenvolvimento Humano Municipal de Belém e região Adjacente.....	140
Quadro 42 – Normais climáticas da Estação Meteorológica de Belém/PA (1961-1990).	143
Quadro 43 – Precipitação média total e nos períodos seco e chuvoso (1983-2016).	144
Quadro 44 – Temperatura histórica média e extrema na Região de Belém (1967 – 1996).	147
Quadro 45 – Altura do sol, radiação solar, insolação e foto período na Região de Belém.	150
Quadro 46 – Balanço hídrico climatológico, segundo Thornthwaite & Mather (1955).....	151
Quadro 47 - Disponibilidade temporal das medições de cota das estações fluviométricas da Região de Belém.....	158
Quadro 48 – Estações fluviométricas da Região de Belém e entornos (ANA-Hidroweb).	159
Quadro 49 – Vazões médias e com 95% de permanência no tempo.....	162

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
1.1	JUSTIFICATIVA	15
1.2	OBJETIVOS	17
1.3	METAS	18
2	ÁREA DE ESTUDO	20
3	LEVANTAMENTOS DE DADOS PRIMÁRIOS E SECUNDÁRIOS	21
3.1	CADASTRAMENTO DE PONTOS D'ÁGUA	21
3.1.1	<i>Poços Tubulares e Escavados</i>	27
3.1.2	<i>Nascentes</i>	30
3.2	CADASTRAMENTO DE FONTES POTENCIAIS DE POLUIÇÃO	32
3.2.1	<i>Introdução</i>	32
3.2.2	<i>Método</i>	36
3.2.3	<i>Fontes Pontuais de Contaminação</i>	39
3.2.4	<i>Fontes Difusas de Contaminação</i>	75
3.3	MAPEAMENTO DO USO DO SOLO	83
3.3.1	<i>Pré-processamento das imagens</i>	83
3.3.2	<i>Resultado</i>	86
3.4	LEVANTAMENTOS GEOFÍSICOS DE SUPERFÍCIE	94
3.4.1	<i>Introdução</i>	94
3.4.2	<i>Resultados das SEVs</i>	96
3.4.3	<i>Reprocessamento de SEVs Existentes</i>	97
3.4.4	<i>Reprocessamento dos Perfis Geofísicos Existentes</i>	98
3.4.5	<i>Mapas Gravimétricos Reprocessados</i>	98
3.4.6	<i>Integração e Interpretação dos Dados Geofísicos</i>	103
3.5	ENSAIOS DE INFILTRAÇÃO	103
3.5.1	<i>Condutividade Hidráulica Vertical</i>	107
3.5.2	<i>Análises Granulométricas</i>	112
3.6	TESTES DE AQUÍFERO	116
3.6.1	<i>Testes Realizados</i>	118
4	BANCO DE DADOS	122
4.1	Coleta de Dados	123
4.2	Estrutura do Banco de Dados	124
5	ASPECTOS SÓCIOECONÔMICOS	129
5.1	Histórico de ocupação	129

5.2	Dinâmica populacional	131
5.3	Aspectos econômicos	138
5.3.1	<i>Produto Interno Bruto (PIB)</i>	138
5.3.2	<i>Renda</i>	139
5.4	Índice de Desenvolvimento Humano (IDH)	140
6	CARACTERIZAÇÃO DO MEIO FÍSICO	141
6.1	CLIMA	141
6.1.1	<i>Precipitação</i>	144
6.1.2	<i>Temperatura</i>	147
6.1.3	<i>Umidade Relativa do Ar e Índice Global de Radiação</i>	148
6.1.4	<i>Evapotranspiração Real</i>	150
6.1.5	<i>Evapotranspiração Potencial</i>	152
6.1.6	<i>Balanço Hídrico Climatológico</i>	152
6.2	HIDROGRAFIA	155
6.3	GEOMORFOLOGIA	163
6.4	SOLOS	165
6.5	GEOLOGIA	168
6.5.1	<i>SÍNTESE DO ARCABOUÇO GEOLÓGICO</i>	168
6.5.2	<i>ASPECTOS ESTRUTURAIS</i>	172
6.5.3	<i>ESTRATIGRAFIA</i>	179
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	193
	ANEXOS	208

1 INTRODUÇÃO

Os *Estudos Hidrogeológicos para Gestão das Águas Subterrâneas da Região de Belém/PA* foram desenvolvidos no intuito de avançar na compreensão das características dos aquíferos existentes na área de estudo, para, juntamente com as avaliações dos usos da água e condições de saneamento, subsidiar a proposição de um plano de gestão integrada das águas subterrâneas.

O estudo foi desenvolvido em consonância com as atividades previstas na Agenda para Gestão Integrada de Recursos Hídricos Superficiais e Subterrâneos da ANA. Na agenda, estes estudos se enquadram na atividade "*Identificar e elaborar estudos em aquíferos de áreas urbanas onde a água subterrânea é importante no abastecimento humano*".

1.1 JUSTIFICATIVA

A Região de Belém é privilegiada em recursos hídricos, tanto superficiais como subterrâneos e com a abundância de chuvas o ano inteiro. Todavia, o aumento considerável da demanda de água e a insuficiência do serviço de abastecimento público levaram a população buscar de forma desenfreada e desarticuladas o uso alternativo das águas subterrâneas de forma particular (autoabastecimento). Novos poços tubulares são continuamente construídos, em geral fora dos padrões técnicos recomendados e sem o devido controle e registro por parte dos órgãos fiscalizadores.

Reconhece-se a importância dos aquíferos como fontes de água para consumo e atividades produtivas, cujo uso geral alcança em muitos casos proporções volumétricas da mesma ordem de grandeza das fontes de água superficial. Como costuma ocorrer nas áreas metropolitanas no Brasil, são inúmeras as ameaças impostas aos aquíferos, muitas delas decorrentes da falta de uma política ambiental efetiva e/ou de uma articulação setorial desta com as demais. O comprometimento da qualidade natural das águas subterrâneas figura entre as consequências, já constatados por algumas pesquisas na Região de Belém.

O conhecimento sobre o uso das águas subterrâneas na Região de Belém é constantemente atualizado pela CPRM, a partir da alimentação de cadastro de poços, disponibilizados na internet, no Sistema de Informações de Águas Subterrâneas (SIAGAS). Contudo, esse registro demanda certo refinamento no que diz respeito ao uso crescente por parte de alguns setores produtivos como: indústrias de alimentos, indústrias madeireiras, cervejarias, turismo, além de condomínios residenciais. Outro cenário que demanda atenção

é o da gradativa contaminação das águas dos aquíferos freáticos por compostos nitrogenados e hidrocarbonetos, oriundos de esgotos domésticos e postos de combustíveis, respectivamente (GASPAR & SOUZA, 2000; ARAÚJO, 2001; SILVA, 2013).

Tal cenário se deve ao baixo percentual de domicílios atendidos por coleta e tratamento de esgotos domésticos. Para o ano de 2015 o maior índice de coleta de esgoto observado era de 20,5%, em Belém, seguido de Ananindeua (11,3%), os quais apresentam índices de coleta superiores ao índice do Estado do Pará (5,4%). Os demais municípios têm índices que variam do máximo de 4,4% (Marituba) ao mínimo de 1,3% (Santa Izabel do Pará). Além de baixos, os volumes coletados de esgoto não são tratados, com exceção do Município de Belém que trata pouco mais de 10% dos efluentes.

A ocupação desordenada do solo também se constitui em fato danoso à manutenção da boa qualidade das águas subterrâneas, já que, com a expansão das moradias, a infraestrutura urbana não atende de pronto às demandas ali instaladas, impelindo os ocupantes desses novos espaços a escavar poços sem suficiente preocupação técnica ou ambiental, transformando aquela fonte de captação de água (poço) em um ponto potencial de contaminação das águas subterrâneas.

Torna-se evidente, portanto, que é preciso ampliar o conhecimento sobre as águas subterrâneas para dar o subsídio necessário aos tomadores de decisão quanto às condições e à existência de reservas suficientes para suprir as demandas qualitativas da população local de forma sustentável, ou seja, assegurando o atendimento das demandas atuais e futuras.

Finalmente, é importante salientar que as condições hidrogeológicas e socioeconômicas estão sempre interligadas, e, por esse motivo, são específicas para cada local. Portanto, não existe uma receita única para a gestão integrada das águas subterrâneas. Para que seja eficiente e sustentável, a gestão deve contar com a participação dos principais atores, a implementação sistemática de medidas de gestão e, principalmente, o desenvolvimento de capacidades tanto dentro dos órgãos gestores como por parte dos grupos de usuários.

1.2 OBJETIVOS

Os *Estudos Hidrogeológicos para Gestão das Águas Subterrâneas da Região de Belém/PA* tiveram como objetivo gerar conhecimento hidrogeológico sobre os sistemas aquíferos da região, as relações entre eles e os corpos hídricos superficiais, além de avaliar possíveis locais com restrições de uso, tanto em termos de quantidade quanto de qualidade. Ao final, o avanço no conhecimento subsidiou a proposta de estratégias de gestão para as águas subterrâneas da Região de Belém.

Como objetivos específicos desse estudo, destacam-se:

- Levantar e consistir informações pré-existentes concernentes a esse trabalho para atualizar o estado da arte do conhecimento da hidrogeologia, geomorfologia, geologia, hidrologia, hidrogeoquímica, geofísica, estudos socioeconômicos, de uso e ocupação da terra na Região de Belém;
- Identificar, conhecer e quantificar a situação atual dos poços por meio de um cadastro para orientar a tomada de decisão na gestão das águas subterrâneas;
- Avaliar e quantificar as demandas hídricas, incluindo uma estimativa do autoabastecimento;
- Avaliar as áreas de recarga natural, e o possível comprometimento dessas áreas com base em mapa de uso e ocupação do solo da região, e identificar áreas prioritárias para proteção;
- Elaborar mapa de potenciometria do aquífero Pirabas e atualizar aquele existente sobre o sistema Barreiras elaborado por CPRM (2002);
- Avaliar a dinâmica de circulação dos aquíferos, condições de fluxo e exutórios dos aquíferos com base em dados hidrogeoquímicos e hidráulicos dos aquíferos;
- Avaliar as reservas e disponibilidades atuais de água subterrânea e o balanço hidrogeológico considerando os aquíferos explorados;
- Caracterizar os tipos hidroquímicos de água subterrânea e sua adequação para as diferentes finalidades, bem como caracterizar possíveis níveis de contaminação decorrentes de atividades antrópicas;
- Identificar as principais fontes poluidoras e diagnosticar a qualidade da água dos poços e nascentes;
- Realizar balanço hídrico integrado para avaliar a recarga, e reavaliar as reservas, considerando, na medida do possível, conjuntamente as águas

- superficiais e subterrâneas. Considerar no balanço hídrico a parcela de recarga urbana, considerando todas as variáveis de influência (perdas de água da rede pública, esgotos, urbanização/impermeabilização do solo);
- Identificar e mapear as zonas mais favoráveis à captação nos aquíferos existentes;
 - Propor uma rede para instalação de sensores para monitoramento das águas subterrâneas;
 - Elaborar Mapa de Vulnerabilidade Natural à Contaminação dos Aquífero Pós-Barreiras e Barreiras;
 - Elaborar Mapa de Perigo de Contaminação para os aquíferos, incluindo as formações superficiais de idade recente explotadas através de poços rasos;
 - Elaborar o Mapa de Zoneamento Explotável, incluindo zonas de restrição de uso e perímetro de proteção de poços, a fim de orientar o órgão gestor estadual nas análises dos pleitos de outorga da água subterrânea e na avaliação de áreas para instalação de sistemas de captação de água subterrânea para o abastecimento público;
 - Criar um Banco de Dados contendo todas as informações inventariadas e coletadas durante o estudo.

1.3 METAS

Durante a elaboração dos estudos, observou-se o atendimento de quatro metas específicas que devem servir como pré-requisito para os próximos estudos. Essas metas estão descritas no Quadro 1.

Quadro 1 – Descrição e organização das metas definidas para este estudo.

Meta I: Caracterização hidrogeológica do(s) aquífero(s)

- Caracterização hidrogeológica dos aquíferos Pós Barreiras, Barreiras e Pirabas por meio de diversas ações, tais como: atualização do cadastro de poços e nascentes, cadastro de novos poços e nascentes, análise dos dados de poços existentes, atualização de mapa geológico e hidrogeológico com trabalhos de campo, incluindo ferramentas como geofísica, e modelo conceitual dos aquíferos. Definição e delimitação de áreas de recarga e descarga, mapa potenciométrico, avaliação dos parâmetros hidrodinâmicos dos aquíferos, condições de fluxo entre corpos de água superficiais e aquíferos.

Meta II: Balanço hídrico dos aquíferos

- Calcular o balanço hídrico que corresponde à avaliação das entradas e saídas de água na área de estudo. Para sua estimativa é necessário o levantamento e tratamento de dados de chuva e outros parâmetros do balanço, assim como o posterior cômputo das demandas atuais e avaliação das reservas, sempre visando a gestão integrada de recursos hídricos superficiais e subterrâneos.

Meta III: Caracterização da Qualidade das águas subterrâneas

- O estudo da qualidade das águas subterrâneas envolve uma série de parâmetros físico-químicos, orgânicos, bacteriológicos e isotópicos. Os principais parâmetros a serem analisados visam à caracterização e classificação das águas subterrâneas dos sistemas aquíferos explorados e a análise de sua adequação para o abastecimento humano, conforme norma regulamentar vigente. A confecção de gráficos *Piper*, *Stiff*, além de mapas de zoneamento da qualidade das águas e de índices hidrogeoquímicos que, quando tratados estatisticamente, possam sugerir alguma tendência a contaminação das águas subterrâneas.

Meta IV: Plano de Gestão das águas subterrâneas

- Elaborar um Plano de Gestão abordando as principais ações para a sua efetiva implementação pela Secretaria de Meio Ambiente e Sustentabilidade (SEMAS), órgão responsável pela gestão de recursos hídricos do Estado do Pará. Baseando-se na conclusão sobre a ampliação do conhecimento técnico dos aquíferos Pós Barreiras, Barreiras e Pirabas e questões relacionadas a qualidade e disponibilidade de água, o Plano de Gestão deverá ser uma ferramenta que reúne as recomendações e estratégias para efetiva aplicação dos instrumentos de gestão de recursos hídricos.

Dessa forma, ao final do conjunto de atividades executadas, a ampliação do conhecimento hidrogeológico sobre a área permitiu a elaboração de uma proposta de Plano de Gestão de Águas Subterrâneas com metas a serem alcançadas, visando atender à demanda atual e futura da região, sendo este estruturado em 5 Componentes, a saber: Componente 1: Planejamento e Gestão, Componente 2: Fortalecimento Institucional, Componente 3: Monitoramento, Componente 4: Proteção e Conservação e Componente 5: Intervenções Estruturais.

2 ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo está inserida na Região Metropolitana de Belém (RMB) e abrange seis dos sete municípios pertencentes a ela: Belém Ananindeua, Marituba, Benevides, Santa Bárbara do Pará e Santa Izabel do Pará, totalizando uma área de 2.536,9 km² (Quadro 2). Entretanto, cabe destacar aqui que essa área inclui uma porção submersa não contemplada pelos levantamentos previstos no projeto, principalmente referente à área municipal de Belém, como se pode observar na Figura 1. Assim sendo, a área efetivamente estudada corresponde a 1.893 km².

Quadro 2 – População e área de Belém e municípios adjacentes.

Município	População (IBGE, 2010)	População Estimada (IBGE, 2016)	Área (km ²) (IBGE, 2015a)	Densidade Demográfica (hab/km ²) (IBGE, 2010)
Ananindeua	471.744	510.834	190,451	2.477,55
Belém	1.393.399	1.446.042	1.059,458	1.315,26
Benevides	51.651	59.836	187,826	274,99
Marituba	108.246	125.435	103,343	1.047,44
Santa Bárbara do Pará	17.141	20.077	278,154	61,62
Santa Izabel do Pará	59.466	67.686	717,662	82,86
Total	2.101.647	2.229.910	2.536,894	5.259,72

A RMB está localizada na Região Norte do Brasil, nordeste do Estado do Pará e as principais vias de acesso à região são as rodovias BR-010 (Rodovia Belém-Brasília), BR-316 e PA-391, PA-140 e PA-483 que interligam as vias locais. Compõe-se, atualmente, por sete municípios, tendo sido instituída em 1973 e era composta, inicialmente, pelos municípios de Belém e Ananindeua. Em 1995 a RMB foi ampliada e passaram a fazer parte os municípios de Benevides, Marituba e Santa Bárbara do Pará; a partir de 2010 Santa Izabel do Pará passou a fazer parte desse recorte; e, em 2011, Castanhal.

Essa área compreende uma região com relevo relativamente plano e uniforme, inserido em um complexo sistema flúvioestuarino, incluindo porções continentais e insulares, conformadas pela existência de importantes rios (em destaque os rios Guamá e Pará) e por uma série de furos, igarapés e paranás.

3 LEVANTAMENTOS DE DADOS PRIMÁRIOS E SECUNDÁRIOS

3.1 CADASTRAMENTO DE PONTOS D'ÁGUA

O método de levantamento de dados de pontos d'água no âmbito deste estudo consistiu da consulta a bancos de dados secundários, seguida de cadastramento em campo de poços e cacimbas inéditos, ou seja, não disponíveis nos cadastros consultados.

Inicialmente, procedeu-se com a consulta aos bancos de dados de instituições competentes no âmbito da fiscalização, regulamentação e cadastramento de poços, entre as quais CPRM, DNPM, SEMAS, COSANPA e prefeituras pertencentes à Região de Belém, para checagem dos poços e nascentes já cadastrados nesses órgãos. Essas informações foram tratadas como dados secundários.

A consulta aos bancos de dados forneceu uma malha a partir da qual os poços já cadastrados pudessem ser visualizados em mapa, auxiliando a busca por pontos d'água inéditos, em campo.

As informações contidas nos diferentes bancos de dados nem sempre tinham correspondência entre si, o que gerou diversas lacunas na compilação geral. Nesse contexto, destaca-se: a compilação dos dados de outorga nos arquivos internos da SEMAS, motivada pela ausência das profundidades dos poços no banco de dados obtido junto ao órgão; incremento das coordenadas dos poços contidos no banco de dados da COSANPA, no qual observou-se carência dessa informação em grande parte dos poços; visita aos poços elencados na rede de monitoramento da qualidade das águas (RIMAS/CPRM), na intenção de verificar se haveria autorização para a realização das coletas, além de constatar a sua real existência. Nesse último caso, cabe ressaltar, ainda, que o cadastro da CPRM/SIAGAS passa por atualizações periódicas.

A etapa de cadastramento em campo, consistiu na realização de incursões a campo, com o objetivo de proceder com o cadastramento nos locais onde provavelmente existiriam poços e nascentes, como condomínios residenciais, indústrias, comércios, clubes, balneários, unidades de conservação, dentre outros (Figura 2). Para todos os pontos procedeu-se com o registro fotográfico, e tomadas as coordenadas de localização dos pontos com aparelho GPS Garmin eTrex 30, *datum* SIRGAS 2000.

O cadastro foi efetuado mediante o preenchimento de ficha cadastral com informações relacionadas ao poço, como dados gerais, dados de exploração, dados de perfuração, dados de aquíferos, dados de teste de vazão e dados de amostras de água (Figura 3).



Figura 2 – Verificação das condições de poço para cadastramento.

O cadastro das nascentes, por sua vez, foi realizado utilizando-se ficha cadastral específica, contendo dados gerais, bacia hidrográfica, tipo de nascente, fisiografia, perenidade, preservação, solo, vegetação, cobertura vegetal e uso das águas.

Ao longo da etapa de cadastramento de pontos de água, registrou-se, adicionalmente, imprevistos e empecilhos enfrentados pela equipe. Em alguns locais os responsáveis recusaram-se a fornecer as informações, sejam dos poços (tubulares e cacimbas), ou das nascentes. Outros locais ofereceram outros impedimentos, como ausência de responsável, necessidade de agendamento prévio de reunião ou envio de ofício específico.

Um total de 516 pontos de água incluindo poços e nascentes foi registrado, formalmente, pela primeira vez ao longo da Região de Belém. A maioria dos pontos foram de poços tubulares cadastrados principalmente nos municípios de Belém e Ananindeua (Figura 4 e Figura 5). A distribuição espacial dos poços novos cadastrados é apresentada na Figura 6, e a espacialização de todos os pontos levantados no projeto, que somam 3.434 poços, está na Figura 7.

160



FICHA DE PONTO DE ÁGUA

DADOS GERAIS				
UF	Município	UTM N	UTM E	NUMERAÇÃO FOTOS
PA	Belém	9842255	782231	9751-9757

Localidade do Ponto	Natureza do poço	Sigla
Av. Traverso Pirajé, 716	tubular	

Outorga Número	Vazão Outorgada (m³/h)	Validade	Regime de bombeamento (horas/dia)	Finalidade de uso

NOME DO PROPRIETÁRIO: <i>Residência / Ed. João Visconde de Pirajé</i>
CPF:
Existência de outros poços? Onde?

DADOS DE EXPLOTAÇÃO

Data Instalação	Tipo de Reservatório	Volume Reservatório	Uso da Água	Localidade Abastecida
1999	<i>caso de água 315 l/min</i>	60.000 L	Residencial	
Profundidade Útil do Poço (m)	Altura da boca do Tubo (m)	Altitude do Terreno (m)		
35m	40cm	27m		

DADOS DE PERFURAÇÃO

Data de Perfuração	Profundidade Inicial (m)	Profundidade Final (m)	Empresa Perfuradora	Método de Perfuração
21/01/2000	0	35	Hidrajato	Rotativo

DADOS DE AQUÍFEROS

Nome do Aquífero	Topo (m)	Base (m)	Penetração no Aquífero	Condição do Aquífero
Barragem	22	32		

DADOS DO TESTE DE VAZÃO

Data do Teste	Tipo do Teste de Vazão	Tempo de Duração [h; min]	N. Estático (m)	N. Dinâmico (m)
21/12/1999				26m
Vazão de Estabilização (m³/h)		Vazão Específica (m³/h)		
		15 m³/h		
Método interpretação Coef. de Armazenamento		Transmissividade		
Conductividade hidráulica		Permeabilidade		

DADOS DE AMOSTRAS DE ÁGUA

Nome	Data da Coleta	Data da Análise	Condutividade elétrica	Temp. (°C)	STD	PH
Análise	30/03/04	30/03/04	390 µS/cm		1662	6,9
Coliformes totais	Coliformes fecais	Bicarbonato (HCO ₃)	Cálcio (Ca)	Carbonato (CO ₃)		
Ausente	Ausente					
Cloro (Cl)	Dureza total	Ferro total (Fe)	Fluoretos (F)	Nitratos (NO ₃)		
	156,0 mg/L	0,18 mg/L		2 mg/L N		
Nitritos (NO ₂)	Potássio (K)	Sódio (Na)	Sulfato (SO ₄)			

OBSERVAÇÃO:

Acidez: 40 mg/L CaCO₃Alcalinidade = 96,0 mg/L CaCO₃

São 2 poços

Cláudio Nello: 98912-4329


 Assinatura Responsável pelo cadastro

Figura 3 – Exemplo de ficha cadastral preenchida.

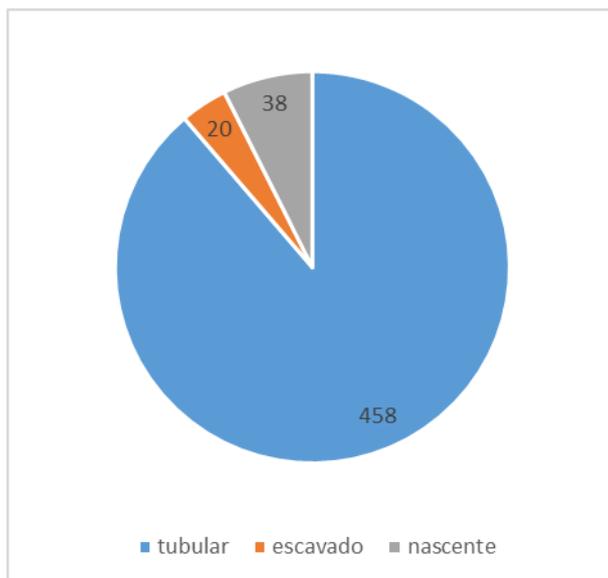


Figura 4 – Representação numérica entre os diferentes tipos de pontos d'água cadastrados.

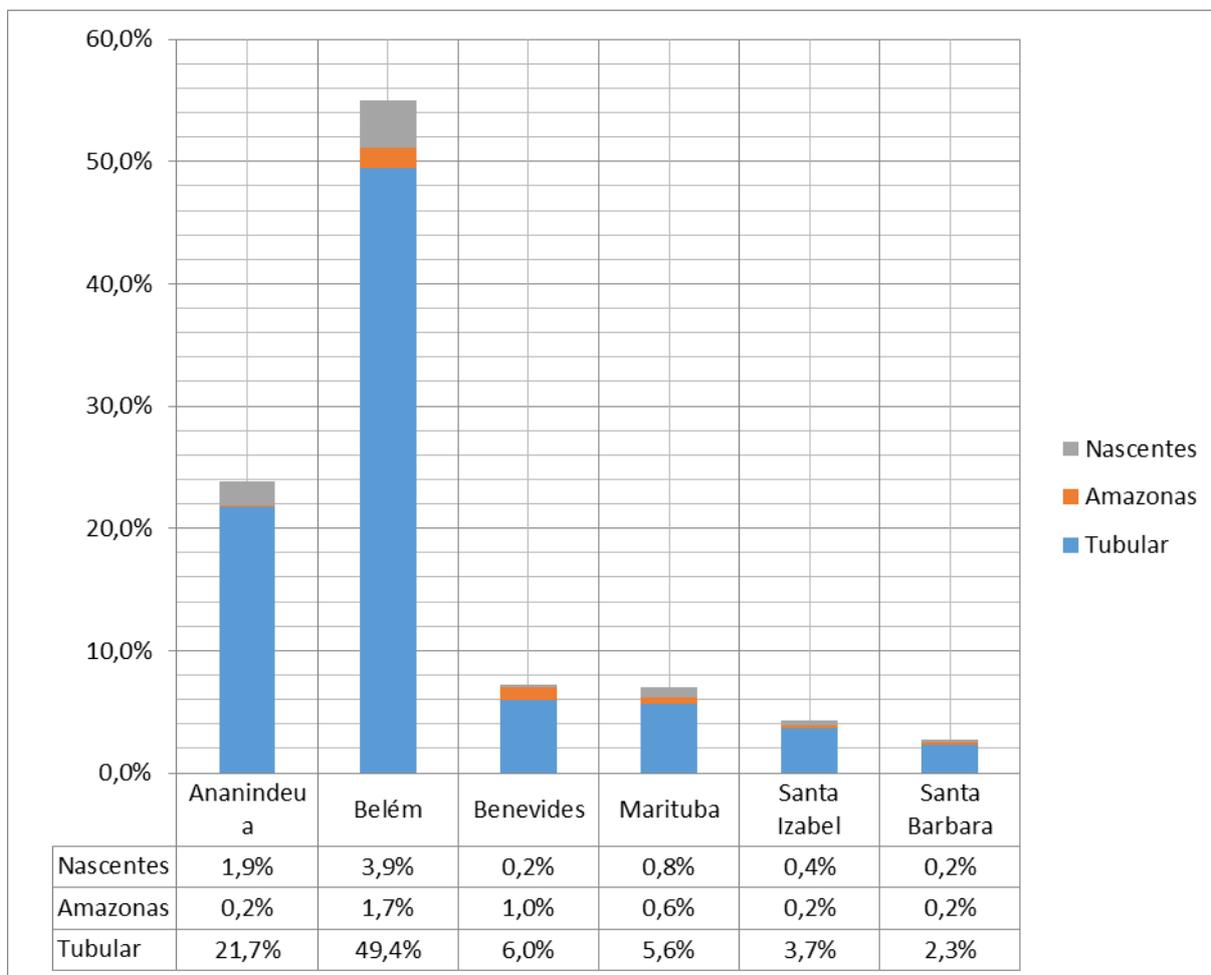
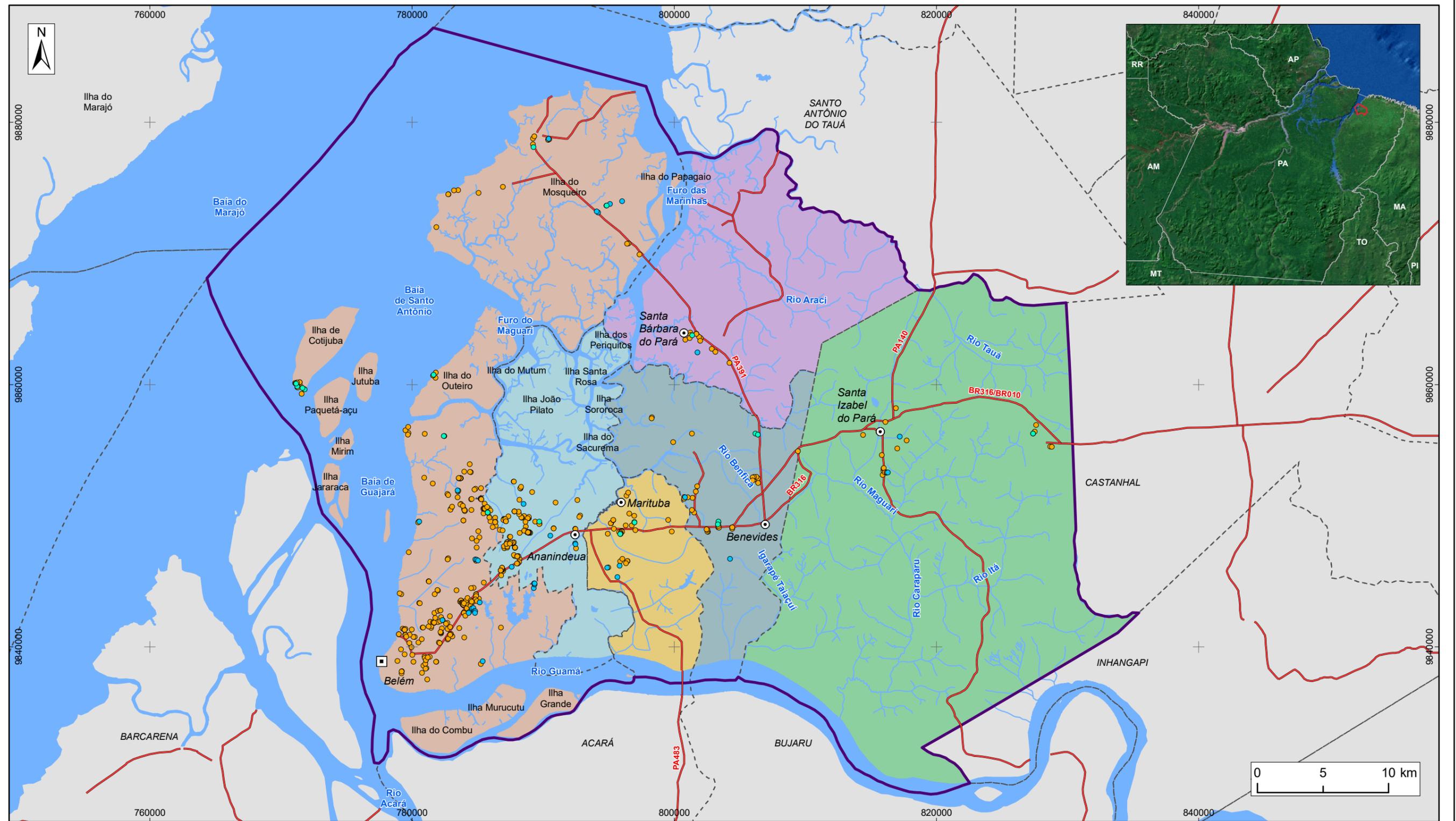


Figura 5 – Percentual e tipo de ponto d'água cadastrado nos municípios da Região de Belém.



LEGENDA

- | | |
|--------------------------|-------------------------|
| ▣ Capital Estadual | ⊕ Área de Estudo |
| ⊙ Sede Municipal | - - - Limite municipal |
| Poços Cadastrados | Município |
| ● Escavado (amazonas) | ■ Ananindeua |
| ● Nascente | ■ Belém |
| ● Tubular | ■ Benevides |
| ~ Hidrografia | ■ Marituba |
| — Rodovia | ■ Santa Bárbara do Pará |
| ☁ Massa d'água | ■ Santa Izabel do Pará |

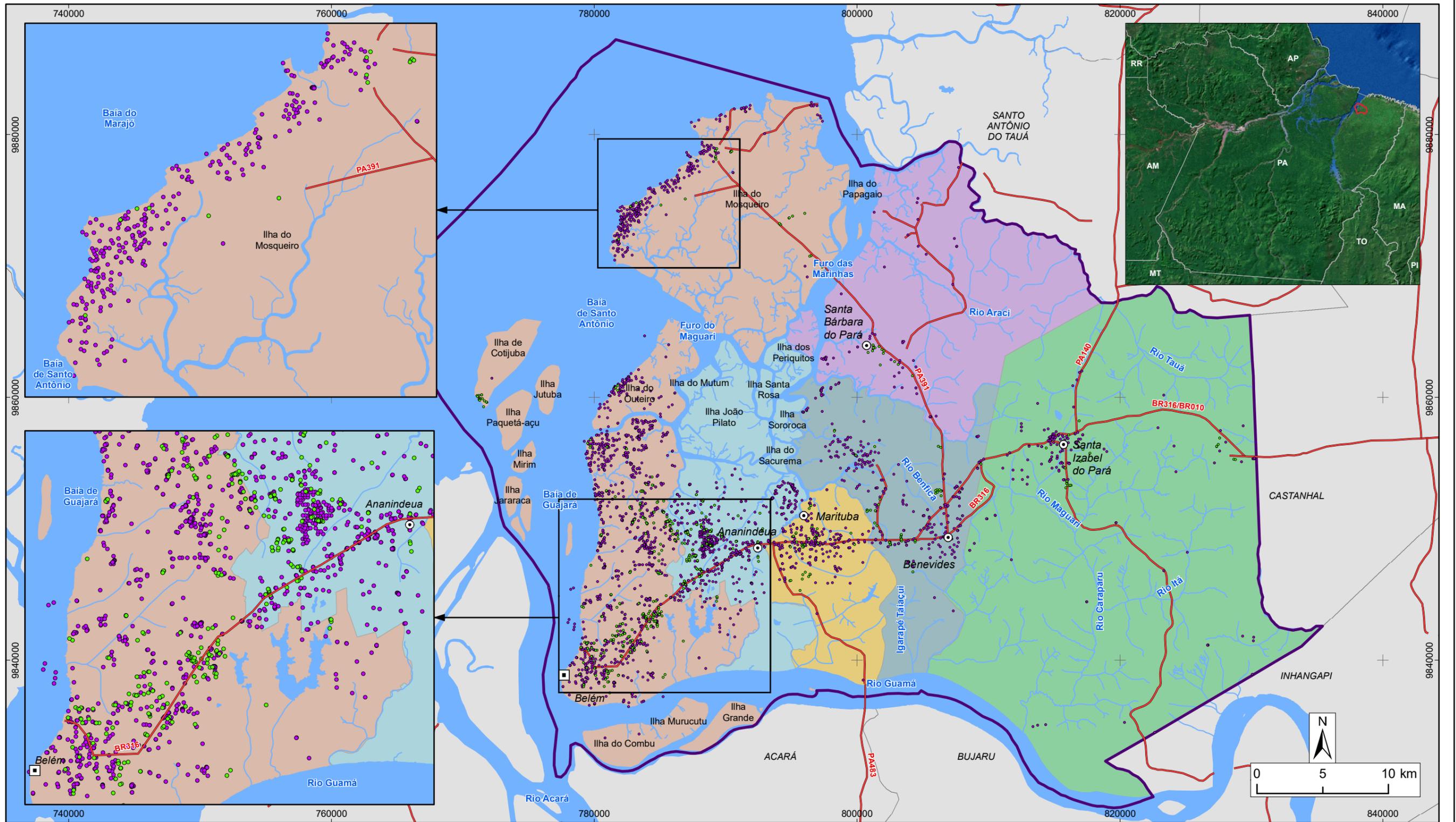
Figura 6 – Mapa da distribuição espacial dos pontos de água inéditos cadastrados nos municípios da Região de Belém



ESTUDOS HIDROGEOLÓGICOS PARA A GESTÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DA REGIÃO DE BELÉM/PA

Fonte: Rodovias: SEMAS/PA. Limites políticos: IBGE, 2010.
Hidrografia: CPRM. Cadastro de Poços: ANA/PROFILL, 2017
Ilhas: adaptado de SEMAS/PA

Sistema de Coordenadas:	UTM
Datum Horizontal:	SIRGAS 2000
Unidade:	Metros
Fiscalização:	ANA
Data:	Junho/2018
Arquivo:	Figura_6_Mapa_Pocos_Ineditos_Cadastrados_A3
Escala:	1:290.000



LEGENDA

- | | |
|--|---|
| <ul style="list-style-type: none"> ▣ Capital Estadual ⊙ Sede Municipal • Poços cadastrados em campo • Poços cadastrados por fontes secundárias ~ Hidrografia — Rodovia ☪ Massa d'água ⊕ Área de Estudo | <p>Município</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ Ananindeua ■ Belém ■ Benevides ■ Marituba ■ Santa Bárbara do Pará ■ Santa Izabel do Pará |
|--|---|

Figura 7 – Compilação de todos os poços levantados



ESTUDOS HIDROGEOLÓGICOS PARA A GESTÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DA REGIÃO DE BELÉM/PA

Fonte: Rodovias: SEMAS/PA. Limites políticos: IBGE, 2010. Hidrografia: CPRM. Ilhas: adaptado de SEMAS/PA Poços cadastrados em campo: PROFILL, 2017. Poços cadastrados por fontes secundárias: SIAGAS; SEMAS/PA

Sistema de Coordenadas:	UTM
Datum Horizontal:	SIRGAS 2000
Unidade:	Metros
Fiscalização:	ANA
Data:	Junho/2018
Arquivo:	Figura_7_Mapa_Pocos_Cadastrados_A3
Escala:	1:290.000

Todos os poços e nascentes cadastrados e respectivas informações coletadas nesta etapa foram sistematizados na forma de um banco de dados no *software* ArcGis, versão 10.3 (*filegeodatabase*), apto a permitir a consulta das informações e a geração de novos mapas e atualização de informações. A compilação de dados de poços, nascentes e informações relativas às licenças de perfuração de poços e outorga de uso de águas subterrâneas, disponibilizados pela SEMAS, além do banco de dados do SIAGAS, fornecido pela CPRM, entre outros bancos de dados fornecidos por outras entidades, como, por exemplo COSANPA, DNPM e prefeituras, além dos dados obtidos no âmbito deste estudo, estão incluídos nesse mesmo banco de dados.

3.1.1 Poços Tubulares e Escavados

Com a finalidade de definir qual o tipo de poço a ser cadastrado em campo, considerou-se as definições:

“Poço tubular – obra de hidrogeologia para acessar um ou mais aquíferos para captação de água subterrânea, executada com sonda perfuratriz mediante perfuração com diâmetro nominal de revestimento mínimo de 101,6 mm (4”), podendo ser parcial ou totalmente revestido em função da geologia local (ABNT NBR 12.212:2006). Os poços tubulares também podem ser popularmente chamados de poços profundos.

Poço escavado – obra de captação de água subterrânea construída manualmente através da escavação, em geral, de grande diâmetro (entre 0,6 e 1,5 m), utilizado para extrair água de aquíferos livres e rasos, com profundidades normalmente inferiores a 30 m (IRITANI & EZAKI, 2009). Os poços escavados são também denominados de cacimba, cisterna e poços rasos, popularmente chamados de amazonas em algumas localidades da região norte do país.

Surgência ou nascente – local de descarga do aquífero em superfície, a partir do qual se forma uma drenagem efluente.”

As atividades de cadastramento encerraram-se com o registro de 478 poços tubulares inéditos ao longo de todos os municípios da Região de Belém (Figura 8). Abaixo são apresentados os dados referentes aos poços cadastrados, bem como a quantidade das informações coletadas.



Figura 8 – Exemplo de poço tubular cadastrado.

No que diz respeito aos poços escavados, ressalta-se que ao longo da etapa de atividades de cadastramento foi observada a existência bastante restrita desse tipo de estrutura na Região de Belém selecionada para cadastramento. Os poços escavados são mais comuns na periferia das cidades. Salienta-se, oportunamente, que a limitação de um número máximo de poços escavados e nascentes ser muito pequeno a procura por essas estruturas não foi priorizada ao longo do cadastro, e que isso influenciou no resultado final. Apenas 20 poços escavados constam no levantamento realizado (Figura 9). Ainda assim, foram cadastrados em todos os municípios pertencentes incluídos no projeto.

O Quadro 3 traz uma síntese quantitativa dos itens de preenchimento das fichas do cadastro de poços. A grande maioria dos poços cadastrados são poços do tipo tubular para os quais vale a maior parte das informações pesquisadas. Entretanto, constatou-se a existência expressiva de poços que abastecem residências cujas características destacam pouca profundidade e aspectos construtivos divergentes daqueles sugeridos pelas normas técnicas convencionais de construção de poços. Assim, esses poços apresentam pouca informação e, em geral, captam água dos aquíferos mais superficiais, com registro quase nulo de controle de qualidade e exploração da água.

Na etapa de cadastramento em campo observou-se que a quantidade de poços “inéditos” com essas características na Região de Belém, é muito expressiva, porém pouco contribuem para o levantamento de informações hidrogeológicas contempladas pelas fichas de cadastramento. Assim, buscou-se concentrar esforços na busca por poços com maior riqueza de dados.



Figura 9 – Poço escavado (amazonas) cadastrado na zona rural de Belém, Distrito de Mosqueiro.

Quadro 3 – Dados levantados das fichas dos poços cadastrados em campo.

Item	Nº	Total	%	Obs.
Dados Gerais	478	478	100	
Dados de Exploração	437	478	91	
Dados de Perfuração	52	478	11	Muitos apenas têm o ano da perfuração
Dados de Aquíferos	6	478	1	Nome do aquífero
Dados do Teste de Vazão	7	478	1	Nº 45 e 47
Dados de Amostras de água	38	478	8	
Tubular	458	478	96	
Escavado	20	478	4	

Poços escavados também são deficitários no que diz respeito a informações técnicas, em geral ou porque são antigos ou mesmo porque as pessoas responsáveis não têm as informações. Observou-se pouca preocupação com a qualidade da água, e que as captações desses poços são sempre dos aquíferos mais rasos.

A partir da compilação dos dados das fichas de poços cadastrados constatou-se que são mais comuns os dados gerais e de exploração, seguidos dos dados de perfuração e de amostras de água. Os dados de aquífero e testes de vazão raramente são obtidos.

A Figura 10 apresenta o comparativo percentual entre a quantidade de poços tubulares e escavados no cadastro de campo realizado.

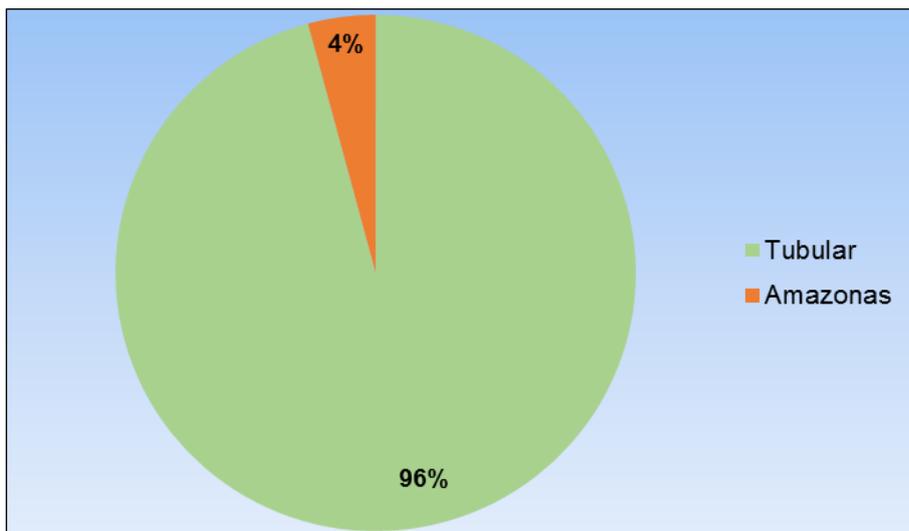


Figura 10 – Natureza dos poços cadastrados em Belém e adjacências.

3.1.2 Nascentes

No total foram cadastradas 38 nascentes em todos os municípios da Região de Belém. Buscando-se respeitar as limitações previstas no plano de trabalho esta etapa de cadastramento de nascentes teve como fator limitador o cadastro de um número que, adicionado aos poços escavados, não passasse de 10% do número total de pontos de água cadastrados (Figura 11).



Figura 11 – Cadastramento de nascente.

O Quadro 4 apresenta os dados referentes às nascentes cadastradas, bem como a quantidade de informações coletadas. Durante o cadastramento observou-se que os seus principais usos são destinados ao lazer, seguidos pelo consumo humano. A preservação das nascentes varia de bem a moderada.

Quadro 4 – Itens contemplados e informações contidas no levantamento das nascentes.

Item	Pontos contemplados	Total	%
Dados Gerais	38	38	100
Bacia Hidrográfica	28	38	74
Tipo Nascente	34	38	89
Fisiografia	25	38	66
Perenidade	36	38	95
Preservação	36	38	95
Solo	27	38	71
Vegetação	35	38	92
Cobertura Vegetal	36	38	95
Uso das águas	33	38	87

3.2 CADASTRAMENTO DE FONTES POTENCIAIS DE POLUIÇÃO

3.2.1 Introdução

O cadastramento das fontes potenciais de poluição teve por objetivo subsidiar o entendimento da distribuição das diferentes atividades potencialmente poluidoras existentes na Região de Belém, além da sua classificação, as quais embasaram a identificação das classes de perigo de contaminação na área. O perigo de contaminação das águas subterrâneas define-se como a probabilidade de um aquífero sofrer impactos negativos decorrentes de determinada atividade antrópica a ponto de se tornar imprópria para consumo, segundo os valores padrão estabelecidos pela Organização Mundial da Saúde (OMS) para a qualidade da água potável (FOSTER *et al.*, 2002).

Foster & Hirata (1993) referem-se à necessidade de se dar maior atenção à carga contaminante no subsolo, gerada por atividades humanas em superfície, observando que mesmo havendo uma grande variedade, somente algumas delas são responsáveis pelo risco máximo de contaminação das águas subterrâneas. Os referidos autores afirmam que as fontes de poluição podem ser de dois tipos: pontual ou difusa, as quais serão melhor detalhadas mais à frente. Entretanto, adianta-se que, em geral, as contaminações pontuais dão origem a concentrações elevadas, localizadas em plumas que podem permanecer estratificadas em um aquífero. As fontes difusas tendem a criar uma estratificação regionalizada. E, as águas superficiais e subterrâneas sofrem com o passar do tempo uma contaminação em proporções crescentes.

Segundo Foster *et al.* (1987) é necessário estabelecer quatro características semi-independentes de carga contaminante para cada atividade:

- A classe de contaminante envolvida
- A intensidade da contaminação
- A forma de disposição no subsolo
- O tempo de aplicação da carga contaminante

Ainda segundo Foster *et al.* (1987), a classe de contaminante envolvida em uma dada atividade pode ser definida por sua tendência à degradação ou transformação *in situ*, resultante da atividade bacteriológica ou reação química; e da sua tendência para o retardamento em relação ao fluxo da água subterrânea, como resultado de processos de troca catiônica, sorção etc.

O modo de disposição do contaminante no subsolo é definido pela carga hidráulica associada, incluindo a infiltração natural da precipitação; e pela superfície em que o efluente é disposto ou onde a lixiviação de resíduos sólidos ocorre. Para o tempo de aplicação da carga contaminante deve-se considerar também o período de aplicação, que pode apresentar uma alta variação de horas a décadas.

Cada uma destas características interage com um diferente componente de vulnerabilidade de contaminação do aquífero, determinando o perigo de contaminação das águas subterrâneas. No caso das indústrias, a dificuldade está em se estabelecer a forma de disposição dos seus efluentes. Em relação às áreas agrícolas e saneamento *in situ*, em solos permeáveis, a dificuldade recai sobre a coleta de amostras de infiltração para análise de lixiviados. Com respeito à classe de contaminante, o retardamento físico e a transformação química de contaminantes orgânicos são citados somente para solos nitidamente férteis, alcalinos e aeróbicos (FOSTER & HIRATA, 1993). Os perfis naturais de solo atenuam vários, mas não todos, poluentes da água. Isso tem sido reconhecido como um sistema potencialmente efetivo para a disposição de excretas humanas e águas residuais domésticas. Os processos de atenuação prosseguem, em menor grau, com o aumento da profundidade, principalmente em locais de sedimentos não consolidados.

De acordo com Meira (2008), na Região Amazônica, devido ao grande volume de água dos corpos hídricos, o lançamento de efluentes para fins de diluição é comum, comprometendo a sua potabilidade ao longo do tempo. Soares (2003) comenta que apesar da periculosidade deste efluente líquido é comum o lançamento destes *in natura* nos corpos d'água, devido ao alto custo de implantação de sistemas de esgotamento sanitário, o que resulta em prejuízos à população e ao meio ambiente.

Segundo Foster *et al.* (1987), a dispersão hidrodinâmica, que acompanha o fluxo das águas subterrâneas, resulta na diluição dos poluentes persistentes e móveis, especialmente, na zona não saturada dos aquíferos. Nos poços em produção haverá mistura e uma diluição mais pronunciada, uma vez que interceptam ou induzem fluxo de água de diversas profundidades e direções, que nem sempre estará poluído. Entretanto, nem todos os perfis de solos, como nem todas as condições hidrogeológicas são, igualmente, efetivos para a atenuação dos poluentes. Também, o grau de atenuação variará amplamente segundo os tipos e disposição dos contaminantes.

O maior problema da poluição das águas subterrâneas está ligado, principalmente, aos aquíferos não confinados, sobretudo em locais onde a zona não saturada

é pouco espessa e o nível freático é raso, como no caso nos sedimentos Tércio-Quaternários das formações Pós-Barreiras e Barreiras. De acordo com as correlações de perfis dos poços cadastrados efetuados por Cabral (2007), o Aquífero Barreiras na área é do tipo raso, livre a semiconfinado. Sua espessura mínima é em torno de 5,0 metros e a máxima de 16 metros, enquanto que o nível estático varia de 1,5 a até 11 metros.

Geralmente, aquíferos mais profundos e confinados estão mais protegidos da poluição a partir da superfície, exceto quando há poluentes persistentes ou longos períodos de tempo envolvidos. Segundo Cabral (2007), grande parcela dos condomínios residenciais em Belém utiliza poços que captam água do Aquífero Barreiras para abastecimento, locados, na maioria das vezes, sem levar em consideração os aspectos hidrogeológicos desse aquífero e as proximidades de fossas sépticas ou de fossas rudimentares. A consequência dessa prática já é evidente, a julgar pelos teores de nitrato e amônio encontrados em água de alguns poços condominiais e residenciais em bairros de Belém, com teores atingindo até a 61 e 12 mg.L⁻¹, respectivamente, ou seja, acima do padrão de potabilidade da Portaria 518 do Ministério da Saúde, norma vigente na época da publicação do estudo.

De acordo com Foster *et al.* (1987), os maiores e mais sérios riscos de contaminação das águas subterrâneas estão relacionados aos sistemas de saneamento sem coleta e tratamento, às atividades agrícolas, à infiltração de águas contaminadas provenientes de rios e a várias atividades industriais, especialmente, aquelas com disposição de efluentes líquidos. Os autores ressaltam ainda que as ameaças mais sérias no tocante à orientação da Organização Mundial da Saúde (OMS), no que se refere à qualidade da água potável, relacionam-se às concentrações de nitratos que se incrementam em grandes proporções e, mais ainda, a episódios cada vez mais frequentes de contaminação causada por hidrocarbonetos halogenados voláteis.

Quanto à hidroquímica, observa-se localmente no Aquífero Barreiras altos valores de ferro, acima de 0,3 mg/L, o que demanda, eventualmente, estações de tratamento. Do ponto de vista sanitário, merece atenção nessas águas a presença de nitrato e de coliformes. Sob certas condições hidrogeológicas, algumas unidades de tratamento de esgoto apresentam riscos de uma migração de bactérias e vírus patogênicos para o interior dos aquíferos e fontes de água subterrânea, sendo responsáveis pela transmissão de agentes patogênicos em surtos de epidemia. Os compostos de nitrogênio nos excrementos não representam um perigo imediato para as águas subterrâneas. Porém, podem causar problemas mais amplos e persistentes.

O uso de fertilizantes, herbicidas e pesticidas nas atividades agrícolas também é outro importante fator de contaminação dos recursos hídricos. Nos países industrializados é mais frequente o uso de fertilizantes inorgânicos, produzidos, industrialmente, enquanto que nos países em desenvolvimento empregam-se geralmente dejetos humanos ou de animais como fertilizantes orgânicos. Dentre os fertilizantes, o principal contaminante é o nitrogênio na forma de nitrato. O nitrato move-se com a água subterrânea e pode atingir extensas áreas. Concentrações superiores aos limites permissíveis para a água potável são encontradas em muitas regiões agrícolas do mundo como, por exemplo, na Inglaterra (FOSTER & CREASE, 1972), Alemanha (GROBA & HAHN, 1972) e Estados Unidos (SPALDING *et al.*, 1978).

De acordo com Gaujous (1993), as principais fontes de poluição dos lençóis subterrâneos na França são nitratos, pesticidas e tóxicos. No caso da poluição por nitratos, as principais causas são poluição doméstica e industrial, agricultura e criação (chiqueiros de porco na Bretanha) e poluição atmosférica. O aumento do teor em nitratos é constatado em toda a França. Os problemas são frequentemente difusos. Os problemas para a saúde são a transformação dos nitratos em nitritos no estômago dos lactentes, o que causa um problema de oxigenação do sangue e um risco cancerígeno (por transformação em nitrosamina).

Sob certas condições, os nitratos desaparecem naturalmente nas águas subterrâneas. É o caso da sequência de calcário ao sul de Lille, onde se observa uma brusca redução dos nitratos quando o aquífero passa sob a cobertura argilo-arenosa. Esta redução se deve a fenômenos bacterianos.

Ainda sobre a presença de nitrato em poços, Souza & Anjos (2004) afirmam:

"[...] Em Belém, os trabalhos desenvolvidos por Anjos *et al.* (2002) no Bairro Guamá avaliou os teores de amônia (NH₃) e nitrato (NO₂) no aquífero livre. Nesta área, uma parcela significativa da população se autoabastece por meio de poços escavados rasos e não conta com sistema de coleta de esgotos, dispondo os efluentes domésticos em valas e fossas negras ou sépticas. Nos 9 poços estudados, o teor mais elevado de amônia (14,46 mg/L) atinge cerca de 700 vezes o máximo estabelecido pela Resolução do CONAMA n. 20 para água Classe Especial que é de 0,02 mg/L". (SOUZA & ANJOS, 2004; pg. 165).

Gaspar & Souza (2000), sobre o Igarapé Mata Fome, localizado ao norte da Região de Belém, confirmam a degradação da qualidade de água do igarapé e também do aquífero freático. As análises da qualidade da água dos poços revelaram valores de até 0,57 mg/L de NH₄, bem acima do padrão de potabilidade (0,06 mg/L). Em termos de NO₃⁻, os valores obtidos chegam a 17,5 mg/L abaixo do padrão de potabilidade (46 mg/L). Os valores de oxigênio dissolvido (OD) denotam ainda um ambiente impróprio à diversas espécies aquáticas, com valores máximos de até 1,3 mg/L.

3.2.2 Método

O cadastramento das fontes potenciais de geração carga contaminante do subsolo dos municípios inseridos neste estudo teve início com a pesquisa de dados secundários disponíveis. Constatou-se certa escassez na disponibilidade desses dados e, portanto, buscou-se, de forma indireta, por cadastros de licenciamentos juntos a SEMAS, às Secretarias de Meio Ambiente dos Municípios e demais órgãos de gestão do território e entidades representativas de alguns setores econômicos e empresas privadas, como a ADEPARÁ, a COSANPA, a Federação de Indústrias do Pará (FIEPA), a Secretaria de Desenvolvimento Agropecuário e da Pesca (SEDAP), a Secretaria Municipal de Saneamento (SESAN), a Agência Reguladora Municipal de Água e Esgoto de Belém (AMAE) e a UFPA.

Com relação aos dados já existentes que se relacionam ao assunto, buscou-se junto à SEMAS dados de outorgas e de licenciamento ambiental de atividades, para buscar aquelas que pudessem atuar como fonte de poluição. O órgão forneceu informações de processos referentes a 1.446 dados de poços outorgados, sendo assim distribuídos: 382 em Ananindeua, 743 em Belém, 129 em Benevides, 94 em Marituba, 40 em Santa Bárbara do Pará e 58 em Santa Izabel do Pará. Os demais processos de licenciamento de atividades dos municípios não estão disponíveis em meio digital, sendo tal levantamento possível apenas *in loco*, através dos processos arquivados nas dependências do próprio órgão. Portanto, foram contempladas nesse relatório as informações fornecidas pelas secretarias do meio ambiente dos municípios, por meio de dados secundários, além do levantamento de campo.

As informações sobre as Estações de Tratamento de Efluentes (ETEs) e sobre os corpos receptores do esgoto doméstico foram obtidas junto ao Atlas Esgotos – Despoluição de Bacias Hidrográficas (ANA, 2017).

Ainda por meio de pesquisas na Internet, gerou-se um banco de dados relativo às atividades potencialmente contaminantes. O processo de georreferenciamento dos locais de interesse valeu-se, ainda, de visitas de campo a fim de identificar possíveis fontes que não contempladas e/ou averiguar as instalações das atividades. Foram visitados pontos de diferentes atividades. As fontes potenciais de contaminação consideradas são:

- Sistemas de saneamento;
- Atividades industriais;
- Curtumes;
- Lixões e aterros sanitários;
- Postos de combustíveis;

- Oficinas mecânicas;
- Cemitérios;
- Lava-jatos;
- Hospitais;
- Áreas rurais (rebanhos, matadouros, criação de animais, uso de fertilizantes/agroquímicos, áreas agrícolas, entre outros).

Essas atividades consideradas como potencialmente contaminantes foram divididas em dois grandes grupos com base no modelo sugerido no Guia do Banco Mundial (FOSTER *et al*, 2002), considerando a distribuição espacial e a maneira como podem provocar as contaminações às águas subterrâneas, em:

- **Fontes Pontuais de Contaminação**: geralmente, produzem plumas claramente definidas e mais concentradas, facilitando sua identificação e, possivelmente, seu controle, caso não sejam pequenas e múltiplas (adquirem nesse caso um exemplo de contaminação difusa). Nesse caso estão contempladas as indústrias, os curtumes, os lixões e aterros sanitários, postos de combustíveis, cemitérios, mineradoras, entre outros. Registra-se o potencial poluidor de poços tubulares sem a devida observação do perímetro de proteção sanitária.
- **Fontes Difusas de Contaminação**: fontes que não geram plumas claramente definidas, porém, afetam uma área/volume muito maior do aquífero, como por exemplo, as áreas urbanas com práticas de saneamento *in situ* e fertilizantes e agroquímicos no solo.

As fontes pontuais de contaminação cadastradas totalizaram 1.584 empreendimentos identificados, dos quais 73 são do cadastro de Grandes Geradores de Resíduos Sólidos, disponibilizados pela SEMMA/Belém (ANEXO I), 250 da pesquisa por atividades desenvolvida neste estudo. (ANEXO II) e 1.261 atividades industriais extraídas do Guia Industrial do Pará (ANEXO III). As fontes difusas de contaminação estão descritas e não foram tabeladas por falta de dados precisos de localização e áreas de abrangência providos dos órgãos consultados.

Após a consistência do cadastro, objetivando-se a diferenciação das fontes, procedeu-se com a classificação das atividades cadastradas em relação ao seu potencial contaminante com base em duas características (FOSTER *et al.*, 2002), conforme sugerido na versão simplificada do sistema *POSH (Pollutant Origin, Surcharge Hydraulically)*:

1. A probabilidade da presença de contaminantes, que, segundo se sabe ou se espera, são persistentes e móveis no subsolo;
2. A existência de uma carga hidráulica associada (sobrecarga) capaz de gerar o transporte advectivo dos contaminantes para os sistemas aquíferos.

A simplificação do sistema *POSH*, segundo Foster *et al.* (2002), adaptado da versão completa do sistema definido por Foster & Hirata (1988), determina a classificação das fontes de contaminação em três níveis qualitativos de “potencial para gerar uma carga contaminante no subsolo”: **reduzido, moderado e elevado**.

Para facilitar a identificação de cada empreendimento foi adotado um código de identificação alfanumérico que sequencia a quantidade de empreendimento de cada atividade (ANEXO I, II e III).

3.2.3 Fontes Pontuais de Contaminação

A caracterização das fontes pontuais de contaminação foi realizada com base no cadastro dos ANEXOS I, II e III, que mostra informações sobre a atividade de atuação; localização (coordenadas UTM) e fonte da informação. Além disso, diversos pontos foram cadastrados em vistoria de campo na Região de Belém (Figura 12). Classificou-se pelo sistema *POSH* cada atividade listada. O Quadro 5 e o

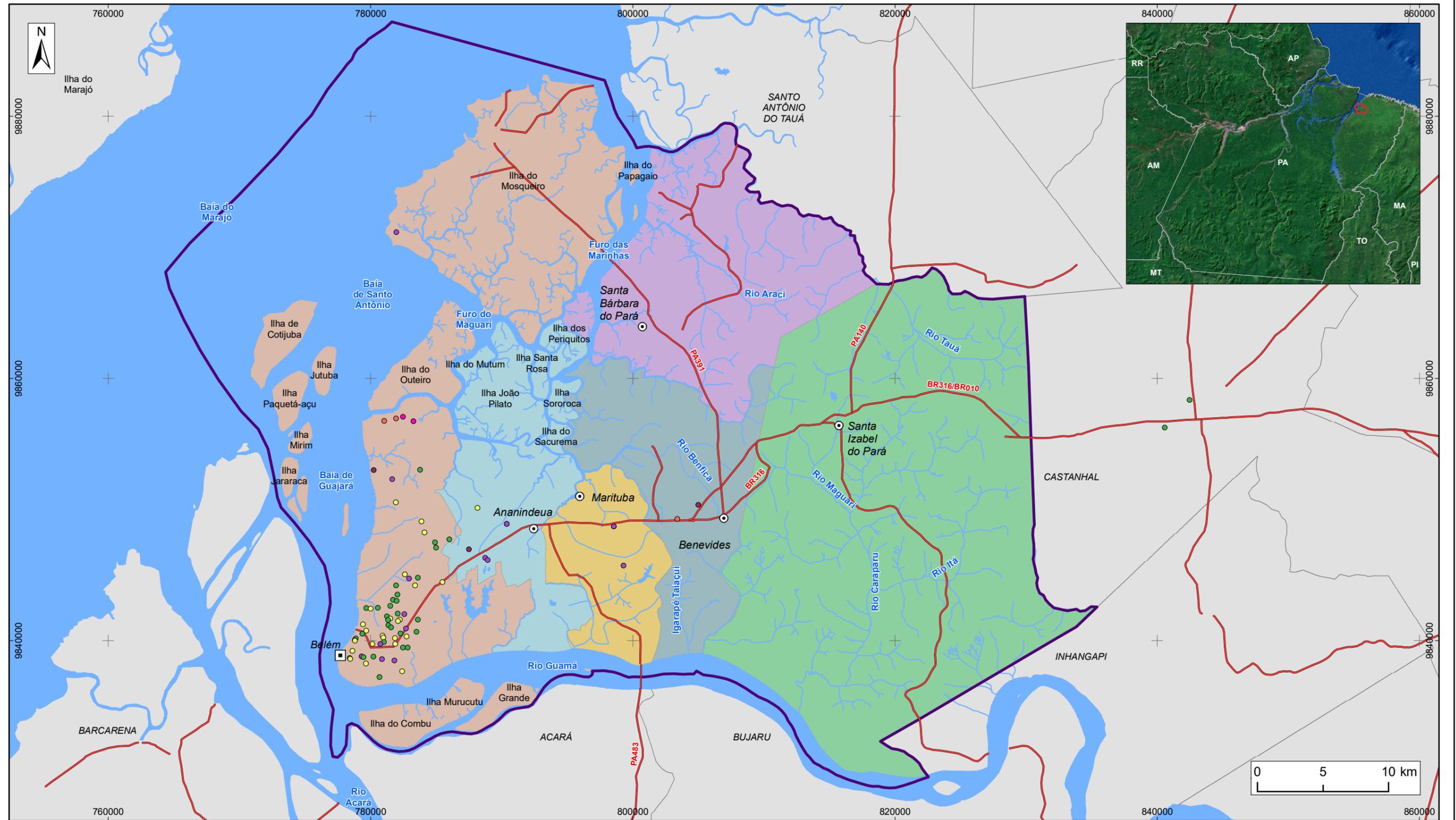
Quadro 6 mostram a classificação das fontes pontuais de contaminação conforme o sistema *POSH*.

Quadro 5 - Fontes de contaminação pontuais segundo o sistema *POSH* (FOSTER *et al.* 2006).

Potencial de gerar carga contaminante no subsolo	FONTES PONTUAIS DE CONTAMINAÇÃO				
	Deposição de Resíduos Sólidos	Indústrias	Lagoas de águas residuais	Mineração	Outras (urbanas)
Elevado	Resíduo industrial tipo 3 ou de origem desconhecida	Tipo 3	Resíduos industriais tipo 3 ou qualquer efluente (exceto residencial) se área <5 há	Operações em campos de petróleo e mineração de metais	
Moderado	Resíduos industriais tipo 1, agroindustriais ou residenciais com pluviosidade <500 mm/ano	Tipo 2	Esgoto residencial se área <5 ha, demais casos não relacionados acima ou abaixo	Algumas atividades de mineração e extração de materiais inertes	Postos de gasolina
Reduzido	Resíduos industriais tipo 1, agroindustriais ou residenciais e pluviosidade > 500 mm/ano.	Tipo 1	Águas residuais residenciais mistas, urbanas, agroindustriais e de mineração não metálicas.		Cemitérios
Indústrias tipo 1: madeireiras, manufaturas de alimentos e bebidas, destilarias de álcool e açúcar, processamento de materiais não metálicos					
Indústrias tipo 2: fábricas de borracha, papel e celulose, fertilizantes, detergentes e sabão, tecidos e usinas elétricas.					
Indústrias tipo 3: oficinas de engenharia, refinarias de gás ou petróleo, fábrica de produtos químicos, farmacêuticos, plásticos, pesticidas, curtumes, indústrias eletrônicas e processamento de metal.					

Quadro 6 - Fontes de contaminação pontuais e classificação *POSH* adaptada.

Atividade	Classificação <i>POSH</i>	Critérios de classificação
Carcinicultura	Moderada	Dimensão dos tanques, ocorrência frequente e localização (normalmente próximas à cursos d'água)
Criação de animais	Reduzida	Mesma classificação de matadouros
Matadouro	Reduzida	Mesma classificação de cemitérios devido à possibilidade de deposição de restos animais
Oficina mecânica	Moderada	Compatibilidade com a atividade e tipo de contaminação dos postos de combustíveis
Unidades de Saúde ¹	Reduzida	Coberturas de rede de esgoto <75% e densidade populacional >50 pessoas/há.
	Moderada	Intermediário entre elevado e reduzido
	Elevada	Cobertura de rede de esgotos >25% e densidade populacional <100 pessoas/ha
Mesma classificação das fontes de contaminação difusas de saneamento <i>in situ</i>.		



LEGENDA

- | | | |
|--|--|---|
| <ul style="list-style-type: none"> ▣ Capital Estadual ⊙ Sede Municipal ~ Hidrografia — Rodovia ☞ Massa d'água ⊕ Área de Estudo | <p>Fontes poluidoras diversas</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Cemitério ● Curtume ● Indústria ● Lava-jato ● Oficina Mecânica ● Matadouro | <p>Município</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ Ananindeua ■ Belém ■ Benevides ■ Marituba ■ Santa Bárbara do Pará ■ Santa Izabel do Pará |
|--|--|---|

Figura 12 – Mapa de localização das fontes de poluição relacionadas a estabelecimentos diversos



ESTUDOS HIDROGEOLÓGICOS PARA A GESTÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DA REGIÃO DE BELÉM/PA

Fonte: Rodovias: SEMAS/PA. Limites políticos: IBGE, 2010. Hidrografia: CPRM. Ilhas: adaptado de SEMAS/PA. Fontes poluidoras: PROFILL, 2017

Sistema de Coordenadas:	UTM
Datum Horizontal:	SIRGAS 2000
Unidade:	Metros
Fiscalização:	ANA
Data:	Junho/2018
Arquivo:	Figura_12_Mapa_Fontes_Pontuais_Diversas_A3
Escala:	1:290.000

3.2.3.1 Atividades Industriais

No que se refere ao gerenciamento de áreas contaminadas pode-se considerar como primeira iniciativa, no Brasil, o Decreto-Lei nº 1.413, de 1975, que dispõe sobre o controle da poluição do meio ambiente provocada por atividades industriais.

Conforme o *Guia de Gerenciamento de Áreas Contaminadas* (MORAES *et al.*, 2014), a avaliação de risco à saúde humana para áreas contaminadas está vinculada aos processos produtivos industriais; estocagem, transformação e processamento de produtos e matérias-primas; extração e beneficiamento de minerais; disposição de resíduos; ou qualquer outra atividade humana que possa gerar impactos ambientais em diferentes compartimentos do meio físico (solo e/ou água superficial e subsuperficial).

A identificação dessas atividades é realizada por meio do reconhecimento espacial onde se concentram, e serve de base para determinar quais compartimentos do meio físico podem ser impactados e como as substâncias químicas de interesse chegam aos receptores potencialmente expostos. Portanto, devido ao volume, concentração e variedade de produtos químicos utilizados, as indústrias são consideradas importantes locais de contaminação superficial e subsuperficial, destacando-se os compostos organoclorados, metais pesados e hidrocarbonetos de petróleo, por serem as ocorrências mais frequentes.

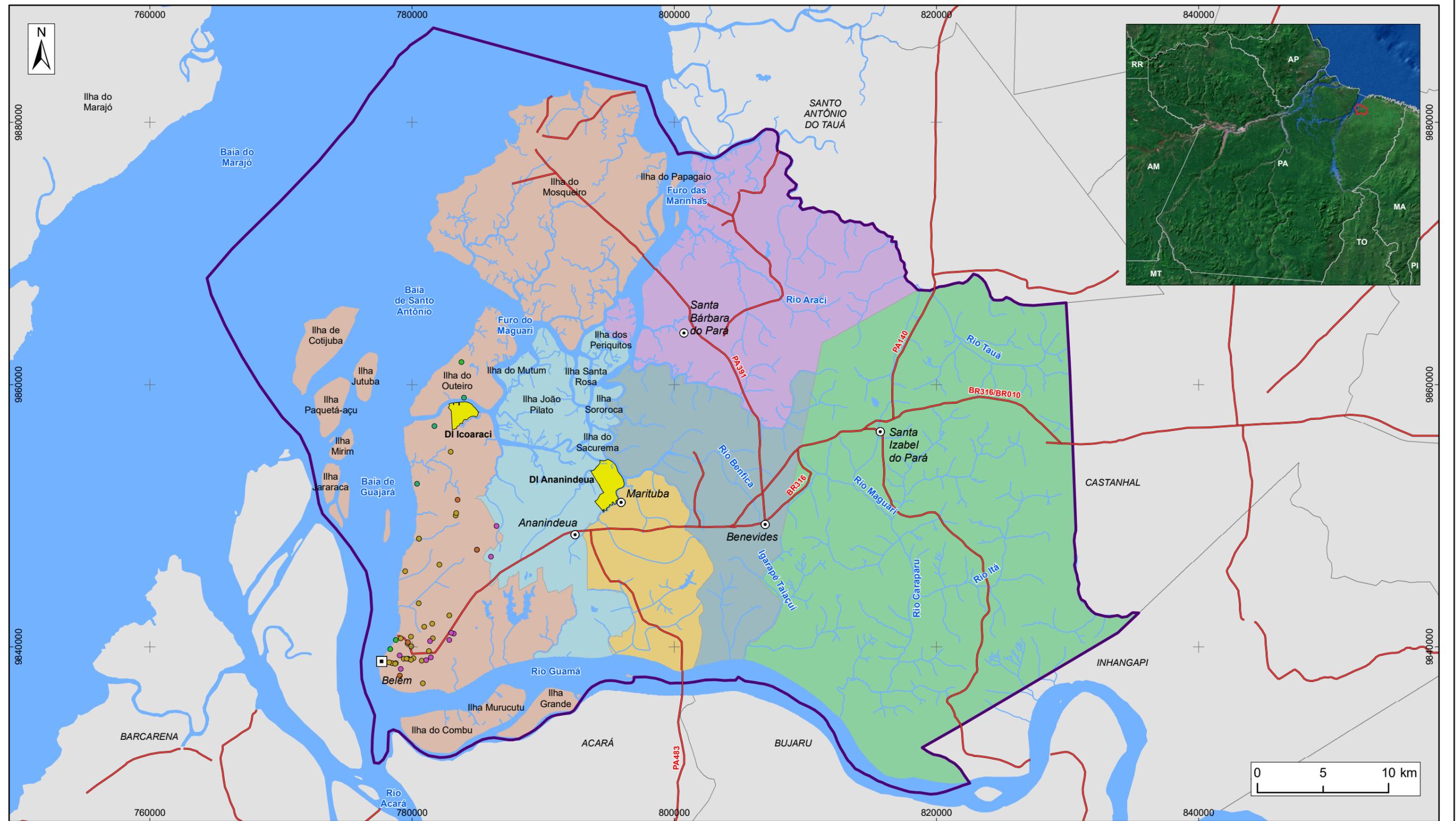
Na Região de Belém, destaca-se o Distrito Industrial de Ananindeua, com mais de 100 empresas instaladas em uma área de 457 hectares e possuidora do 3º maior PIB do Estado do Pará (IBGE, 2013), tornando-se estrategicamente importante para o desenvolvimento econômico e social da região, segundo a Companhia de Desenvolvimento Econômico do Pará (CODEC). Há também, o Distrito Industrial de Icoaraci, cuja área de 205 hectares abrange 48 empresas. Icoaraci é um dos 8 distritos em que se divide o Município de Belém e dista aproximadamente 20 km do centro da capital.

Destaca-se ainda, o Terminal Portuário de Outeiro, localizado na Ponta do Redentor, na Ilha de Caratateua, gerida pela Companhia Docas do Pará. Possui pátios de armazenagem para operação com granéis sólidos e carga em geral. Já o Terminal de Miramar, localizado na Avenida Arthur Bernardes, em Belém, é especializado em derivados de petróleo, álcool hidratado, soda cáustica, gás liquefeito e demais granéis líquidos inflamáveis. Seu território é constituído de duas áreas operacionais, sendo uma primária onde estão instalados os píeres, rampa e prédios administrativos da CDP e outra secundária (retroporto) onde se encontram diversas companhias distribuidoras de combustíveis

abastecidas, através de tubovias que nascem nos píeres e se interligam posteriormente. Esse terminal é estratégico, pois movimenta todo o combustível consumido no Estado do Pará, por onde chega todo o gás liquefeito, a gasolina, o álcool, o querosene, o óleo diesel, para serem distribuídos nas regiões de influência. O Porto de Belém só possui geração de efluentes oleosos no Terminal Miramar. Este efluente é direcionado, por meio de drenagem oleosa segregada, a um tanque de acúmulo, posteriormente retirado por empresa terceirizada.

Segundo o Manual de Boas Práticas (FREITAS, 2014), o Porto de Belém possui uma área total de aproximadamente 160 mil m² e está localizado na margem direita da Baía de Guajará, formada pelos rios Moju, Guamá, Acará e Pará; o Terminal de Miramar também se localiza na margem direita da mesma baía. A origem da água pluvial potencialmente contaminada no porto ocorre em função das principais cargas movimentadas serem, notadamente, grânéis sólidos, como o trigo. Nas áreas mais críticas, há possibilidade de escoamento superficial via rede de drenagem para a Baía do Guajará. Um dos principais desafios enfrentados pelo porto está relacionado aos efluentes sanitários, já que estes são direcionados a fossas sépticas, também conhecidas como tanques sépticos, com posterior destinação, em alguns locais, ao corpo hídrico. Além disso, há lançamento de água pluvial potencialmente contaminada e sem tratamento, no mesmo corpo. Em relação aos efluentes oleosos, estes são acumulados e destinados a uma empresa, quando o ideal seria tratá-los *in loco*.

A classificação *POSH* para as atividades industriais analisa o tipo de indústria, conforme mostra o Quadro 5. O resultado desta classificação pode ser observado no ANEXO III, onde estão elencadas todas as 1.377 indústrias cadastradas neste estudo juntamente com seu potencial de gerar carga contaminante no subsolo. Adicionalmente, o levantamento das indústrias dos municípios de interesse partiu de cadastros dos Grandes Geradores de Resíduos Sólidos (GGRS) com 73 registros no banco de dados da SEMMA/Belém (ANEXO I) e do CNAE 2.0 (Classificação Nacional de Atividades Econômicas do IBGE) (Figura 13).



LEGENDA

- | | | |
|---|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"> ▣ Capital Estadual ⊙ Sede Municipal ~ Hidrografia — Rodovia ☞ Massa d'água ⊕ Área de Estudo ■ Distrito industrial | <p>Município</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ Ananindeua ■ Belém ■ Benevides ■ Marituba ■ Santa Bárbara do Pará ■ Santa Izabel do Pará | <p>Grandes Geradores de Resíduos Sólidos</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Administração da Infraestrutura Portuária ● Comercial ● Construção Civil ● Hotel ● Industrial ● Não Especificado ● Outros |
|---|---|---|

Figura 13 – Mapa de localização dos grandes geradores de resíduos sólidos



ESTUDOS HIDROGEOLÓGICOS PARA A GESTÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DA REGIÃO DE BELÉM/PA

Fonte: Rodovias: SEMA/PA
 Limites políticos: IBGE. Hidrografia: CPRM
 Grandes Geradores de Resíduos Sólidos: SEMMA, Belém

Sistema de Coordenadas:	UTM
Datum Horizontal:	SIRGAS 2000
Unidade:	Metros
Fiscalização:	ANA
Data:	Junho/2018
Arquivo:	Figura_13_Mapa_GGRS_A3
Escala:	1:290.000

A Classificação Nacional de Atividades Econômicas (CNAE 2.0) aponta um total de 3.030 estabelecimentos nas cidades alvo do estudo, distribuídos da seguinte forma: em Belém há 2.016 estabelecimentos; em Ananindeua, 658; em Marituba, 135; em Benevides, 118; em Santa Izabel do Pará, 74; e em Santa Bárbara do Pará, 29.

Segundo consulta ao Guia Industrial do Pará, publicado no ano de 2013, esse número é levemente maior, com 3.228 estabelecimentos. Todavia, esse levantamento considera toda a Mesorregião Metropolitana de Belém, com os municípios de toda a RMB. Logo, a RMB caracteriza-se por deter quase metade das empresas instaladas no Estado, como mostra a Figura 14. Belém, Ananindeua e Benevides são as quais detêm os maiores índices desse total de atividades.

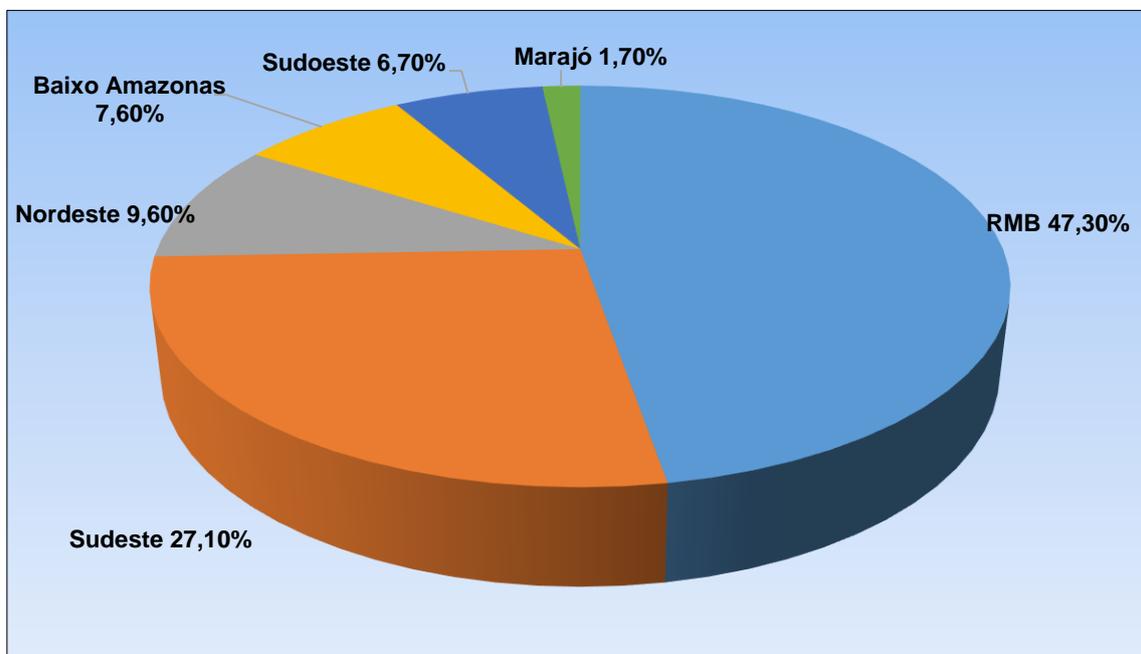


Figura 14 - Estrutura empresarial do Estado do Pará, na qual a RMB detém a maior concentração de atividades (Fonte: GUIA INDUSTRIAL DO PARÁ, 2013).

As indústrias de transformação e o setor de construção são as que lideram em termos quantitativos, como mostra a Figura 15. É importante ressaltar a possível obsolescência de algumas informações contidas no material, em virtude das rápidas transformações no setor empresarial do país.

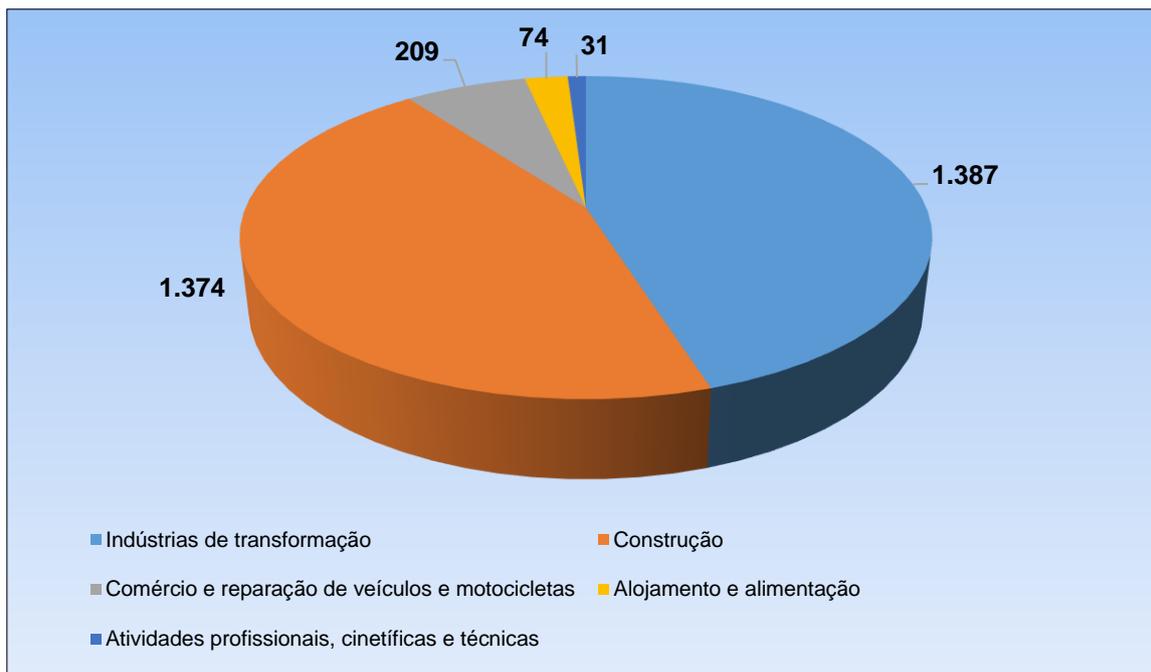
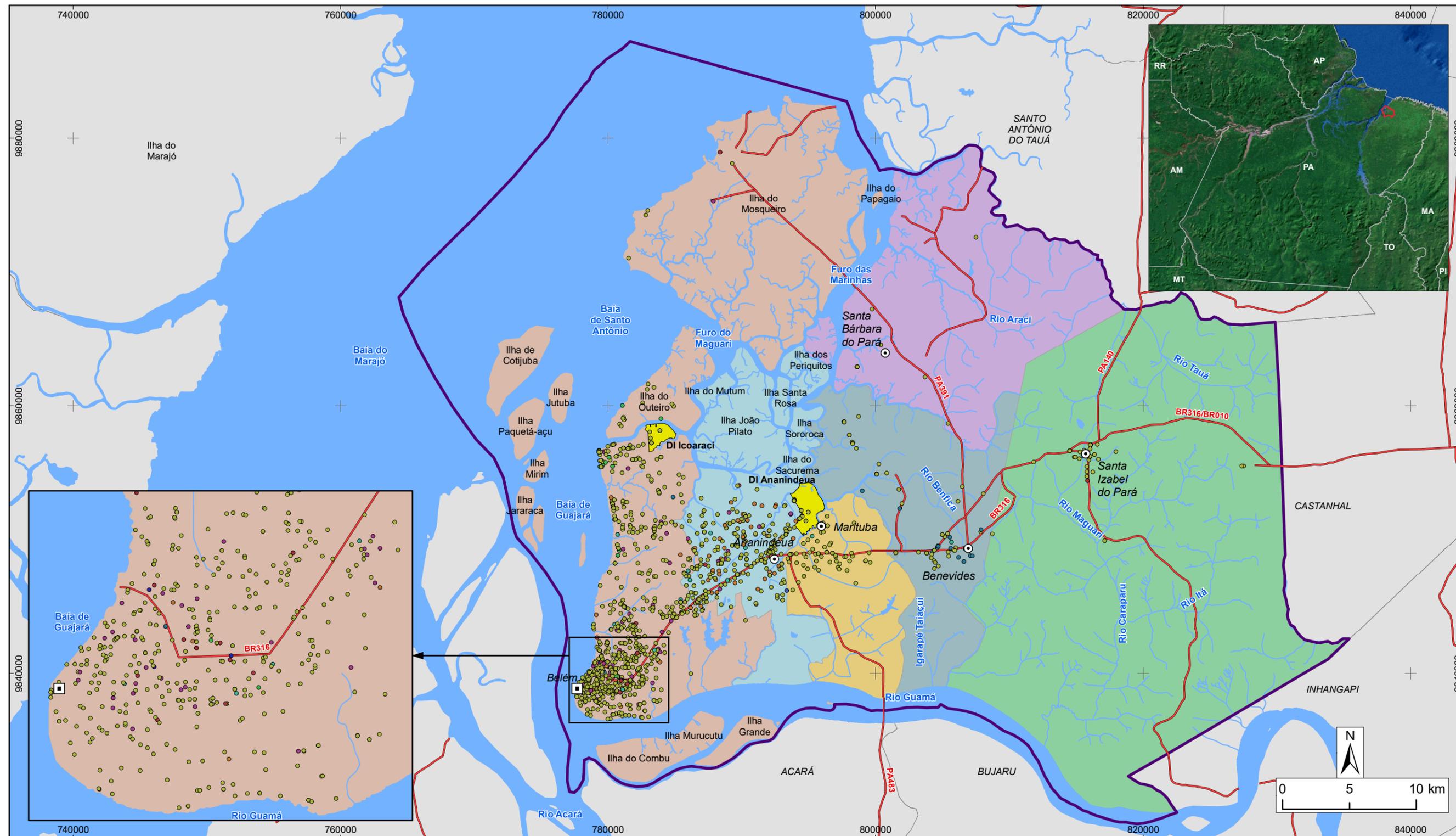


Figura 15 - Principais atividades da RMB são as indústrias de transformação e o setor de Construção (Fonte: GUIA INDUSTRIAL DO PARÁ, 2013).

Grande parte das cargas contaminantes associadas às atividades listadas no Guia Industrial não foram classificadas pelo sistema *POSH* devido à falta de informações específicas disponibilizadas, como, por exemplo, o ramo exato de atividade e dimensão do empreendimento, haja vista que poderia resultar em dados não confiáveis. Adicionalmente, não há indicação clara do local de realização da atividade, podendo ser o endereço indicado tanto o escritório da sede comercial ou de armazenamento de carga contaminante, não sendo possível, assim, identificar com segurança um ponto georreferenciável de potencial poluidor. No item “Comércio” do Guia, por exemplo, optou-se por utilizar apenas comércios atacadistas nas atividades compreendidas como potenciais poluidores.

A Figura 16 mostra o mapa de localização das fontes pontuais de poluição relacionadas às atividades industriais na Região de Belém.



LEGENDA

- | | |
|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"> ▣ Capital Estadual ⊙ Sede Municipal ~ Hidrografia — Rodovia ☞ Massa d'água ⊕ Área de Estudo ■ Distrito industrial | <p>Município</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ Ananindeua ■ Belém ■ Benevides ■ Marituba ■ Santa Bárbara do Pará ■ Santa Izabel do Pará <p>Indústrias cadastradas no Guia da FIEPA</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Agricultura, Pecuária, Produção Florestal, Pesca e Aqüicultura ● Alojamento e Alimentação ● Comércio e Reparação de Veículos Automotores e Motocicletas ● Construção ● Eletricidade e Gás ● Indústria Extrativista ● Indústria de Transformação ● Transporte, Armazenagem e Correio ● Água, Esgoto, Atividades de Gestão de Resíduos e Descontaminação |
|---|--|

Figura 16 – Mapa de localização das fontes pontuais de poluição relacionadas a atividades industriais

 ANA AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS	ESTUDOS HIDROGEOLÓGICOS PARA A GESTÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DA REGIÃO DE BELÉM/PA	Sistema de Coordenadas: UTM Datum Horizontal: SIRGAS 2000 Unidade: Metros Fiscalização: ANA Data: Junho/2018 Arquivo: Figura_16_Mapa_Industria_A3
	Fonte: Rodovias: SEMAS/PA. Limites políticos: IBGE, 2010. Hidrografia: CPRM. Ilhas: adaptado de SEMAS/PA. Cadastro de indústrias: FIEPA, 2013.	
		Escala: 1:290.000

3.2.3.2 Curtumes

Segundo Aquim *et al.* (2004), os processos de um curtume são classificados da seguinte forma:

- Bater sal: serve para diminuir a concentração de cloretos nos efluentes de curtumes, que recebem a pele conservada com sal;
- Pré-remolho: a pele é colocada em fulão com água para retirar parte das sujidades, do sal e sofrer uma leve hidratação;
- Pré-descarne: realizado em máquina descarnadeira que tem por objetivo uma prévia eliminação dos materiais aderidos ao carnal, como o tecido adiposo;
- Remolho: processo de limpeza e reidratação das peles; interrompe a conservação da pele e retorna-a, o máximo possível, ao estado de pele fresca; extrai as proteínas globulares; retira os produtos químicos adicionados durante a conservação; extrai materiais (como sangue, sujeiras e esterco);
- Depilação/Caleiro: serve para retirar o pelo ou a lã da pele, remover a epiderme, intumescer e separar as fibras e fibrilas do colágeno, continuar o desengraxe que tem início no remolho e modificar as moléculas de colágeno, transformando alguns grupos reativos e algumas ligações entre as fibras;
- Descarne: tem por objetivo eliminar os materiais aderidos ao carnal (tecido subcutâneo e adiposo). Sua finalidade é facilitar a penetração dos produtos químicos aplicados em etapas posteriores;
- Divisão: divisão em duas camadas: a camada superior (flor) e a inferior (raspa);
- Desencalagem: remove substâncias alcalinas depositadas ou quimicamente combinadas à pele. São utilizados agentes que reagem com a cal, dando origem a produtos de grande solubilidade, facilmente, removíveis por lavagem. Consegue-se assim reverter o inchamento da pele já desprovida de pelo (BARROS *et al.*, 2001);
- Purga: age sobre as peles retirando materiais queratinosos degradados, desdobrando gorduras em ácidos graxos e glicerol e decompondo fibroblastos. Na purga, enzimas proteolíticas limpam a pele dos restos de epiderme, pêlo e gordura, originando uma flor mais fina e sedosa;
- Píquel: tem por objetivo preparar as fibras colágenas para uma fácil penetração do curtente cromo. Para tal, o píquel deve acidificar a pele;

- Curtimento: nesta etapa, ocorre o aumento da estabilidade de todo o sistema do colágeno, diminui a capacidade de intumescimento do mesmo, aumenta a temperatura de retração e o couro é estabilizado face às enzimas e aos microrganismos. Devido à grande variedade de couros, são muitos os tipos possíveis de curtimento existentes, sendo o mais utilizado o curtimento ao cromo;

- Enxugamento e rebaixamento: é uma etapa mecânica que elimina o excesso de água para facilitar o rebaixamento do couro. No rebaixamento, o couro passa por uma máquina que uniformiza a espessura do couro, esta etapa é conhecida por gerar uma elevada quantidade de resíduo sólido (farelo de wet-blue);

- Acabamento: lavagem ácida (em couros curtidos com sais de cromo) para eliminação de depósitos de sais curtentes presentes na superfície; neutralização para ajustar o pH do couro e abrandar a sua carga catiônica; recurtimento para proporcionar maciez, elasticidade, enchimento e algumas características da flor, como toque, tamanho do poro da flor, etc; tingimento para melhorar o aspecto conferindo cor aos couros; engraxe para conferir resistência à tração e a impermeabilidade, maciez, flexibilidade, toque e elasticidade do couro.

- Secagem e pré-acabamento: são realizadas etapas que envolvem a eliminação de água por ação mecânica e secagem, assim como etapas de pré-acabamento: Máquina de enxugar e estirar: visa abrir e alisar o couro e eliminar o excesso de água; Secagem: existem diferentes sistemas, cada com suas particularidades e vantagens, como ganho de área, maciez, lisura de flor e etc.;

- Condicionamento: reposição de água, visando à execução do trabalho mecânico de amaciamento sem afetar as fibras do couro;

- Secagem final estirada: realizada após o amaciamento dos couros;

- Lixamento: atenuação de defeitos ou a diminuição do tamanho dos poros;

- Máquina de desempoar: eliminação do pó;

- Acabamento: são aplicadas composições de produtos sobre a flor do couro, com a finalidade de melhorar o aspecto e como proteção para o couro.

Em média 30.000 litros de água são empregados por tonelada de peles salgadas, as quais após processadas geram 250 kg de couro curtido, estabelecendo-se dessa forma uma relação média de volume de água, peles salgadas e couros produzidos de 108:4:1, respectivamente.

Conforme Batista & Alovisei (2010), os efluentes de curtume contêm consideráveis cargas orgânicas e inorgânicas, como ácidos, fenóis, sulfatos, sulfetos e, principalmente, elementos tóxicos como o cromo, o qual é utilizado durante o processo de curtimento.

Segundo Godecke *et al.* (2012), o processo de curtimento do couro requer diversos processos mecânicos e químicos de tratamento que, em condições de baixa eficiência, resultam em grandes quantidades de efluentes com altas concentrações de matéria orgânica, e variados produtos químicos tóxicos, como cromo, arsênio, cádmio, cobalto, chumbo, níquel, selênio, etc. Os lodos de curtume são constituídos de materiais orgânicos de origem animal misturados com sais inorgânicos, e alguns desses componentes são nutrientes (nitrogênio, cálcio, enxofre, fósforo, magnésio e potássio) para plantas e microrganismos (SELBACH *et al.*, 1991).

Duas visitas técnicas foram realizadas em dois curtumes no Bairro Maracacuera, no Distrito Industrial de Icoaraci, no Curtume Ideal (Figura 17, Figura 18, Figura 19 e Figura 20) e no Curtume Couro do Norte (Figura 21 e Figura 22).

Em ambos os curtumes visitados existem poços tubulares de captação de água subterrânea, sendo que no Curtume Ideal, o Poço “Bomba P1”, nomenclatura utilizada pelo próprio empreendimento, encontrava-se sem tampa de proteção. Os usos da água desses poços são regularizados pelas outorgas de direito de uso emitidas pela SEMAS (Processo 20.727, para o Curtume Ideal; e Processos 4.943, para o poço do Curtume Couro do Norte).



Figura 17 - Visita ao Curtume Ideal, distrito industrial de Icoaraci.



Figura 18 - Poço “P1” de água do Curtume Ideal.



Figura 19 - Detalhe da situação do poço (Bomba P-1) do Curtume Ideal. Sem tampa de proteção.



Figura 20 - Igarapé com vegetação densa, Curtume Ideal.



Figura 21 - Vista dos galpões do Curtume Couro do Norte, distrito industrial de Icoaraci.



Figura 22 - Destino dos efluentes tratados do Curtume Couro do Norte.

Pinheiro (2005) utilizou como exemplo o Curtume Couro do Norte na investigação com geofísica rasa e uso de GPR sobre a possibilidade de contaminação do subsolo por líquidos usados no tratamento de couros. Como conclusão, o autor sugeriu a existência de uma pluma de contaminação rasa na área do estudo, possivelmente derivadas dos efluentes gerados pelo curtume em questão.

Durante algum tempo os efluentes tratados do Curtume Couro do Norte foram drenados por meio de uma vala até o igarapé existente nos fundos do curtume, assim descrito em Nunes & Luiz (2006) e cujo nome não foi identificado. Atualmente, a drenagem ocorre através de uma tubulação enterrada. Resíduos de graxa foram observados no solo. No Curtume Ideal, os efluentes tratados também são drenados por meio de tubulação enterrada

até o Igarapé Taboquinha localizado junto aos limites do empreendimento. Ambos os igarapés mencionados são afluentes do Furo Maguari.

Em campo, verificou-se que os dois curtumes contam com lagoas de estabilização dos efluentes, conforme ilustrado na Figura 23, na Figura 24 e na Figura 25. As lagoas de estabilização são utilizadas no armazenamento, tratamento, evaporação, sedimentação e oxidação de efluentes líquidos provenientes de águas residuais urbanas, da mineração e das indústrias. Em geral, são lagoas rasas (menos de 5 m de profundidade), e o tempo de retenção dos efluentes varia de 1 a 100 dias. Para a classificação do sistema *POSH*, leva-se em consideração o tipo de atividade que gera a água residual e área ocupada por cada lagoa.

Quadro 7 – Características das lagoas de efluentes dos curtumes Ideal e Couro do Norte.

Nome	Tipo de tratamento predominante	Corpo receptor	Coordenadas	
			X	Y
CURTUME IDEAL	Lagoa de Estabilização	Igarapé local	-1.294593	-48.454346
CURTUME COURO DO NORTE	Lagoa de Estabilização	Igarapé local	-1.292343	-48.461489



Figura 23 - Estação de Tratamento de Efluentes do Curtume Ideal. São tratados efluentes de operação de caleiro, efluentes de operação de cromo e efluentes gerais.



Figura 24 - Medidor de vazão, calha Parshall, do Curtume Couro do Norte.



Figura 25 - Parte do Sistema da Estação de Tratamento de Efluentes, do Curtume Couro do Norte.

3.2.3.3 Lixões e Aterros Sanitários

O levantamento de informações relacionadas aos lixões e aterros sanitários localizados na área de estudo deu-se por meio de visitas de campo. As informações levantadas são apresentadas no Quadro 8 e a sua distribuição espacial pode ser visualizada na Figura 39.

Quadro 8 - Lixões e aterros localizados na área de estudo.

Nome da Área	Município	Ano início Operação	Coordenadas		Área (Ha)
			X	Y	
Aterro sanitário de Marituba	Marituba	2015	-1.397324	-48.336902	100
Lixão do Aurá	Ananindeua	1987/2015	-1.422386	-48.388458	130
Lixão Municipal	Benevides (Bairro das Flores)	*	-1.376039	-48.245548	*
Lixão Municipal	Santa Izabel do Pará	*	-1.383008	-48.179831	*
Lixão Municipal	Santa Bárbara (Estrada do Caiçua, km 3)	*	-1,242305	-48,319247	*

O aterro sanitário do Aurá, também conhecido como “Lixão do Aurá”, foi fundado em 1987 e desativado em 2015, por conta da Lei nº 12.305/2010, que instituiu a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS). Localizado no bairro Águas Lindas, em Ananindeua, o lixão ocupa uma área de aproximadamente 130 ha e é constituído de 11 células de deposição de lixo.

Segundo Araujo *et al.* (2010), o “lixão do Aurá” recebia resíduos de Belém, Ananindeua e Marituba, onde eram depositados, diariamente, cerca de 1.700 toneladas de lixo, incluindo: domiciliar, comercial, industrial, podas de árvores, animais mortos, objetos volumosos, etc. Em relação ao material hospitalar, não havia qualquer tipo de fiscalização que impedisse que esses materiais fossem depositados no aterro. Segundo Araújo *et al.* (2010), não só um problema ambiental, o “lixão do Aurá” se tornou também um problema social: se tornou a maior fonte de renda para as pessoas que trabalham e moram em volta do aterro, ao mesmo tempo em que as expunha a péssimas condições de trabalho. De acordo com Furtado (2014), o estabelecimento possuía várias desconformidades técnicas, em relação às características da área em termos de localização e instalação atual: nível d’água próximo à superfície ou na superfície; presença de solo “mole” (*grifo nosso*) (argilas moles ou areias argilosas fofas de deposição recente), presença de área de várzea, entre outros.

Morales (2002) observou uma drástica modificação nas propriedades geofísicas de subsuperfície. Sondagens de elétricas verticais (SEVs) realizadas na área antes de tornar-se um lixão (1991), comparadas às realizadas no ano de 1998, mostram reduções de até 80 vezes da resistividade, o que evidencia, segundo o autor que o lençol freático está sendo atingido, pela infiltração e deslocamento do chorume tanto vertical como horizontalmente, facilitado pela presença de camadas arenosas na área onde estão depositados os resíduos sólidos.

O chorume com toda sua carga orgânica e bacteriológica, metais pesados e outros poluentes escoam na direção do Rio Guamá através dos Igarapés Jaruca, Santana de Aurá e Santo Antônio, sob a ação do fluxo e refluxo da maré que penetra na área de depósito do lixo. É provável que atualmente os valores dos parâmetros traçadores de chorume descritos por Morales (2002) apresentem concentrações superiores, visto que as condições de infraestrutura do aterro estão mais críticas e nenhuma medida de mitigação e recuperação da área foi implantada (MATOS *et al.*, 2011).

O aterro sanitário de Marituba entrou em operação em 2015 em substituição ao lixão do Aurá e recebe, diariamente, o lixo de Marituba, Belém e Ananindeua. O aterro reúne uma série de processos devido ao descumprimento às normas legais e regulamentares de deposição e armazenamento de resíduos sólidos, deixando-os descobertos, expostos, causando poluição atmosférica, com emissão de odores e gases.

A SEMAS solicitou a regularização do aterro, com algumas das seguintes medidas: instalação de sistema de drenagem pluvial definitivo; cobertura definitiva dos

resíduos expostos; cobertura da lagoa de chorume que está descoberta; tecnologia destinada a amenizar o odor; plano de investigação ambiental para constatar possíveis irregularidades, como contaminação de solo ou corpo hídrico, dentre outros. No dia 21 de março de 2017 houve uma tentativa de visita técnica na área. Contudo, devido a notificação da SEMAS e frequentes protestos da população o acesso ao empreendimento não foi permitido.

Nos municípios da região de Belém, é comum o despejo irregular de lixo nas ruas e nas margens dos canais que atravessam as cidades, conforme pode ser observado na Figura 26, na Figura 27, na Figura 28, na Figura 29, na Figura 30 e na Figura 31. O material acumulado sobre o solo produz chorume, assoreamento e possíveis alagamentos junto aos canais e bueiros. Em Belém, embora a SESAN ofereça serviços de coleta de entulhos, desobstrução de canais, pontos de entrega voluntária de resíduos e programas de educação ambiental, é notória a necessidade de ampliarem-se esses serviços para a população. A Figura 32 exhibe o Centro Municipal de Triagem de Materiais Recicláveis de Belém.



Figura 26 - Descarte irregular de lixo na avenida Gal. Teodoro/Av Eng Fernando Guilhon, Belém.



Figura 27 - Descarte irregular na Travessa Perebebuí, Belém.



Figura 28 - Descarte irregular na Rua do Canal Água de Cristal.



Figura 29 - Descarte irregular na Vila da Barca (Belém), onde é comum a presença de animais.



Figura 30 - Aglomerado de lixo na Rua Dr Assis X Av. Almirante Tamandaré.



Figura 31 - Moradora a descartar lixo na Av. Bernardo Sayão, Belém.



Figura 32 - Centro Municipal de Triagem de Materiais Recicláveis/Passagem Sol Nasce para Todos/Belém.

Segundo Morales (2002) a poluição das águas pela disposição inadequada de resíduos sólidos pode ser física, química e biológica, sendo que as principais alterações físicas são relacionadas ao aumento da turbidez e variações de gradientes de temperatura. A poluição biológica caracteriza-se pelo aumento de coliformes totais e fecais, já a poluição química reduz drasticamente o nível de oxigênio e aumenta a DBO (Demanda Bioquímica de Oxigênio). Outras propriedades químicas da água como a dureza, a condutividade e o pH podem ser alterados e tornar o sistema aquático impróprio para o uso humano.

Nos locais de deposição de resíduos sólidos, há uma grande variedade de contaminantes potenciais. Destacam-se o nitrato, metais pesados e fases oleosas leves, além de organismos patogênicos. Assim, é importante conhecer a origem do material despejado nos terrenos para subsidiar a caracterização da carga contaminante. Faz-se necessário considerar, ainda a geração de uma sobrecarga hidráulica, relacionada, especialmente, às chuvas da região de Belém, que são abundantes, e ainda sua capacidade para lixiviar ou não tais contaminantes, a depender do local disposto e do solo.

De acordo com o sistema *POSH*, a origem dos resíduos e a incidência pluviométrica no local de despejo dos resíduos são as variáveis determinantes para a classificação do potencial de geração de carga contaminante no subsolo por meio de aterros sanitários e lixões, conforme apresentado anteriormente no Quadro 5.

Na região de Belém, o baixo controle sobre a disposição dos resíduos e a baixa disponibilidade de opções para o correto encaminhamento de resíduos perigosos propiciam o descarte de material com elevado potencial de gerar carga contaminante, muitas vezes sem o devido acompanhamento e registro.

De acordo com as visitas de campo, os aspectos construtivos dos lixões e aterros sanitários indicam um baixo controle no que diz respeito à prevenção de vazamentos ou coletas de chorume e águas residuais, somado ao fato de não haver a devida compactação de cobertura, controle de vetores ou de acesso conforme pode-se observar nas Figura 33, Figura 34, Figura 35, Figura 36, Figura 37 e Figura 38. Dessa forma, o potencial de gerar carga contaminante relacionado aos lixões e aterros sanitários da área de estudo foi considerado elevado.



Figura 33 - Tentativa de visita técnica ao aterro sanitário de Marituba.



Figura 34 - Protesto de moradores do bairro São João contra o aterro sanitário de Marituba



Figura 35 - Lixão no bairro das Flores, em Benevides.



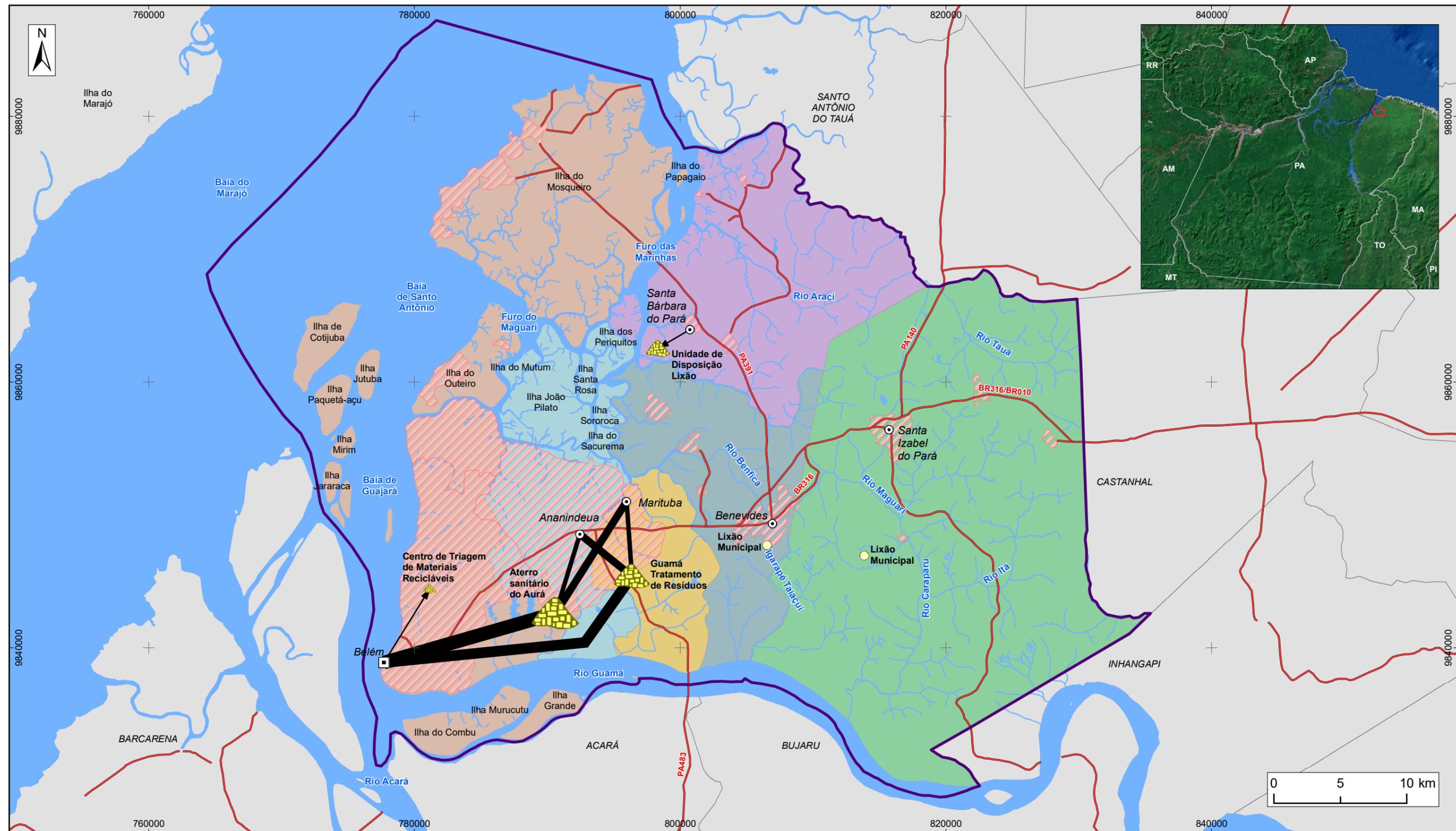
Figura 36 - Lixão, em Benevides. Disposição de resíduos diretamente sobre o solo.



Figura 37 - Lixão de Santa Izabel do Pará. Disposição do lixo sobre o solo.



Figura 38 - Lixão de Santa Izabel do Pará. O chorume proveniente de resíduos sólidos misturam-se às águas pluviais.



LEGENDA

- | | | |
|---|--|---|
| <ul style="list-style-type: none"> ▣ Capital Estadual ⊙ Sede Municipal ~ Hidrografia — Rodovia Origem e destino dos resíduos (ton/ano) → 880 - 2.772 → 2.773 - 37.440 → 37.441 - 112.337 → 112.338 - 324.000 → 324.001 - 877.551 | <ul style="list-style-type: none"> Massa d'água Área de Estudo Área urbana Município Ananindeua Belém Benevides Marituba Santa Bárbara do Pará Santa Izabel do Pará | <p>Locais de disposição de resíduos sólidos</p> <p>Quantidade recebida (Ton/Ano)</p> <ul style="list-style-type: none"> 880 2.772 451.440 1.016.862 ○ Sem informação sobre quantidade recebida |
|---|--|---|

Figura 39 – Mapa de localização das fontes pontuais de poluição relacionadas a lixões



ESTUDOS HIDROGEOLÓGICOS PARA A GESTÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DA REGIÃO DE BELÉM/PA

Fonte: Rodovias: SEMAS/PA. Limites políticos: IBGE, 2010. Hidrografia: CPRM. Ilhas: adaptado de SEMAS/PA. Disposição de resíduos sólidos: ANA/Profil, 2017; SNIS, 2015

Sistema de Coordenadas:	UTM
Datum Horizontal:	SIRGAS 2000
Unidade:	Metros
Fiscalização:	ANA
Data:	Junho/2018
Arquivo:	Figura_39_Locais_Disposicao_Residuos_Solidos_A3
Escala:	1:290.000

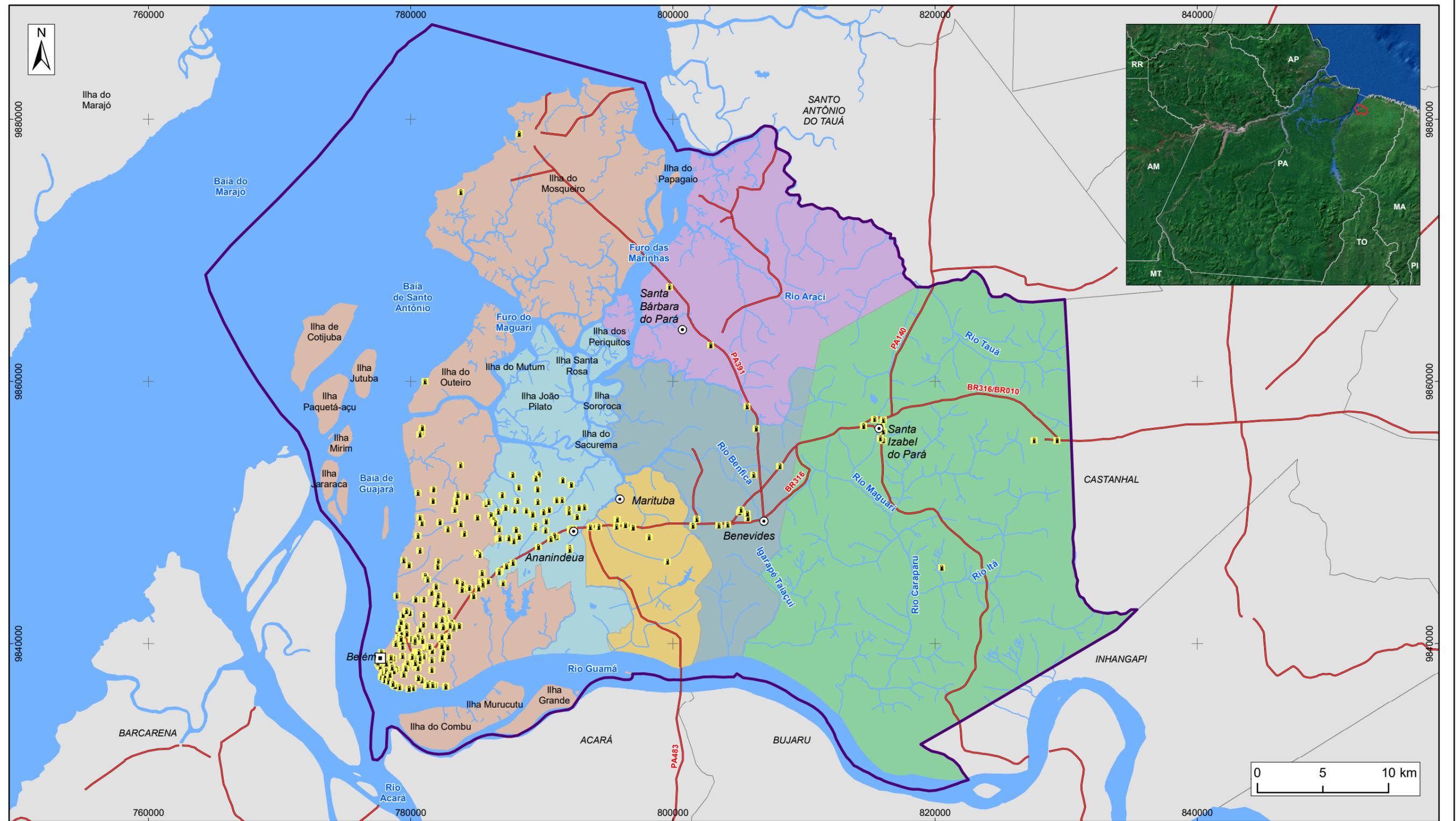
3.2.3.4 Postos de Combustíveis e Oficinas Mecânicas

Os postos de combustíveis são responsáveis por muitos casos de contaminação de mananciais subterrâneos por manipularem volumes consideráveis de hidrocarbonetos aromáticos e halogenados, benzeno e fenóis, armazenados em tanques subterrâneos, de difícil inspeção visual sobre a ocorrência de vazamentos. Assim, a presença de postos de combustíveis ou locais de armazenamento com tanques subterrâneos deve ser considerada como fonte moderada quanto à capacidade de gerar carga contaminante no subsolo. As principais causas são tanques corroídos com uma forte ligação entre a incidência e o tamanho dos vazamentos e a idade dos tanques instalados (principalmente, acima de 20 anos se não recebem manutenção regular). Tubulações também podem romper devido ao tráfego de veículos pesados ou à baixa qualidade da instalação (FOSTER *et al.*, 2002). Como exemplo, do potencial de contaminação associado a essas fontes, cita-se a ocorrência de vazamento de derivados de hidrocarbonetos no Bairro Umarizal (CABRAL, 2007).

O cadastramento de postos de combustíveis foi realizado por meio do banco de dados da ANP e levantamento de campo. Um total de 368 postos de combustíveis foi cadastrado na Região de Belém, sendo que a maior densidade se encontra em Belém e Ananindeua. Segundo Oliveira (2002), na área de estudo é iminente o risco de contaminação por hidrocarbonetos, pois quase todos os postos estão em áreas urbanas e a grande maioria dos tanques subterrâneos de armazenamento está obsoleta, sem proteção contra corrosão e sem mecanismos de detecção de vazamentos. O mapa de distribuição dos postos de combustíveis é apresentado na Figura 40.

As oficinas mecânicas e lava-jatos foram cadastrados por meio de pesquisas eletrônicas e levantamentos de campo. Possuem características similares aos postos de combustíveis, como a manipulação de hidrocarbonetos de petróleo, solventes, tintas e outros produtos químicos. Por essa razão, foram classificadas pelo sistema POSH a partir do mesmo critério dos postos de combustíveis (moderado).

Durante o levantamento de campo foi possível observar um número elevado de estabelecimentos irregulares como oficinas e lava-jatos, sem separação adequada dos resíduos gerados, conforme mostra a Figura 41, a Figura 42, a Figura 43, a Figura 44, a Figura 45 e a Figura 46.



LEGENDA

- | | |
|--|---|
| <ul style="list-style-type: none"> ▣ Capital Estadual ⊙ Sede Municipal 🛢️ Posto de combustível 🌊 Hidrografia 🛣️ Rodovia 🌊 Massa d'água 📐 Área de Estudo | <p>Município</p> <ul style="list-style-type: none"> 🟩 Ananindeua 🟤 Belém 🟦 Benevides 🟨 Marituba 🟪 Santa Bárbara do Pará 🟩 Santa Izabel do Pará |
|--|---|

Figura 40 - Mapa de localização das fontes pontuais de poluição relacionadas a postos de combustíveis



ESTUDOS HIDROGEOLÓGICOS PARA A GESTÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DA REGIÃO DE BELÉM/PA

Fonte: Rodovias: SEMAS/PA. Limites políticos: IBGE, 2010. Hidrografia: CPRM. Ilhas: adaptado de SEMAS/PA. Posto de combustível: ANP, 2017

Sistema de Coordenadas:	UTM
Datum Horizontal:	SIRGAS 2000
Unidade:	Metros
Fiscalização:	ANA
Data:	Junho/2018
Arquivo:	Figura_40_Mapa_Postos_Combustivel_A3
Escala:	1:290.000



Figura 41 - Borracharia com correta separação de óleos e graxas (Benevides).



Figura 42 - Borracharia sem impermeabilização do solo, com destino dos resíduos para a vala (Santa Izabel do Pará).



Figura 43 - Trecho com grande concentração de oficinas e borracharias, próximo ao anel viário (Marituba).



Figura 44 - Lava-jato sem descarte correto das água residuais (Belém).



Figura 45 - Posto de combustível a ser inaugurado, em Santa Bárbara do Pará. Tanques novos e padrões conforme as normas ambientais.



Figura 46 - Lava-jato próximo ao Canal Água de Cristal, sem correto descarte das águas residuais (Belém).

3.2.3.5 Cemitérios e Matadouros

A prática de enterrar cadáveres humanos e de animais gera uma carga contaminante pouco considerável, uma vez que é restrita à área delimitada a cada cova, e pode ser reduzida com a correta utilização de túmulos impermeáveis ou ataúdes resistentes à corrosão. Por esse motivo, os cemitérios são classificados como potencial reduzido de contaminação (FOSTER *et al.*, 2002). O necrochorume, produzido durante a putrefação, pode entrar em contato com as águas subterrâneas, principalmente, em áreas com intensa precipitação pluviométrica e com o nível do lençol freático próximo à superfície, num período que pode demorar de 1 a 4 semanas (PACHECO, 1986) ou, ainda, segundo Silva (1994), de 6 a 8 meses.

O Cemitério São José, mais conhecido como cemitério do Bengui, em Belém foi alvo de um estudo geofísico para analisar a contaminação e foi fechado a partir dos resultados provenientes dos resultados de integração com as análises de água. Também foram cadastrados matadouros/abatedouros e, para a classificação do sistema *POSH*, são considerados de potencial reduzido, devido à disposição de carcaças de animais mortos nessa atividade. No caso dessas duas fontes de contaminação pontuais, os contaminantes que podem ser encontrados são principalmente nitrato e organismos patogênicos.

O cadastramento dessas atividades deu-se por intermédio de pesquisas eletrônicas e vistorias de campo (Figura 47, Figura 48, Figura 49 e Figura 50), além de solicitações de bancos de dados de atividades licenciadas junto às Secretarias de Meio Ambiente dos municípios alvo do estudo e à Secretaria Estadual de Meio Ambiente (SEMAS), por meio de ofícios protocolados. Um total de 19 estabelecimentos foi registrado, sendo 16 cemitérios e 3 matadouros.



Figura 47 - Túmulos em péssimo estado de preservação, Cemitério Soledade (Belém).



Figura 48 - Situação de abandono, Cemitério Santa Izabel do Pará (Belém).



Figura 49 - Túmulos suscetíveis à erosão, Cemitério Municipal (Santa Bárbara do Pará).



Figura 50 - Túmulos sem proteção de concreto, no Cemitério Municipal de Santa Izabel do Pará.

3.2.3.6 Estações de Tratamento de Efluentes

As informações sobre os Sistemas de Esgotamento Sanitário (SES) e as Estações de Tratamento de Efluentes (ETEs) existentes na região de Belém foram obtidas, principalmente, junto ao “Atlas Esgoto – Despoluição de Bacias Hidrográficas de Despoluição” (ANA, 2017) e complementados pelo Plano Municipal de Saneamento Básico (PMSB) (BELÉM, 2014) e por informações enviadas pela COSANPA no âmbito desse estudo.

O Quadro 9 apresenta os indicadores de cobertura dos serviços de esgoto, por município, discriminados em: esgoto coletado, esgoto coletado e tratado, esgoto tratado em soluções individuais e esgoto sem coleta e tratamento.

Quadro 9 – Indicadores de atendimento dos serviços de esgotamento sanitário

Município	Índice de coleta de esgoto (%)	Índice de tratamento do esgoto coletado (%)	Índice de tratamento com solução individual (%)	Índice sem coleta e sem tratamento (%)
Ananindeua	11,3%	0,0%	44,0%	44,7%
Belém	20,5%	10,7%	31,1%	48,5%
Benevides	2,2%	0,0%	15,2%	82,7%
Marituba	4,4%	0,0%	14,5%	81,1%
Santa Bárbara do Pará	2,8%	0,0%	6,9%	90,2%
Santa Izabel do Pará	1,3%	0,0%	10,2%	88,6%

Fonte: Atlas Esgoto: Despoluição das Bacias Hidrográficas (ANA, 2017).

As poucas unidades dos SES existentes na região de Belém foram implantadas em projetos e obras realizadas no transcurso de quase um século, conforme observado no Quadro 10, onde é apresentado um resumo de todos os estudos e intervenções que resultaram na construção do SES da Região Metropolitana de Belém.

Quadro 10 - Fases do Sistema de Esgotamento Sanitário da RMB (COSANPA, 2007).

Estudo/Projeto	Período
Projeto Fox & Partner	1906 a 1912
Reformulação do Projeto Fox & Partner	1912 a 1915
Projeto Byington & Cia	1955 a 1917
Reformulação do Projeto Byington & Cia	1971 a 1972
Estudos Para Lançamento na Baía de Guajará	1975 a 1977
Plano Diretor do Sistema de Esgotamento Sanitário	1986 a 1987
Macro Drenagem da Bacia do Una - Projeto Una	1987 a 2003
PROSANEAR	1993 – 1997
PROSEGE	1993 a 2005

Com base em Silva (2010) e COSANPA (2007), a seguir, são feitas breves descrições dos projetos mais recentes.

O Plano Diretor de Esgotamento Sanitário (PDES) teve por objetivo contemplar obras no período de 1987 a 2005. Atendia os municípios de Belém e Ananindeua, à exceção dos distritos de Icoaraci, Mosqueiro e Outeiro do Município de Belém, totalizando uma área de 16.833,4 ha. A área atendida com o SES foi dividida em 17 bacias de esgotamento, agrupadas em 4 (quatro) polos de esgotamento. De acordo com Pereira (1994), o PDES não foi utilizado nos projetos e obras realizados nos municípios de Belém e Ananindeua, o que resultou na desatualização durante todo o período de vigência (1987 – 2005). Assim, essa tentativa de planejamento acabou não resultando em ações concretas, já que os projetos seguintes (Projeto Una, PROSEGE e PROSANEAR) foram elaborados de forma isolada e pontual.

O Programa de Recuperação da Bacia do Una (Projeto Una) baseou-se na instalação de micro e macrodrenagem com obras complementares de aterramento e pavimentação de vias, esgotamento sanitário, abastecimento de água, coleta e transporte de resíduos sólidos, além de educação ambiental. Abrange área de 3.664 ha e população de 543.543 habitantes. Foram implantados efetivamente 26.736 tanques sépticos para atender população de 143.855 habitantes, na qual o efluente dos tanques sépticos é encaminhado aos canais por meio de redes simplificadas, num total de 143.855 metros.

Atualmente a população atendida por este sistema é de aproximadamente 170.634 habitantes podendo chegar, segundo projeções, a 283.309 habitantes no ano de 2025. Já a população de projeto contemplada com sistema de coleta convencional e encaminhamento à elevatória do Una é de 13.752 habitantes. Atualmente, residem nesta área aproximadamente 15.596 habitantes podendo chegar, segundo projeções a 25.253 habitantes no ano de 2025. O Projeto Una é considerado a maior reforma urbana da América Latina, pois abrange 20 bairros de Belém (60% do município), 120 mil famílias e investimentos de R\$ 306 milhões de dólares do Banco Interamericano de Desenvolvimento (BID). A macrodrenagem da Bacia do Uma, contudo, é colocada em xeque pelos moradores, que vivenciam constantes alagamentos e inundações devido à falta de manutenção na drenagem dos 17 canais que entrecortam as áreas residenciais da bacia.

O projeto PROSANEAR teve por medidas efetivas o sistema condominial de coleta de esgoto e tratamento em 138 Reatores Anaeróbios de Manta de Lodo (UASB) nos setores do IPASEP, Coqueiro, Guanabara e Bengui, beneficiando 126.411 habitantes. Foram construídos 52.491 metros de rede básica e 134.418 metros de rede condominial com 6 estação elevatória de esgoto (EEE) e 6 ETE. Atualmente, nestes setores residem aproximadamente 151.482 habitantes, sendo muito maior de que a população de projeto. Com resultados insatisfatórios do projeto, visto que, grande parte das residências não estão interligadas à rede de esgoto, atualmente somente a ETE Sideral encontra-se em funcionamento sendo observadas várias irregularidades em suas unidades.

O Projeto PROSEGE teve por objetivo a melhoria das condições sanitárias dos bairros da Marambaia e da Guanabara e a proteção sanitária dos lagos Bolonha e Água Preta, localizados na área do Utinga e utilizados como mananciais do sistema de abastecimento de água da RMB (PEREIRA & MENDES, 2003). As obras da primeira fase foram iniciadas em novembro de 1993, tendo sido executado nos dois bairros: rede coletora: 101.226 metros; coletor tronco: 4.660 metros; estações elevatórias intermediárias: 75,11% das quatro

unidades do projeto; linhas de recalque: 990 metros; ligações prediais: 15.654 um. A segunda etapa contempla estações elevatórias de rede; interceptor: 2.200 metros; e duas estações de tratamento de esgoto: ETE Rua da Mata e da ETE Tavares Bastos. O Quadro 11 apresenta o status relativo à implantação de cada fase do SES da região de Belém.

Quadro 11 - Estudos e projetos para implantação do SES no Município de Belém (SILVA, 2010).

Período	Planejamento	Implantação
1906 a 1912	Projeto Fox & Partner	Conclusão de 60% da rede coletora.
1912 a 1915	Reformulação do Projeto Fox & Partner	
1916 a 1954	Sem intervenção	
1955 a 1967	Projeto Byington & Cia	Somente conclusões de algumas obras iniciadas no período de 1906 a 1915.
1968 a 1972	Reformulação do Projeto Byington & Cia	Somente conclusões de algumas obras iniciadas no projeto original.
1973 a 1986	Sem intervenção	
1986 a 1987	Plano Diretor do Sistema de Esgotamento Sanitário	Não implantado
1987 a 2003	Macrodrenagem da Bacia do Una - Projeto Una	Implantado
1993 – 1997	PROSANEAR	Implantado com grande parte das unidades fora de operação
1993 a 2005	PROSEGE	Em fase de conclusão

Conforme exposto no texto e observado no Quadro 9, Belém é o único município da área de estudo que dispõe de Estações de Tratamento de Esgotos (ETEs). Informações sobre as ETEs de Belém são apresentadas no Quadro 12 e sua localização pode ser visualizada na Figura 51. Ressalta-se que apenas as ETEs que constam no Atlas Esgoto (ANA, 2017), possuem informação de localização disponível.

A classificação das ETEs no sistema *POSH*, foi realizada utilizando-se a mesma metodologia adotada para lagoas de águas residuais. Nessa metodologia, as principais variáveis para a classificação são a origem do efluente e a área ocupada por cada lagoa, no caso, adaptado para cada ETE.

Os SES de Belém somam 20,5% de coleta de esgoto, sendo que apenas parte desses efluentes são tratados e o restante são lançados aos corpos hídricos adjacentes. Sem coleta e sem tratamento, os índices dos efluentes chegam a 48,5%. A solução individual por meio de fossas sépticas é feita em 31,1% dos domicílios.

Quadro 12 – Informações sobre as ETEs do Município de Belém.

Nome	Status	Vazão de Operação (L/s)	Tipo de tratamento predominante	Corpo receptor
ETE SIDERAL	Ativa	260	Reator UASB	Canal Massaquara
ETE COQUEIRO*	Ativa	360	Reator UASB	Canal Ariri
ETE BENGUI*	Ativa	260	Reator UASB	Canal Ariri
ETE PORTO*	Ativa	25	Reator UASB compacto	Drenagem
ETE VILA DA BARCA*	Ativa	41	Reator UASB compacto	Baía de Guajará
ETE VIVER PRIMAVERA	Ativa	76	Reator UASB enterrado	Rio Paracurí
ETE UG/TN	Ativa	31	Reator UASB compacto	Drenagem
ETE PRATINHA I	Ativa	30	Reator UASB compacto	Baía do Guajará
ETE OUTEIRO	Ativa	25	Reator UASB compacto	Igarapé Água Boa
ETE MOSQUEIRO – VILA	Ativa	70	Lagoa de Estabilização	Rio Murubira
ETE UMA	Ativa	777	Emissário Aquático/ Diluição	Baía do Guajará
ETE MOSQUEIRO – AEROPORTO	Inativa	130	Lagoa de Estabilização	Rio Murubira
ETE COMUNIDADE FÉ EM DEUS*	Inativa	60	Reator UASB compacto	Drenagem
ETE RUA DA MATA*	Inativa	300	Reator UASB + lodo ativado	Canal Água Cristal
ETE TAVARES BASTOS*	Inativa	725	Reator UASB + físico-químico	Canal Água Cristal
ETE JK	Inativa	17	Reator UASB compacto	Drenagem
ETE IPASEP*	Inativa	45	Reator UASB	Baía de Guajará

Fonte: COSANPA (2018)

*Atlas Esgoto: Despoluição das Bacias Hidrográficas (ANA, 2017).

O plano estabelecido para o futuro, com as metas relacionadas (ANA, 2017), propõe a efetiva implementação dos projetos existentes de novos SESs e respectivas ETEs. Em Belém a solução individual por fossas sépticas não deve ultrapassar 31,1% (Quadro 13).

Quadro 13 – Dados para o Município de Belém com índices atuais e propostos (ANA, 2017).

ATLAS DA DESPOLUIÇÃO ANA (ATUAL)	%	ATLAS DA DESPOLUIÇÃO ANA (PROPOSTO)	%
SEM COLETA E SEM TRATAMENTO	48,4	COMPLEMENTAR	31,6
SOLUÇÃO INDIVIDUAL	31,1	SOLUÇÃO INDIVIDUAL	31,1
SES COMUNIDADE FÉ EM DEUS	1,8	SES COMUNIDADE FÉ EM DEUS	0,8
SES IPASEP	4,5	SES IPASEP	2,0
SES PORTO	0,4	SES PORTO	0,2
SES BENGUI	4,8	SES BENGUI	4,2
SES COQUEIRO	9,0	SES COQUEIRO	3,9
SES BELÉM I*	-	SES BELÉM I	1,1
SES VILA DA BARCA*	-	SES VILA DA BARCA	0,3
SES BELEM II*	-	SES BELEM II	12,6
SES BELEM III*	-	SES BELEM III	3,4
SES RUA DA MATA*	-	SES RUA DA MATA	2,6
SES TAVARES BASTOS*	-	SES TAVARES BASTOS	6,2
TOTAL	100,0	TOTAL	100,0

*Dados sobre detalhes das SES em Belém não localizados.

Em Ananindeua, 11,3% possuem acesso a rede de coleta de esgoto, mas sem tratamento. Sem coleta e sem tratamento, os índices dos efluentes chegam a 44,7%. A solução individual por meio de fossas sépticas é feita em 44,0% dos domicílios. O plano estabelecido para o futuro, com as metas relacionadas segundo o Atlas Esgoto (ANA, 2017) propõe que a rede de coleta aumente para 56%, e a solução individual não ultrapasse os 44% (Quadro 14).

Quadro 14 – Dados do Atlas de Despoluição (ANA), para o Município de Ananindeua, com índices atuais e propostos.

ANANINDEUA			
ATLAS DA DESPOLUIÇÃO ANA (ATUAL)	%	ATLAS DA DESPOLUIÇÃO ANA (PROPOSTO)	%
SEM COLETA E SEM TRATAMENTO	44,7	COMPLEMENTAR	-
SOLUÇÃO INDIVIDUAL	44	SOLUÇÃO INDIVIDUAL	44
COM COLETA SEM TRATAMENTO	11,3	SES ANANINDEUA	56
TOTAL	100,0	TOTAL	100,0

Em Benevides, registra-se o acesso de apenas 2,2% à rede de coleta de esgoto. Sem coleta e sem tratamento, os índices dos efluentes chegam a 82,7%. A solução individual por meio de fossas sépticas é feita em 15,2% dos domicílios. O plano estabelecido para o futuro, com as metas relacionadas, segundo o Atlas Esgoto (ANA, 2017), propõe que a rede de coleta aumente para 84,9% e a solução individual não ultrapasse os 15,1% (Quadro 15).

Quadro 15 – Dados do Atlas de Despoluição (ANA), para o Município de Benevides, com índices atuais e propostos.

BENEVIDES			
ATLAS DA DESPOLUIÇÃO ANA (ATUAL)	%	ATLAS DA DESPOLUIÇÃO ANA (PROPOSTO)	%
SEM COLETA E SEM TRATAMENTO	82,7	COMPLEMENTAR	-
SOLUÇÃO INDIVIDUAL	15,1	SOLUÇÃO INDIVIDUAL	15,1
COM COLETA SEM TRATAMENTO	2,2	SES BENEVIDES	84,9
TOTAL	100,0	TOTAL	100,0

No Município de Marituba, apenas 4,4% dos domicílios possuem acesso à rede de coleta de esgoto. Os índices dos efluentes chegam a 81,1% considerando aqueles domicílios que não contem com coleta e nem tratamento. A solução individual por meio de fossas sépticas é utilizada em 14,5% dos domicílios. O plano estabelecido para o futuro, com as metas relacionadas, segundo o Atlas Esgoto (ANA, 2017), propõe que a rede de esgoto aumente para 17,8%, e que a solução individual não ultrapasse o índice de 14,5% (Quadro 16).

Quadro 16 – Dados do Atlas de Despoluição (ANA), para o Município de Marituba com índices atuais e propostos.

MARITUBA			
ATLAS DA DESPOLUIÇÃO ANA (ATUAL)	%	ATLAS DA DESPOLUIÇÃO ANA (PROPOSTO)	%
SEM COLETA E SEM TRATAMENTO	81,1	COMPLEMENTAR	-
SOLUÇÃO INDIVIDUAL	14,5	SOLUÇÃO INDIVIDUAL	14,5
COM COLETA SEM TRATAMENTO	4,4	SES MARITUBA	17,8
TOTAL	100,0	TOTAL	-

Em Santa Bárbara do Pará, apenas 2,8% possuem acesso à rede de coleta de esgoto. Sem coleta e sem tratamento, os índices dos efluentes chegam a 90,2%. A solução individual por meio de fossas sépticas é feita em 6,9% dos domicílios. O plano estabelecido para o futuro, com as metas relacionadas, segundo o Atlas Esgoto (ANA, 2017), propõe que a rede de coleta aumente para 90% e a solução individual não ultrapasse 10% (Quadro 17).

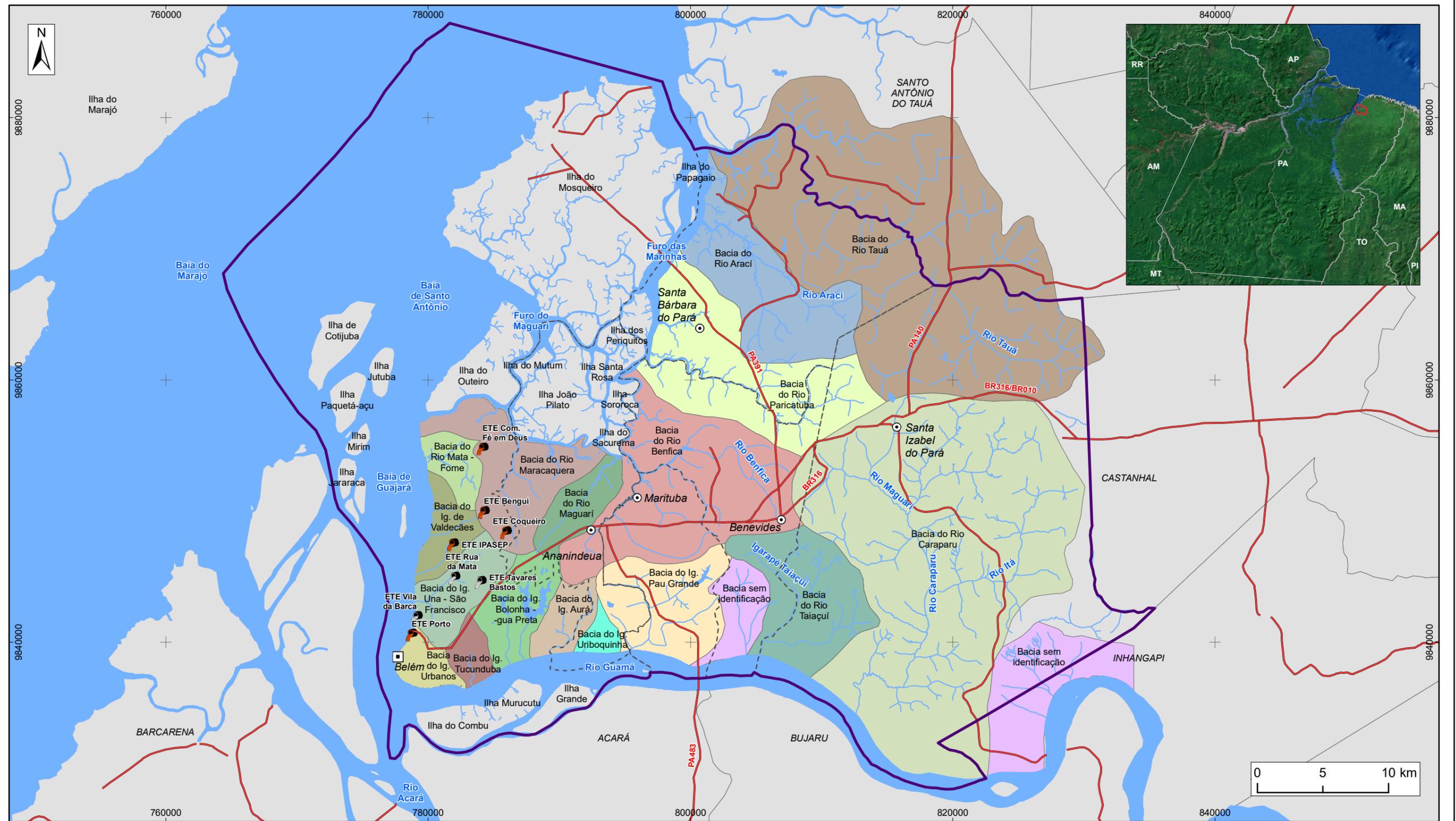
Quadro 17 – Dados do Atlas de Despoluição (ANA), para o Município de Santa Bárbara do Pará, com índices atuais e propostos.

SANTA BÁRBARA DO PARÁ			
ATLAS DA DESPOLUIÇÃO ANA (ATUAL)	%	ATLAS DA DESPOLUIÇÃO ANA (PROPOSTO)	%
SEM COLETA E SEM TRATAMENTO	90,3	COMPLEMENTAR	-
SOLUÇÃO INDIVIDUAL	6,9	SOLUÇÃO INDIVIDUAL	10
COM COLETA SEM TRATAMENTO	2,8	SES SANTA BÁRBARA	90
TOTAL	100,0	TOTAL	100,0

Em Santa Izabel do Pará inexistente coleta de esgoto. Sem coleta e sem tratamento, os índices dos efluentes chegam a 89,8%. A solução individual por meio de fossas sépticas é feita em 10,2% dos domicílios. O plano estabelecido para o futuro, com as metas relacionadas, segundo o Atlas Esgoto (ANA, 2017), propõe um Sistema de Esgotamento Sanitário que colete 89,8% do esgoto municipal e que as soluções individuais não ultrapassem 10,2% (Quadro 18).

Quadro 18 - Dados do Atlas de Despoluição (ANA), para o Município de Santa Izabel do Pará, com índices atuais e propostos.

SANTA IZABEL DO PARÁ			
ATLAS DA DESPOLUIÇÃO ANA (ATUAL)	%	ATLAS DA DESPOLUIÇÃO ANA (PROPOSTO)	%
SEM COLETA E SEM TRATAMENTO	89,8	COMPLEMENTAR	-
SOLUÇÃO INDIVIDUAL	10,2	SOLUÇÃO INDIVIDUAL	10,2
COM COLETA SEM TRATAMENTO	-	SES STA IZABEL DO PARÁ	89,8
TOTAL	100,0	TOTAL	100,0



LEGENDA

- | | |
|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"> ▣ Capital Estadual ⊙ Sede Municipal Estação de Tratamento de Esgoto Ativa Estação de Tratamento de Esgoto Inativa Hidrografia Rodovia Massa d'água | <ul style="list-style-type: none"> Área de Estudo Limite municipal Sub-Bacia Hidrográfica Bacia do Ig. Aurá Bacia do Ig. Bolonha Água Preta Bacia do Ig. Pau Grande Bacia do Ig. Tucunduba Bacia do Ig. Una - São Francisco Bacia do Ig. Urbanos Bacia do Ig. Uriboquinha Bacia do Ig. de Valdecães Bacia do Rio Araci Bacia do Rio Caraparu Bacia do Rio Maguari Bacia do Rio Maracaquera Bacia do Rio Mata - Fome Bacia do Rio Paricatuba Bacia do Rio Taiacuí Bacia do Rio Tauá Bacia sem identificação |
|---|--|

Figura 51 – Mapa com a localização das Estações de Tratamento de Esgoto da região de Belém



ESTUDOS HIDROGEOLÓGICOS PARA A GESTÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DA REGIÃO DE BELÉM/PA

Fonte: Rodovias: SEMAS/PA. Limites políticos: IBGE, 2010. Hidrografia: CPRM. Ilhas: adaptado de SEMAS/PA. Estação de Tratamento de Esgoto: ANA, 2016

Sistema de Coordenadas:	UTM
Datum Horizontal:	SIRGAS 2000
Unidade:	Metros
Fiscalização:	ANA
Data:	Junho/2018
Arquivo:	Figura_51_Mapa_ETEs_A3
Escala:	1:290.000

3.2.3.7 Outras Fontes Pontuais de Contaminação

Adicionalmente, foram cadastradas outras atividades que podem gerar contaminação no subsolo e conseqüentemente na água subterrânea, como a criação de animais, principalmente, frangos e bovinos, casas de açaí e unidades de saúde, que contemplam os hospitais e pronto socorro.

As casas de açaí (Figura 52) fazem parte da cultura local e estão relacionadas à atividade econômica principal de algumas famílias da Região de Belém. Atividades desse tipo devem ser consideradas como potencial fonte contaminante, pois os efluentes gerados pelo processamento de açaí, geralmente, são descartados no sistema de drenagem urbana sem tratamento, impactando, negativamente, os parâmetros de qualidade dos rios/mananciais. Segundo Feio (2014), os resultados físico-químicos indicam que essa água residual apresenta alto teor de matéria orgânica com concentração média de 823 mg DBO/L, e que o volume diário estimado de efluente produzido em 50 bairros da Região de Belém é de aproximadamente 485.858 L/d. Essa mesma análise pode se estender a outras empresas alimentícias, em geral, e por isso, estão contempladas neste cadastro. Por estar relacionada à indústria alimentícia (Tipo 1), essa atividade é considerada de *potencial reduzido* na classificação adaptada de *POSH*. Os estabelecimentos associados às casas de açaí foram cadastrados por meio de pesquisa eletrônica, do Guia Industrial de 2013 (FIEPA) e durante a etapa de campo.

As áreas que possuem criação de gado e frango podem apresentar contaminação por nitrato, sendo classificadas com *potencial reduzido* de gerar carga contaminante, assim como matadouros. Para o levantamento desta atividade, neste estudo, foram solicitados dados junto à ADEPARÁ, porém, sem retorno.

Em relação às unidades de saúde e hospitais (Figura 53), registra-se um número de 236 estabelecimentos, e potencial de geração de carga contaminante através do lixo hospitalar. De maneira restritiva, para o sistema *POSH*, esses locais são classificados com **potencial moderado** de gerar carga contaminante, pois conforme será discutido posteriormente neste item, os locais que possuem saneamento com cobertura inferior a 25% do município e com densidade populacional abaixo de 100 pessoas/ha devem ser assim classificados. Uma empresa é responsável pela coleta de resíduos hospitalares: *Transcabral Ambiental*. Localizada no Distrito industrial de Icoaraci, após o processo de incineração dos resíduos e tratamento das cinzas na ETE, descarta a água tratada junto ao Rio Maguari.



Figura 52 - Casas de açai, com descarte dos resíduos junto ao pavimento, Praça Brasil (Belém).

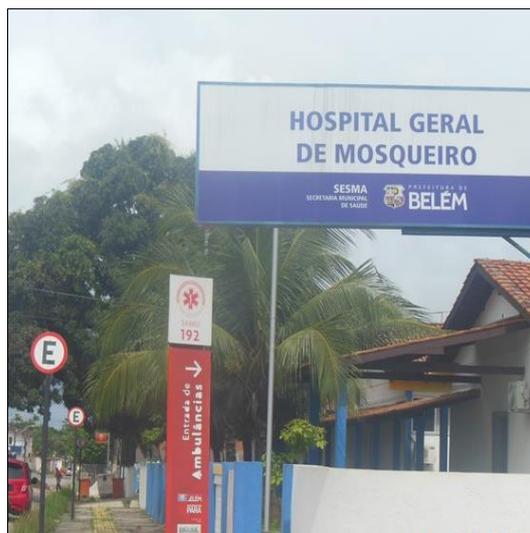
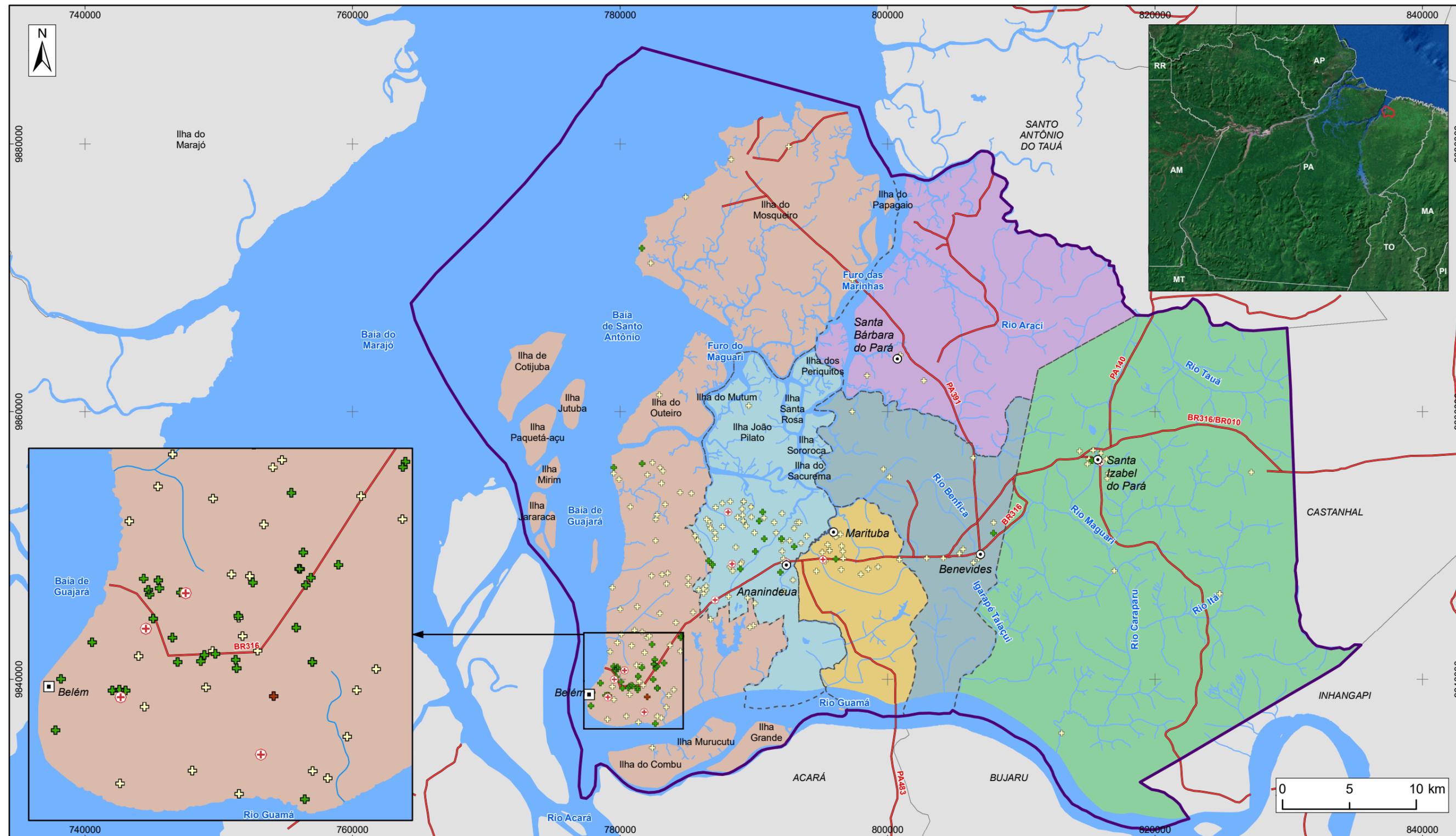


Figura 53 - Hospital Geral de Mosqueiro, classificado com potencial moderado no sistema POSH.

Adicionalmente, o cadastro de poços e nascentes complementa, ainda, esta seção. Dentre os poços tubulares, a ausência de perímetro de proteção sanitária foi registrada em de uma quantidade de 152 unidades, enquanto, 6 apresentam-se sem informação, totalizando 158 poços tubulares. Todos os 11 poços escavados cadastrados, assim como as 38 nascentes foram também incluídos aqui, por estarem associados à exposição das águas subterrâneas mais superficiais. A esses pontos foi estabelecido um potencial poluidor baixo. O recorte e a localização de estabelecimentos de saúde utilizados no levantamento de fontes pontuais de contaminação e dos poços cadastrados sem proteção, das nascentes e dos poços escavados (amazonas) está apresentado na Figura 54 e na Figura 55, respectivamente.



LEGENDA

- | | | |
|---|--|---|
| <ul style="list-style-type: none"> ▣ Capital Estadual ⊙ Sede Municipal <p>Estabelecimento de Saúde</p> <ul style="list-style-type: none"> ⊕ Central de Notificação, captação e distribuição de órgãos ⊕ Centro de Saúde/Unidade Básica ⊕ Hospital Especializado/Geral ⊕ Pronto Socorro Geral | <ul style="list-style-type: none"> ~ Hidrografia — Rodovia ☪ Massa d'água ⊕ Área de Estudo - - - Limite municipal | <p>Município</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ Ananindeua ■ Belém ■ Benevides ■ Marituba ■ Santa Bárbara do Pará ■ Santa Izabel do Pará |
|---|--|---|

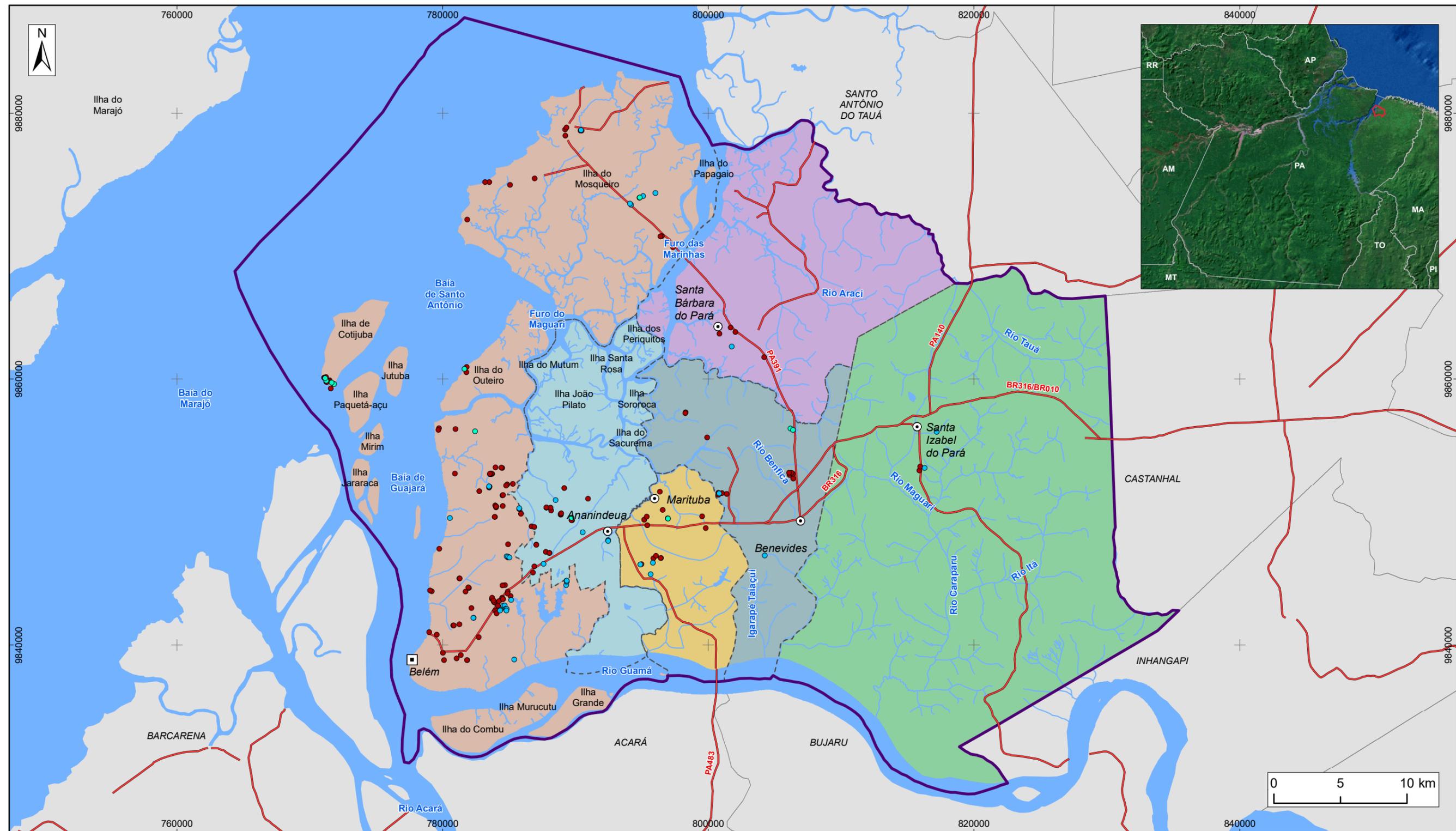
Figura 54 – Mapa com a localização das fontes pontuais de poluição relacionadas a estabelecimentos de saúde da Região de Belém



ESTUDOS HIDROGEOLÓGICOS PARA A GESTÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DA REGIÃO DE BELÉM/PA

Fonte: Rodovias: SEMAS/PA. Limites políticos: IBGE, 2010. Hidrografia: CPRM. Ilhas: adaptado de SEMAS/PA. Estabelecimentos de Saúde: CNES

Sistema de Coordenadas:	UTM
Datum Horizontal:	SIRGAS 2000
Unidade:	Metros
Fiscalização:	ANA
Data:	Junho/2018
Arquivo:	Figura_54_Mapa_Estabelecimentos_Saude_A3
Escala:	1:290.000



LEGENDA

- ▣ Capital Estadual
- ⊙ Sede Municipal
- Poços Cadastrados**
- Escavado (amazonas)
- Nascente
- Tubular**
- Sem Proteção
- ~ Hidrografia
- Rodovia
- Massa d'água
- Área de Estudo
- Município**
- Ananindeua
- Belém
- Benevides
- Marituba
- Santa Bárbara do Pará
- Santa Izabel do Pará

Figura 55 - Mapa com a localização dos poços cadastrados sem proteção, das nascentes e dos poços amazonas da Região de Belém



ESTUDOS HIDROGEOLÓGICOS PARA A GESTÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DA REGIÃO DE BELÉM/PA

Fonte: Rodovias: SEMAS/PA. Limites políticos: IBGE, 2010. Hidrografia: CPRM. Poços: ANA/PROFILL, 2017. Ilhas: adaptado de SEMAS/PA.

Sistema de Coordenadas:	UTM
Datum Horizontal:	SIRGAS 2000
Unidade:	Metros
Fiscalização:	ANA
Data:	Junho/2018
Arquivo:	Figura_55_Mapa_Pocos_cadastrados_sem_Protecao_A3
Escala:	1:290.000

3.2.4 Fontes Difusas de Contaminação

A caracterização das fontes difusas de contaminação baseou-se em Foster *et al.* (2002), que classifica em duas as fontes de contaminação possíveis: o saneamento *in situ* e as práticas agrícolas. A primeira fonte de contaminação está relacionada com os contaminantes, como o nitrato, os contaminantes microbiológicos e, eventualmente, compostos químicos orgânicos sintéticos. Os contaminantes associados às práticas agrícolas incluem o nitrato e os compostos agroquímicos.

A caracterização das fontes difusas de poluição está, intimamente, relacionada às condições de uso e ocupação do solo, na qual é possível definir as áreas como no mapa da carga contaminante potencial do subsolo, a seguir. Assim, os potenciais poluidores nesta seção estão relacionados às áreas com atividades antrópicas mais intensivas, sejam relacionados ao meio urbano ou rural. Logo, buscou-se classificá-los pelo sistema *POSH*, conforme o Quadro 19.

Quadro 19 – Fontes de contaminação difusas e classificação *POSH*.

Potencial de gerar carga contaminante no subsolo	Fontes de contaminação	
	Saneamento <i>in situ</i>	Práticas agrícolas
Elevado	Coberturas da rede de esgoto inferior a 25% e densidade populacional superior a 100 pessoas/ha	Culturas comerciais intensivas, geralmente monoculturas em solos bem drenados, em climas úmidos ou com baixa eficiência de irrigação, pasto intensivo em campos intensamente fertilizados.
Moderado	Intermediário entre elevado e reduzido	
Reduzido	Coberturas da rede de esgoto superior a 75% e densidade populacional inferior a 50 pessoas/ha	Rotação das culturas, terra para pasto extensivo, sistemas de cultivo ecológico, plantações com alta eficiência de irrigação em regiões áridas e semiáridas.

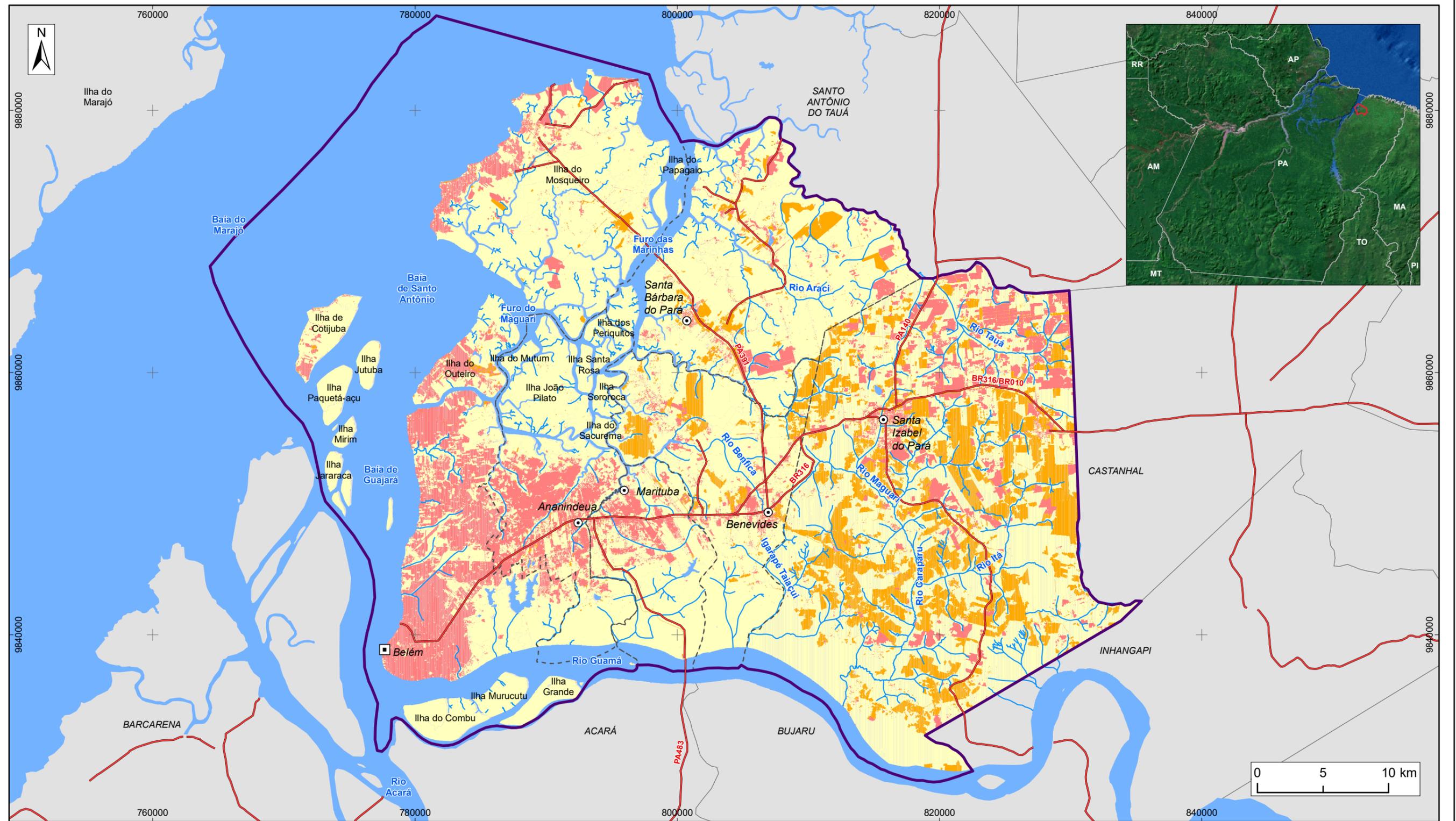
A Região de Belém é classificada em grande parte, nas áreas em vermelho, com *potencial elevado* de gerar carga contaminante no subsolo em razão da baixa cobertura de rede de esgoto aliada a uma elevada densidade populacional, como se pode verificar nas cidades de Belém e Ananindeua.

Conforme a classificação de *POSH*, as possíveis culturas presentes na área foram classificadas com potencial elevado de contaminação, devido ao clima úmido da Região de Belém e à adoção de culturas intensivas, geralmente monoculturas. Baseado na classificação do Mapa de Uso e Ocupação do Solo observa-se que as mesmas, segundo Gomes (2008), poderiam ser classificadas como risco alto ou médio de contaminação da água subterrânea devido à prática adotada, em geral, de solo bem manejado. Como mencionado anteriormente, neste item também não houve retorno da ADEPARÁ com dados para incrementar a avaliação.

Ainda, segundo Gomes (2008), o potencial de infiltração classificado como alto (em decorrência da alta condutividade hidráulica e da baixa declividade da área) indica alta vulnerabilidade a contaminação do compartimento água do lençol freático, com possibilidade de chegada do produto contaminante até os corpos d'água mais profundos ou à zona saturada. Ainda, segundo o autor, o potencial de escoamento superficial classificado como alto, por sua vez, indica que a área é mais vulnerável à erosão e à contaminação dos corpos d'água superficiais. Haverá perda de fertilidade e remoção de pesticidas do compartimento solo, via transporte pluvial, até os cursos d'água.

Ribeiro (2007) comenta que o monitoramento de pesticidas no ambiente é uma ferramenta importante para a caracterização e o gerenciamento dos riscos ambientais decorrentes do uso desses produtos em condições reais e pode fazer parte da avaliação no processo de registro de novos produtos ou da reavaliação de produtos em uso. A avaliação da mobilidade de pesticidas no solo pode envolver aproximações diretas, quando envolvem o estudo do comportamento do pesticida aplicado no solo; ou indiretas, baseadas na medida de parâmetros que utilizam modelos para avaliação do potencial de lixiviação dos pesticidas.

A Figura 56 mostra o mapa do potencial de geração de carga difusa contaminante no subsolo, obtido a partir da reclassificação do mapa de uso do solo.



LEGENDA

- ▣ Capital Estadual
- ⊙ Sede Municipal
- ~ Hidrografia
- Rodovia
- ☪ Massa d'água
- ⊕ Área de Estudo
- Limite municipal
- Potencial de geração de carga difusa contaminante no subsolo**
- Elevado
- Moderado
- Reduzido

Figura 56 - Mapa do potencial de geração de carga difusa contaminante no subsolo, obtido a partir da reclassificação do mapa de uso do solo



ESTUDOS HIDROGEOLÓGICOS PARA A GESTÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DA REGIÃO DE BELÉM/PA

Fonte: Rodovias: SEMAS/PA. Limites políticos: IBGE, 2010.
Hidrografia: CPRM. Potencial contaminante: ANA/PROFILL, 2017
Ilhas: adaptado de SEMAS/PA

Sistema de Coordenadas:	UTM
Datum Horizontal:	SIRGAS 2000
Unidade:	Metros
Fiscalização:	ANA
Data:	Junho/2018
Arquivo:	Figura_56_Mapa_Fontes_difusas_A3
Escala:	1:290.000

3.2.4.1 Saneamento *in situ*

O déficit do sistema de esgoto sanitário da região de Belém, associado ao rápido crescimento populacional, resultou em grandes áreas que dependem de sistemas de saneamento *in situ*, como latrinas e fossas sépticas. Segundo Foster *et al.* (2002), isso acarreta na percolação do líquido efluente no solo e, em locais com solos permeáveis, resulta em recarga do aquífero. As partes sólidas, quando não adequadamente removidas, são progressivamente lixiviadas pela água da chuva e/ou outros fluídos que se infiltram.

Os efluentes domésticos são compostos principalmente por excrementos humanos e águas servidas. Contém aproximadamente 0,2 a 0,6 g/L de matéria orgânica por peso e têm altas concentrações de carbono e nitrogênio na forma reduzida, apresentando também substâncias orgânicas antropogênicas e microorganismos patogênicos (TCHOBANOGLIOUS apud WILHELM *et al.*, 1994).

As fossas sépticas podem ser consideradas sistemas geoquímicos, onde os constituintes dos efluentes reagem entre si, com o meio poroso e com gases presentes nesse ambiente (WILHELM *et al.*, 1994). O amônio liberado desse ambiente é transformado em nitrito e na sequência em nitrato, por processo de oxidação (nitrificação) e penetra livremente no subsolo, embora possa ser adsorvido pelo solo ou plantas.

O saneamento *in situ*, aliado aos altos índices de vazamentos na rede de água, em geral, resulta em alta sobrecarga hidráulica e elevadas taxas de recarga dos aquíferos nas áreas urbanas. Por esse motivo, essa situação gera uma característica de fonte difusa, pela sua multiplicidade quanto a uma distribuição espacial desordenada, impossibilitando a identificação pontual da geração de carga contaminante.

De acordo com o Censo 2010 (IBGE, 2010), 54,5% dos domicílios de Belém estão localizados nos chamados “aglomerados subnormais”, denominação utilizada pelo IBGE para assentamentos irregulares. Tais ocupações podem ser também conhecidas como favelas, invasões, grotas, baixadas, comunidades, vilas, ressacas, mocambos, palafitas, entre outros, sendo que os mais populosos são: Baixadas da Estrada Nova Jurunas (53.105 habitantes), Assentamento Sideral (39.706 habitantes), Baixadas do Condor (38.863 habitantes), Bacia do Tucunduba-Terra Firme (35.106 habitantes) e Bacia do Una-Telégrafo (30.007 habitantes).

Nessas áreas de ocupação espontânea, normalmente são ausentes os serviços básicos (saneamento, eletricidade, arruamento, escolas, postos de saúde, etc.) (ZEE, 2010) (Figura 57, Figura 58, Figura 59 e Figura 60).



Figura 57 - Esgoto a céu aberto na Ilha de Mosqueiro.



Figura 58 - Canaletas da rede de esgoto quebradas na Ilha de Mosqueiro.



Figura 59 - Moradias, construídas sobre os canais, com despejo *in situ* de efluentes, Ilha de Mosqueiro/Belém.

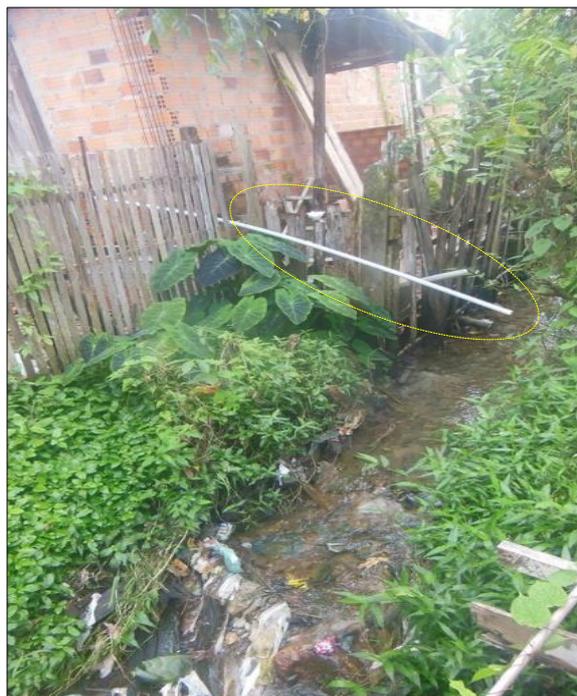


Figura 60 - Residências lançam os efluentes diretamente sobre o canal, em Mosqueiro/Belém.

Como pode ser observado no Quadro 20, em 2010, apenas 27,9% dos domicílios eram atendidos por rede coletora e 31,9% dos domicílios possuíam fossa séptica. Isso significa que 40,3% dos domicílios localizados nos municípios da região de Belém utilizam soluções alternativas, como fossas rudimentares, valas e cursos d'água. Dessa forma, segundo a classificação *POSH*, a região de Belém é classificada em grande parte, com

potencial elevado de gerar carga contaminante no subsolo em razão da baixa cobertura de rede de esgoto aliada a uma elevada densidade populacional, como se pode verificar, principalmente, nas cidades de Belém e Ananindeua.

Quadro 20 – Proporção de domicílios atendidos pela rede geral de esgoto ou pluvial e por fossa séptica – Censos 2000 e 2010 (%)

Unidade Territorial	Total				Urbano				Rural			
	Rede geral	Rede geral	Fossa Séptica	Fossa Séptica	Rede geral	Rede geral	Fossa Séptica	Fossa Séptica	Rede geral	Rede geral	Fossa Séptica	Fossa Séptica
	2000	2010	2000	2010	2000	2010	2000	2010	2000	2010	2000	2010
Ananindeua	6,8	11,5	72,9	43,9	6,9	11,5	73	44	-	-	7	0,3
Belém	25,7	37,6	49,4	30,8	25,9	38	49,5	30,9	0,2	0,5	24,1	11,6
Benevides	0,2	1,3	59	16,1	0,3	1,8	64	15,3	0,1	0,7	51,9	17,1
Marituba	0,5	4,3	58,5	14,9	0,5	4,2	60,7	14,7	0	11,7	43,9	29,7
Santa Bárbara do Pará	0,3	1	50,8	9,2	0,7	2,6	67,3	6,8	-	0,3	42,5	10,3
Santa Izabel do Pará	0,5	0,9	46,1	10,2	0,6	1,1	50,9	10,5	0,1	0,2	28,4	9,2
Total	19,4	27,9	55	31,9	19,9	28,7	55,4	32,5	0,1	0,7	39,4	13

Fonte: IBGE - Censo Demográfico

Na Figura 61 são apresentados os tipos de esgotamento sanitário utilizados nos domicílios, por setor censitário, separados entre Aglomerados Subnormais (AS) e demais setores do município. Na classe “Outros” estão agrupados os domicílios que destinam o esgoto para fossas rudimentares, valas, corpos hídricos ou que não possuem banheiro ou sanitário na residência.

A situação mais crítica ocorre nos municípios de Benevides e de Marituba onde predominam destinos alternativos do esgoto, com destaque para os aglomerados subnormais: 95,2% dos domicílios de Benevides usa outras formas de destino do esgoto, com predominância de vala, e 83,7% dos domicílios de Marituba, com destaque para fossas rudimentares.

Em Ananindeua o percentual de uso de fossa séptica em domicílios localizados em aglomerados subnormais e demais domicílios é semelhante (44%). A maior diferença é observada na proporção de domicílios atendidos por rede de esgoto, que chega a 17,6% nos domicílios localizados fora de aglomerados subnormais, enquanto em aglomerados subnormais o percentual de domicílios atendidos por rede de esgoto é apenas 7,6%.

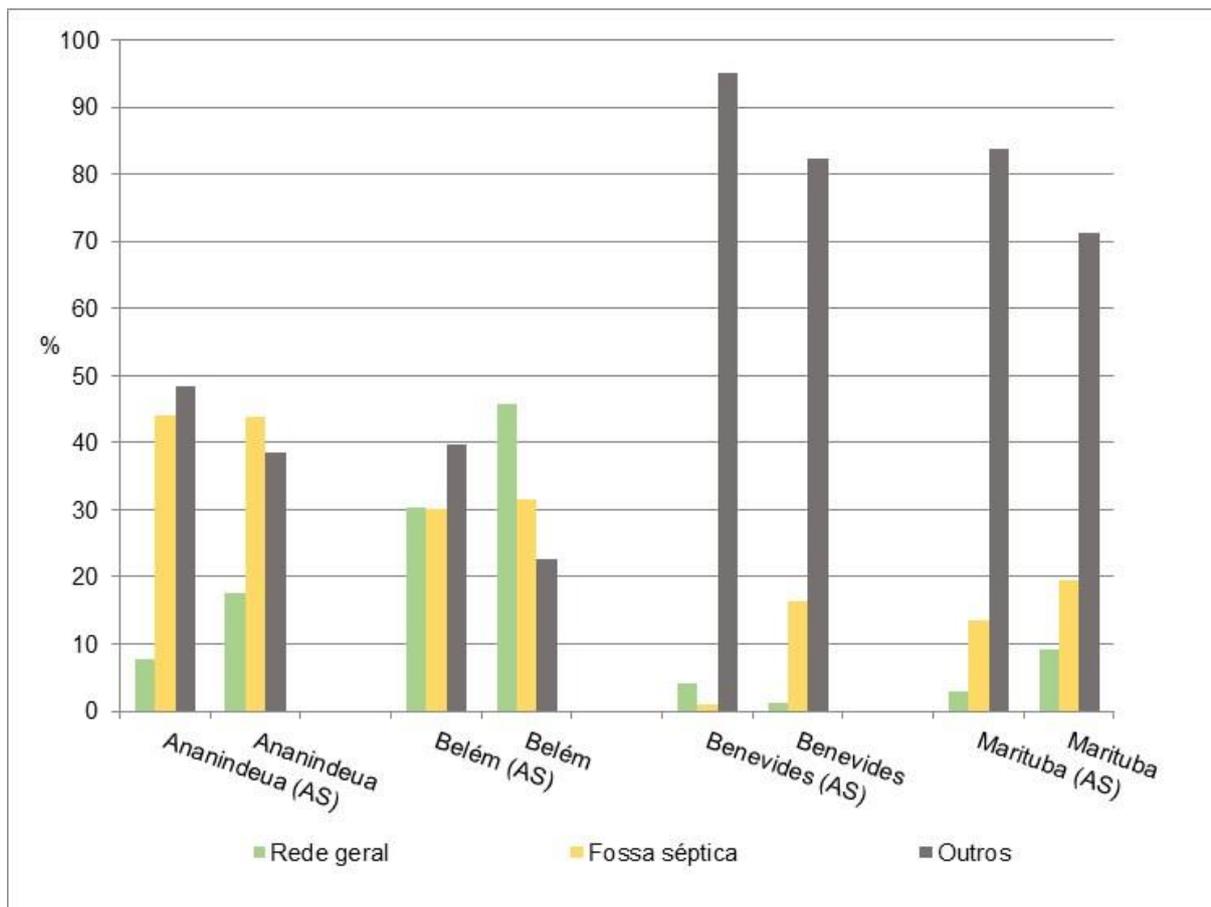


Figura 61 - Tipo de esgotamento sanitário por domicílio, em 2010, separados por localização em Aglomerado Subnormal (AS) ou não (Fonte: Elaborado a partir de IBGE - Censo Demográfico).

3.2.4.2 Práticas Agrícolas

As áreas agrícolas também exercem importante influência na exposição das águas superficiais e subterrâneas à contaminação. Algumas práticas agrícolas podem estar associadas à contaminação difusa, principalmente pelo uso de fertilizantes e agroquímicos, dispersados principalmente pela via aérea ou aquática, e, portanto, de difícil mapeamento. Esse é o caso, especialmente, das áreas com solos relativamente pouco espessos e de rápida drenagem. Outros nutrientes essenciais para as plantas, como o potássio e o fosfato, tendem a ficar retidos no solo sendo sua lixiviação para a água subterrânea não muito significativa.

De acordo com Resende (2002), a principal contribuição da agricultura na degradação dos mananciais se dá por meio da contaminação dos cursos d'água por substâncias orgânicas ou inorgânicas, naturais ou sintéticas e, ainda, por agentes biológicos. Além disso, o amplo emprego, muitas vezes de forma inadequada, de fertilizantes e agroquímicos é tido como um dos principais riscos à manutenção da qualidade da água.

As áreas de cultivo constituem apenas 3,45% da Região de Belém e estão concentradas na porção nordeste, com destaque para os municípios de Santa Izabel do Pará e Santa Bárbara do Pará. Diferentemente dos demais municípios, Santa Bárbara do Pará continua concentrando mais de 68% da sua população na área rural.

Em geral, a ocupação das áreas rurais ocorre de forma intensiva e desordenada, em um contexto ambiental com suscetibilidades relacionadas a solos constituídos por sedimentos não litificados e porções em que o aquífero superficial é muito raso ou aflorante.

O setor agropecuário é pouco representativo na Região de Belém, correspondendo a apenas 0,52% na composição deste indicador (Quadro 21). Santa Izabel do Pará apresentou-se como o município onde a agropecuária é mais expressiva, representando 16,16% do total. Esse município destaca-se pela produção pecuária, possuindo um rebanho significativo de galináceos, o qual ultrapassou 8,6 milhões de cabeças no ano de 2015. Além disso, faz parte do polo de produção de dendê do Guamá. De acordo com PARÁ (2015), a produção paraense de dendê é efetuada com a integração de contingente significativo de pequenos agricultores familiares, que passaram a se inserir em uma cultura de mercado e, dessa forma, puderam elevar o seu nível de renda.

Quadro 21 – Produto Interno Bruto (PIB) municipal total e participação por setor (Fonte: IBGE – Produto Interno Bruto dos Municípios – ano de referência: 2014).

Unidade Territorial	% agropecuária	% indústria	% serviços	PIB (Mil Reais)
Ananindeua	0,23	20,12	79,65	5.777.643
Belém	0,25	17,67	82,08	28.706.165
Benevides	0,63	43,39	55,98	1.051.903
Marituba	0,28	15,10	84,63	1.421.180
Santa Bárbara do Pará	5,78	27,99	66,23	121.341
Santa Izabel do Pará	16,16	13,76	70,08	553.703
Total	0,52	18,61	80,87	37.631.935

3.3 MAPEAMENTO DO USO DO SOLO

O mapeamento do uso do solo da Região de Belém foi elaborado a partir da análise e interpretação de imagens *RapidEye* que possuem alta resolução espacial (5 m, reamostrada) e radiométrica (12 bits). Sua aquisição foi realizada em cinco bandas de faixas espectrais que vão do azul (iniciando em 440 nm) ao Infravermelho (encerrando em 850 nm) com a mesma resolução espacial. As cenas *RapidEye* utilizadas neste trabalho estão listadas no Quadro 22.

Quadro 22 – Cenas do satélite *RapidEye* utilizadas neste trabalho e a data de aquisição das imagens.

Cena	Data
2238626	03/08/2012
2238627	01/08/2013
2238526	03/08/2012
2238527	01/08/2013
2238528	01/08/2013
2238426	03/08/2012
2238427	03/08/2012
2238428	01/08/2013
2238326	03/08/2012
2238328	01/08/2013

3.3.1 Pré-processamento das imagens

O processamento das imagens *RapidEye* partem da escolha de uma composição de bandas que possua realce adequado aos alvos de mapeamento. Para esse trabalho, após alguns testes, foi escolhida a composição RGB 532 (Figura 62). A geração das imagens compostas com essa disposição de bandas foi realizada através da ferramenta *Composit Bands* do software ArcGis® 10.3.

Essa ferramenta propicia que um único arquivo *raster* seja gerado a partir da combinação de bandas. Neste estudo foram utilizadas as bandas 5 (Infravermelho próximo – 760 a 880 nm), 3 (Vermelho – 630 a 690 nm) e 2 (Verde – 520 a 590 nm). Geradas as composições, iniciou-se o processo de segmentação, como propõem Dlugosz *et al.* (2009):

“[...] O ato de segmentar uma imagem consiste em agrupar pixels com características similares em termos tonais e texturais, formando regiões homogêneas. Essas regiões são correspondentes às feições da superfície terrestre e irão servir de base para a análise e cartografia temática.” (DLUGOSZ *et al.*, 2009)

Para o processo de segmentação foi utilizada a ferramenta *Segment Mean Shift* do software ArcGis® 10.3. Na geração da imagem segmentada, essa ferramenta possibilita a escolha de dois importantes parâmetros:

- (i) **Suavização Espacial:** nível de importância dado às diferenças espectrais. Foi utilizado o Vetor 17;
- (ii) **Suavização Espectral:** nível de importância dado à proximidade. Foi usado o Vetor 10.



Figura 62 – Amostra da composição RGB532.

3.3.1.1 *Classes de Uso do Solo*

As classes de uso e cobertura do solo foram definidas a partir do Projeto Básico, que indicava classes ao mapeamento. Como complementação à nomenclatura e tipologia foi consultado o Documento nº 126 da EMBRAPA (WATRIN *et al.*, 1998). Assim, as classes utilizadas neste mapeamento são:

- **Área Edificada:** cidades, vilas e áreas de rodovias, incluindo áreas residenciais, comerciais e de serviços;
- **Capoeira:** se refere às formações vegetais antrópicas que se estabeleceram a partir do processo de derruba e queima da floresta para o estabelecimento de atividade

agropecuária. Estão inseridos nesta classe todos os estágios de sucessão da vegetação secundária que possuem estrutura e densidade variáveis, podendo, muitas vezes, ter nomes específicos. Neste trabalho são identificados pelo nome genérico de "capoeira", devido às limitações de mapeá-los separadamente (WATRIN *et al.*, 1998);

- **Corpo d'Água:** áreas ocupadas por corpos d'água lóticos ou lênticos;
- **Cultura Permanente:** áreas de cultivo que não são replantados anualmente ou em período menor. Áreas de pomares e florestamento foram adicionadas a esta classe;
- **Cultura Temporária:** áreas de cultivo que possuem ciclo vegetativo inferior a um ano;
- **Floresta Ombrófila Densa:** apresenta-se como matas pesadas (grande biomassa), com grande quantidade de espécies por unidade de área (mata mista) e significativa presença de epífitas. Nesta unidade estão incluídas todas as áreas de mata densa com diferenças estruturais proporcionadas pela localização ambiental e posição topográfica que ocupam no terreno (WATRIN *et al.*, 1998);
- **Mineração:** áreas utilizadas em atividades de mineração, como lavra ou garimpo;
- **Pecuária:** áreas de pastagens cultivadas ou não, que se destinam às atividades de pastoreio;
- **Solo Exposto:** áreas que estão sendo preparadas para a implantação de cultura agrícola ou pastagem, sendo a taxa de cobertura do terreno inferior a 30%, ou seja, há um predomínio do solo na resposta espectral. Tal classe pode estar ainda ligada a áreas definidas pelos núcleos populacionais ou, em menor proporção, por pequenas manchas degradadas sobre solos arenosos (WATRIN *et al.*, 1998).

3.3.1.2 Classificação das Imagens

Na classificação das imagens utilizou-se uma estratégia mista a partir do dado segmentado. Para determinados alvos foi possível realizar a classificação supervisionada, através da ferramenta *Maximum Likelihood Classification*, em outros alvos, devido, principalmente, a confusão na identificação com áreas de nuvens e sombras, foi necessária a identificação de limiares definidores das classes e de transição.

Na utilização da classificação supervisionada foram executadas as seguintes etapas:

- (i) Coleta de amostras das classes;

(ii) Geração da assinatura que é um processo que gera, a partir das amostras coletadas, estatísticas de imagem através da utilização da ferramenta *Create Signatures*;

(iii) Classificação da imagem, por máxima verossimilhança, utilizando a ferramenta *Maximum Likelihood Classification*.

Os produtos gerados pela classificação supervisionada foram analisados. Porém, foi encontrada uma grande quantidade de erros do classificador nas áreas de nuvens e sombras. Para a identificação e eliminação desses erros de classificação foram identificados, para cada imagem, limiares de valores nas áreas de “confusão”.

Tendo esses valores identificados, as áreas foram localizadas e, utilizando imagens de servidores gratuitos (Google Earth®, Bing®, etc.), essas áreas foram redesenhadas e reclassificadas. Além das áreas de “confusão” foram identificadas, através dos limiares, classificações equivocadas em áreas que não possuíam influência de nuvens e sombras.

Como processo final de classificação, toda a Região de Belém foi revisada, buscando a identificação e eliminação de erros de classificação via edição vetorial e tabular. A seguir, o banco de dados, até então contendo somente identificadores de classe, foi preenchido com a nomenclatura das classes.

3.3.1.3 Consistência Topológica

Com a área, totalmente, classificada foram realizados processos que garantem a coesão lógica e topológica do dado espacial. Para isso foi utilizada a estrutura de topologia (*Topology*) que permite, a partir de regras pré-definidas, a validação das feições.

Para a validação do mapeamento foram utilizadas duas regras de consistência, como a *Must Not Overlap* que identifica a área de sobreposição entre as feições e a *Must Not Have Gaps* que reconhece áreas vazias (buracos) entre os polígonos. A eliminação dessas inconsistências foi realizada através de edição vetorial.

3.3.2 Resultado

Os diversos tipos de uso e ocupação do solo, principalmente aqueles resultantes de atividades antrópicas, influenciam em maior ou menor grau nas condições do ambiente onde ocorrem. No que se refere à influência do uso do solo nos recursos hídricos,

os impactos mais diretos, principalmente no tocante à qualidade, se dão nos corpos d'água superficiais.

Resende (2002) declara que, em princípio, os aquíferos encontram-se mais protegidos da contaminação, mas essa pode ocorrer quando a água da chuva ou de irrigação, ao percolar no solo, arrastar consigo substâncias dissolvidas que poderão ter como destino o lençol freático ou os aquíferos profundos.

Os perfis naturais do subsolo atenuam muitos poluentes da água e são considerados potencialmente eficazes para a eliminação segura de excretas humanas e de águas residuais domésticas. No entanto, nem todos os perfis do subsolo e estratos subjacentes são igualmente eficazes na atenuação dos contaminantes, e os aquíferos serão particularmente vulneráveis à poluição onde, por exemplo, estão presentes rochas altamente fissuradas consolidadas.

O grau de atenuação também variará amplamente com os tipos de poluentes e processos poluentes em qualquer ambiente. A poluição dos aquíferos ocorre quando a carga contaminante gerada por descargas e lixiviados do homem (de atividades urbanas, industriais, agrícolas e mineradoras) é inadequadamente controlada e em certos componentes excede a capacidade natural de atenuação dos solos e estratos sobrepostos (FOSTER *et al.*, 2013).

Segundo Tucci (2002), as principais condições de contaminação dos aquíferos urbanos são devido a:

- Aterros sanitários contaminam as águas subterrâneas pelo processo natural de precipitação e infiltração. Por isso, deve-se evitar que sejam construídos aterros sanitários em áreas de recarga e deve-se procurar escolher as áreas com baixa permeabilidade.
- Grande parte das cidades brasileiras utilizam fossas sépticas como destino final do esgoto. Esse conjunto tende a contaminar a parte superior do aquífero. Esta contaminação pode comprometer o abastecimento de água urbana quando existe comunicação entre diferentes camadas dos aquíferos através de percolação e de perfuração inadequada dos poços artesianos;
- A rede de condutos de pluviais pode contaminar o solo através de perdas de volume no seu transporte e até por entupimento de trechos da rede que pressionam a água contaminada para fora do sistema de condutos.

No estudo hidrogeológico da Região Metropolitana de Belém e adjacências (CPRM, 2002a) foi identificado o comprometimento qualitativo de praticamente todos os cursos d'água e os aquíferos mais superficiais. Ainda segundo este estudo, as principais fontes potenciais de poluição das águas subterrâneas correspondem a postos de combustíveis, a fossas, cemitérios e lixões.

O resultado do mapeamento do uso do solo na Região de Belém, obtido a partir do processamento das imagens do satélite *RapidEye* é apresentado na Figura 63, na Figura 64 e no Quadro 23.

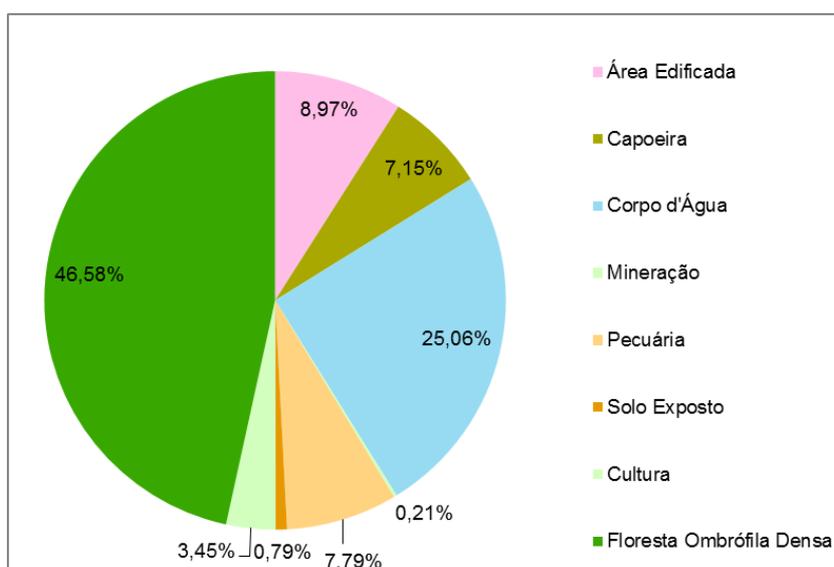


Figura 63 – Proporção das classes de uso do solo na Região de Belém.

Como pode ser observado no gráfico da Figura 63, a Floresta Ombrófila Densa configura a principal classe de uso do solo, sendo encontrada em toda a Região de Belém, e ocupando 46,58% do total. Os talhões maiores e menos fragmentados são observados nas porções sul e oeste da área, com destaque para o Refúgio de vida silvestre Metrópole da Amazônia, a APA da Ilha do Combu, e as ilhas Murucutu, Grande, João Pilato e dos Periquitos. Quase 60% da Floresta Ombrófila Densa está localizada nos municípios de Santa Izabel do Pará e Belém.

A Região de Belém possui um valor significativo de áreas aquáticas (classe Corpos D'água). A maior concentração de corpos d'água ocorre em Belém (88,7%), sendo que os mais representativos são as Baías de Marajó, do Guajará, de Santo Antônio e o Rio Guamá.

Quadro 23 – Classe de uso do solo por município (km²).

Classe	Ananindeua	Belém	Benevides	Marituba	Santa Bárbara do Pará	Santa Izabel do Pará
Área Edificada	44,97	131,78	13,40	15,88	5,74	16,18
Capoeira	17,40	61,73	25,63	12,77	22,00	42,04
Corpo d'Água	20,15	564,35	7,58	6,92	16,69	20,93
Mineração	0,95	1,71	0,23	1,67	0,52	0,18
Pecuária	0,00	2,08	18,92	0,01	15,12	161,74
Solo Exposto	1,28	3,97	2,66	1,13	2,47	8,69
Cultura	0,01	5,73	0,66		13,09	68,16
Floresta Ombrófila Densa	105,98	289,41	119,03	65,12	202,94	400,99

As Áreas Edificadas correspondem ao tipo de ocupação antrópica mais representativa na Região de Belém, recobrando 8,97% da área total. Na região, boa parte da área urbanizada é caracterizada por ocupações precárias, com baixo índice de atendimento de serviços de saneamento, o que, associado à elevada densidade demográfica, eleva os riscos de contaminação dos recursos hídricos tanto superficiais quanto subterrâneos. As áreas urbanizadas estão concentradas na porção sudoeste da área, sendo que os municípios onde são observadas as maiores áreas urbanizadas são Belém e Ananindeua.

As áreas destinadas à Pecuária representam 7,79% da Região de Belém e estão concentradas na faixa leste, com destaque para o Município de Santa Izabel do Pará. Entre os seis municípios analisados, este é o que possui o maior rebanho bovino, com efetivo de 17.453 cabeças no ano de 2015 (IBGE, 2015b). Os principais impactos potenciais dessa atividade aos recursos hídricos correspondem à carga orgânica difusa gerada pelos animais e à compactação do solo provocada pelo pisoteamento do gado.

As áreas de cultivo constituem 3,45% da Região de Belém e estão mais concentradas na porção nordeste, com destaque para os municípios de Santa Izabel do Pará e Santa Bárbara do Pará. De acordo com Resende (2002), as principais contribuições da agricultura na degradação dos mananciais se dão por meio da contaminação dos cursos d'água por substâncias orgânicas ou inorgânicas, naturais ou sintéticas e ainda, por agentes biológicos. Além disso, o amplo emprego, muitas vezes de forma inadequada, de fertilizantes e pesticidas é tido como um dos principais riscos à manutenção da qualidade da água.

Quando somadas as áreas ocupadas por atividades antrópicas na Região de Belém, observa-se que estas constituem aproximadamente 20% da área total, evidenciando a prevalência de ambientes rurais. Contudo, em geral, essa ocupação ocorre de forma

intensiva e desordenada, em um ambiente estuarino frágil, o que tende a aumentar a pressão sobre os recursos naturais do local.

Unidades de Conservação (UC)

Na área estudo estão localizadas oito unidades de conservação, conforme lista apresentada no Quadro 24.

O Refúgio de vida silvestre Metrópole da Amazônia possui a maior área, abrangendo porções dos municípios de Ananindeua, Benevides, Marituba e Santa Izabel do Pará. Essa UC é caracterizada por sistemas aquáticos que contemplam o rio Guamá, pequeno furos e igarapés; ecossistemas de terra firme que contemplam copeiras, pastagens abandonadas e plantações de seringueira e urucum; e por ecossistemas de várzea, caracterizados por florestas preservadas (IDEFLOR-BIO, 2017). Quando analisadas as classes de uso do solo que ocorrem no local, observa-se amplo predomínio da Floresta Ombrófila Densa, a qual recobre 98,2% do total da Unidade.

A APA da Região Metropolitana de Belém é uma unidade de conservação estadual de uso sustentável, localizada nos municípios de Belém e Ananindeua. De acordo com o Decreto nº 1.551, de 03/05/1993, a criação dessa unidade tem os seguintes objetivos:

1 - assegurar a potabilidade da água dos mananciais, através da restauração e da manutenção da qualidade ambiental dos lagos Água Preta e Bolonha, do rio Aurá e respectivas bacias hidrográficas; 2 - ordenar o uso do solo; 3 - promover o saneamento ambiental e a urbanização das áreas ocupadas; 4 - promover a recuperação das áreas degradadas, incluindo o seu reflorestamento; preservar a biodiversidade representada pelas plantas, animais e ecossistemas das florestas de várzea, igapó e terra firme, remanescentes e em estágio de sucessão, e promover sua recuperação; 5 - preservar o Sítio Histórico do Engenho do Murutucu; 6 - possibilitar o adequado tratamento e reciclagem dos resíduos sólidos, dos afluentes industriais e dos resíduos oleosos; 7 - implementar a educação ambiental comunitária; 8 - apoiar e garantir a continuidade das pesquisas científicas desenvolvidas pelas diversas entidades e proteger as áreas institucionais destinadas a este fim; 9 - propiciar o desenvolvimento de atividades culturais, educativas, turísticas, recreativas e de lazer em espaços especialmente demarcados; 10 - valorizar os municípios de Belém e Ananindeua, permitindo o incremento do ecoturismo.

De acordo com o mapeamento do uso do solo realizado neste estudo, 69,0% desta APA estão ocupados com Floresta Ombrófila Densa. Destacam-se também as áreas edificadas, que ocupam 15,4% da APA.

Quadro 24 – Unidades de Conservação localizadas na Região de Belém.

Nome	Grupo	Esfera
Refúgio de vida silvestre Metrópole da Amazônia	Proteção Integral	Estadual
Área de Proteção Ambiental da Região Metropolitana de Belém	Uso Sustentável	Estadual
Área de Proteção Ambiental da Ilha do Combu	Uso Sustentável	Estadual
Parque Estadual do Utinga	Proteção Integral	Estadual
Parque Ecológico Ilha do Mosqueiro	Proteção Integral	Municipal
Parque Ecológico do Município de Belém	Proteção Integral	Municipal
Área de relevante interesse ecológico parque ambiental Antônio Danúbio Lourenço da Silva	Uso Sustentável	Municipal
Área de relevante interesse ecológico museu Parque Seringal	Uso Sustentável	Municipal

A Área de Proteção Ambiental da Ilha do Combu foi criada em 1997, com objetivo de proteger e restaurar a diversidade biológica, bem como, promover o desenvolvimento sustentável através do ordenamento dos recursos naturais e da melhoria da qualidade de vida da comunidade local (IDEFLOR-BIO, 2017). A ilha do Combu é a quarta maior ilha do Município de Belém, caracterizada por ecossistema típico de várzea, com paisagem florestal exuberante. No uso do solo mapeado neste estudo, observa-se que esta APA é bem preservada, com 95,1% da área sendo coberta pela Floresta Ombrófila Densa.

O Parque Estadual do Utinga foi criado em 1993 e está inserido no território dos municípios de Belém e Ananindeua. Segundo Pará (2013), tem entre os objetivos assegurar a potabilidade da água através do manejo dos mananciais e da recuperação das áreas degradadas; ampliar a vida útil dos reservatórios; proporcionar o desenvolvimento de atividades dinâmicas de educação ambiental; possibilitar a realização de pesquisas científicas; assegurar o desenvolvimento de atividades turísticas e de lazer e preservar a biodiversidade. Nesta Unidade de Conservação predominam as áreas de Floresta Ombrófila Densa, a qual ocupa 73,5 % da área total do Parque. Além disso, 19,9% da área é ocupada por corpos d'água, com destaque para os Lagos Bolonha e Água Preta, responsáveis por significativa parcela do abastecimento de água da Região Metropolitana de Belém.

O Parque Ecológico Ilha do Mosqueiro foi criado em 1988 e tem entre seus objetivos a proteção dos mananciais que abastecem de água a Vila do Mosqueiro e da flora e fauna remanescentes. Encontra-se bem preservado, sendo que, de acordo com o mapeamento do uso do solo, 95,4% da área do Parque é ocupado por Floresta Ombrófila Densa Aluvial.

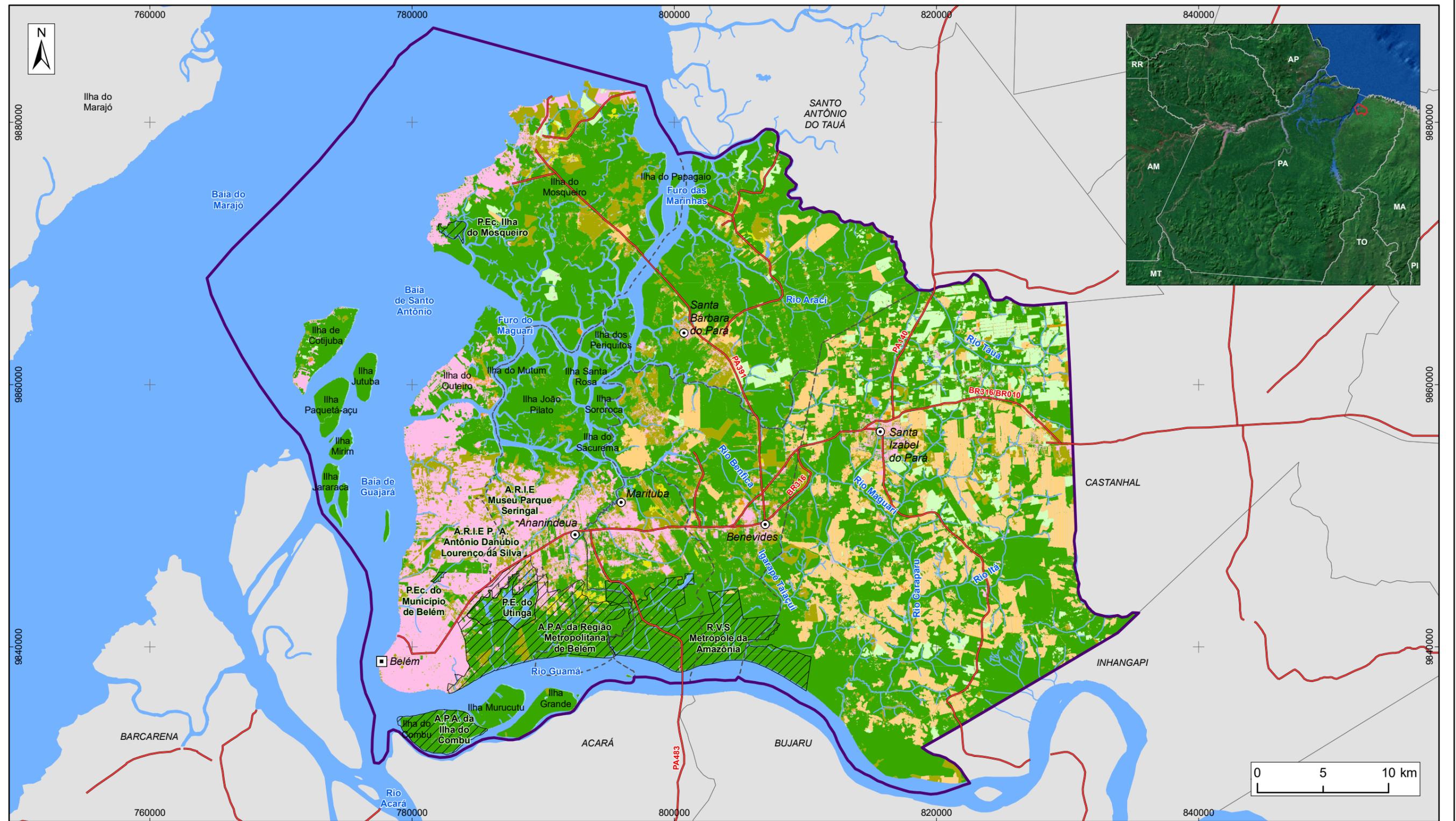
O Parque Ecológico do Município de Belém foi criado em 1991, por iniciativa dos habitantes do bairro, através da Associação dos Moradores do Médiçi, com a

reivindicação de criação de uma área com fins de preservação à biodiversidade local e com uma área de visitação destinada à população de Belém. Assim como as demais unidades citadas até o momento, o parque encontra-se bem preservado, com a maior parte da área sendo ocupada pela Floresta Ombrófila Densa (95,5%).

A Área de Relevante Interesse Ecológico parque ambiental Antônio Danúbio Lourenço da Silva está localizada no Município de Ananindeua, próximo à APA da Região Metropolitana de Belém. Foi criado em 2011 e tem como objetivos: manter o ecossistema natural de importância regional e local; garantir a preservação e a proteção da fauna e da flora ali existentes; promover a utilização dos componentes naturais na educação ambiental, com a finalidade de tornar a comunidade parceira na conservação do patrimônio natural do município; proporcionar à população condições de exercer atividades culturais, educativas, recreativas e de lazer em um ambiente natural equilibrado. Em sua área predomina a Floresta Ombrófila Densa, o qual ocupa 52% da área total da unidade, além disso, é a UC com maior proporção de áreas edificadas, as quais ocupam 45,2% do total.

A Área de Relevante Interesse Ecológico Museu Parque Seringal é a menor unidade de conservação da Região de Belém, ocupando pouco mais de 1 ha. Está localizada no Município de Ananindeua e foi criada em 2012, tendo como objetivos: manter o ecossistema natural de importância regional e local; garantir a preservação e a proteção da fauna e da flora ali existentes; promover a utilização dos componentes naturais na educação ambiental, com a finalidade de tornar a comunidade parceira na conservação do patrimônio natural do município; proporcionar à população condições de exercer atividades culturais, educativas, recreativas e de lazer em um ambiente natural equilibrado; resgatar a identidade patrimonial histórica e cultura locais, com destaque à valorização do Ciclo da Borracha no Município de Ananindeua. Os usos do solo predominantes são a capoeira, a qual ocupa 63,9% da área total da unidade, e área edificada, com 31,6%.

No geral, observa-se que as Unidades de Conservação da Região de Belém estão bem preservadas. Além disso, destaca-se a motivação de criação de algumas delas, que estão voltadas para a preservação e manutenção da qualidade da água dos mananciais da região.



LEGENDA

- | | | |
|--------------------|------------------------------|----------------------------|
| ▣ Capital Estadual | --- Limite municipal | ■ Cultura |
| ⊙ Sede Municipal | ▨ Unidade de Conservação | ■ Solo Exposto |
| ~ Hidrografia | Classe de uso do solo | ■ Capoeira |
| — Rodovia | ■ Mineração | ■ Floresta Ombrófila Densa |
| ■ Massa d'água | ■ Área Edificada | ■ Corpo d'Água |
| ■ Área de Estudo | ■ Pecuária | |

Figura 64 – Mapa de uso do solo nos municípios da Região de Belém

 ANA AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS	<p>ESTUDOS HIDROGEOLÓGICOS PARA A GESTÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DA REGIÃO DE BELÉM/PA</p>	Sistema de Coordenadas: UTM Datum Horizontal: SIRGAS 2000 Unidade: Metros Fiscalização: ANA Data: Junho/2018 Arquivo: Figura_64_Mapa_Uso_solo_A3
	Fonte: Rodovias: SEMAS/PA. Limites políticos: IBGE. Hidrografia: CPRM Uso do solo: PROFILL. Unidade Conservação: MMA/Prefeitura de Belém. Ilhas: adaptado de SEMAS/PA	Escala: 1:290.000

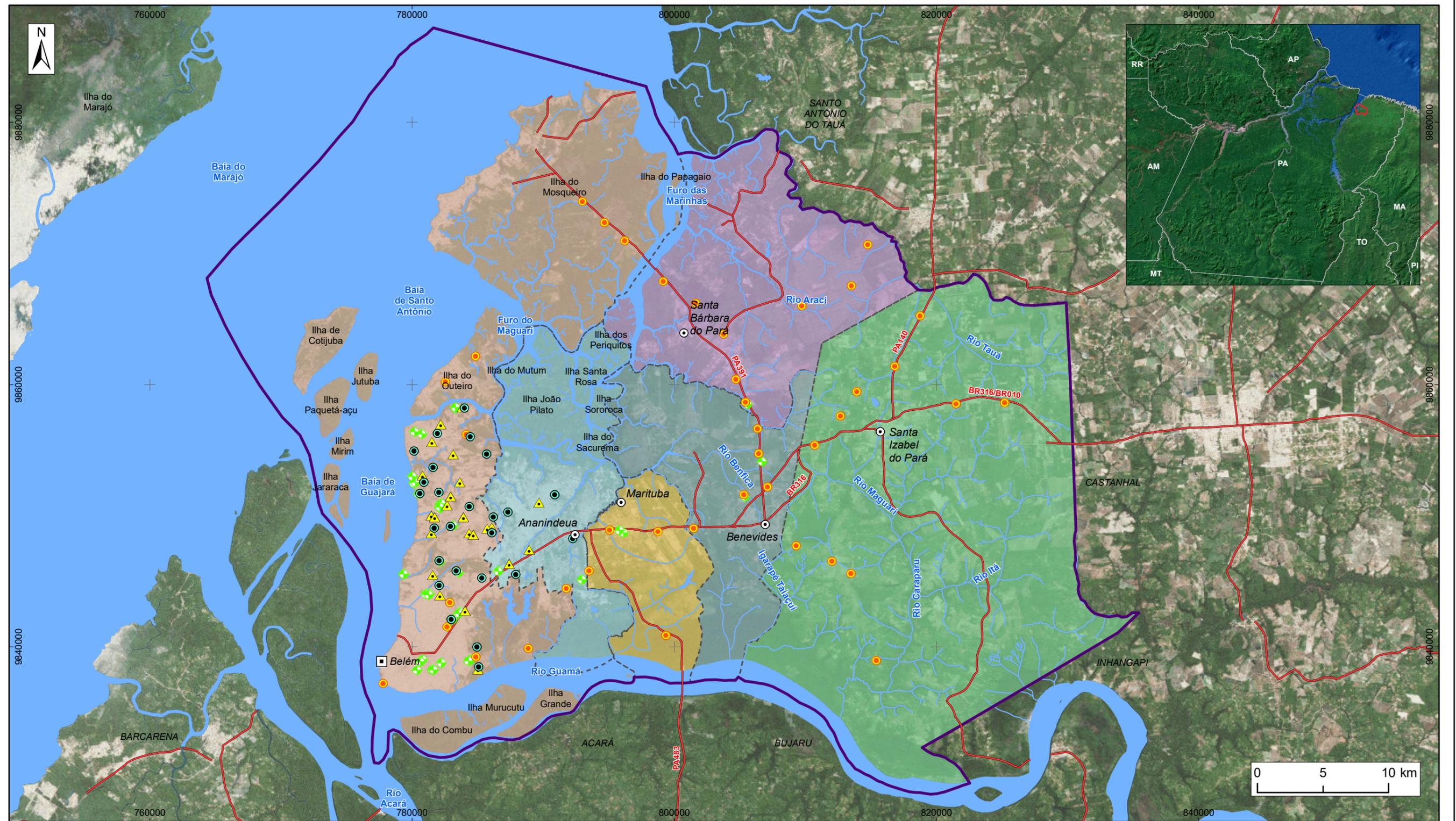
3.4 LEVANTAMENTOS GEOFÍSICOS DE SUPERFÍCIE

3.4.1 Introdução

Os serviços desenvolvidos neste estudo objetivaram determinar a distribuição espacial, espessura, litofácies e profundidade do nível d'água dos sistemas aquíferos correspondentes ao arcabouço hidrogeológico da Região de Belém, através do uso de técnicas e equipamentos modernos e de alto desempenho, possibilitando a aquisição de dados precisos e confiáveis. Portanto, empregou-se nestes estudos o Método da Eletrorresistividade, através da técnica de Sondagem Elétrica Vertical (SEV), além da busca de dados já existentes na literatura e outros levantamentos já realizados no âmbito de outros projetos na área.

Os dados obtidos de estudos anteriores, que contam com a aplicação de métodos geofísicos, foram integrados a este estudo. Assim, foram somadas às quarenta (40) sondagens elétricas verticais executadas para este projeto as informações de vinte e cinco (25) sondagens elétricas verticais e quarenta e um (41) poços com perfilagens geofísicas apresentadas em Mendes (2000) e os dados gravimétricos de Oliveira & Silva (2011). Além disso, foram também integradas à geofísica as informações de quarenta e quatro (44) poços tubulares profundos existentes na Região de Belém (Figura 65).

Da mesma forma que os dados disponibilizados por Mendes (2000), as informações de Oliveira & Silva (2011), relativas à gravimetria, também foram disponibilizadas e o banco de dados foi utilizado para gerar um novo mapa gravimétrico, o qual foi integrado às informações das SEV's para interpretação, principalmente, da estruturação regional da área investigada.



LEGENDA

- | | | |
|---|--|---|
| <ul style="list-style-type: none"> ▣ Capital Estadual ⊙ Sede Municipal ● SEVs Extraídas de Mendes (2000) ● Sondagem Elétrica Vertical (SEV) ◆ Poços - Integração Geologia/Geofísica ▲ Perfis Geofísicos (Perfilagens) | <ul style="list-style-type: none"> ~ Hidrografia — Rodovia ☪ Massa d'água ⊕ Área de Estudo - - - Limite municipal | <p>Município</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ Ananindeua ■ Belém ■ Benevides ■ Marituba ■ Santa Bárbara do Pará ■ Santa Izabel do Pará |
|---|--|---|

Figura 65 – Mapa de localização dos dados utilizados na integração entre Geofísica e Geologia: SEVs do projeto; SEVs (MENDES, 2000); Poços Tubulares (SIAGAS); Perfilagens Geofísicas (MENDES, 2000)



ESTUDOS HIDROGEOLÓGICOS PARA A GESTÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DA REGIÃO DE BELÉM/PA

Fonte: Rodovia: SEMAS/PA. Limites políticos: IBGE
 Hidrografia: CPRM. Ilhas: adaptado de SEMAS/PA
 SEVs: ANA/PROFILL, 2017; Mendes, 2000; Poços tubulares: SIAGAS

Sistema de Coordenadas:	UTM
Datum Horizontal:	SIRGAS 2000
Unidade:	Metros
Fiscalização:	ANA
Data:	Junho/2018
Arquivo:	Figura_65_Integração_Geofisica_Geologia_A3
Escala:	1:290.000

3.4.2 Resultados das SEVs

3.4.2.1 SEVs Paramétricas

Com base nas correlações feitas e nos resultados obtidos em trabalhos anteriores (MENDES, 2000; NASCIMENTO, 2003; PALHETA, 2008), a interpretação sugere que nas SEV's é possível identificar e estimar a profundidade do topo do Pirabas Superior e do topo do Pirabas Inferior. Dessa forma, as informações obtidas através das SEV's realizadas permitiram identificar e estimar as espessuras do Barreiras e da unidade Pirabas Superior, não sendo possível individualizar o Pós-Barreiras. As três unidades (Barreiras, Pirabas Superior e Pirabas Inferior), do ponto de vista geológico, apresentam curvas de variação da resistividade tipo H, com $\rho_1 > \rho_2 < \rho_3$, sendo que as resistividades da camada 1 (Barreiras) variam entre 400 ohm·m e 2.000 ohm·m, da camada 2 (Pirabas Superior) entre 5 ohm·m e 35 ohm·m, e da camada 3 (Pirabas Inferior) entre 60 ohm·m e 110 ohm·m.

3.4.2.2 SEVs Executadas

As resistividades médias do Barreiras, Pirabas Superior e Pirabas Inferior observadas nas SEV's não paramétricas são, respectivamente, 404 ohm·m, 27 ohm·m e 241 ohm·m, com as duas primeiras dentro da faixa definida nas SEV's paramétricas, e a terceira com valor um pouco acima do limite máximo verificado nestas últimas. No Quadro 25 são apresentadas as resistividades mínima, máxima, média e o desvio padrão das resistividades de cada uma das unidades delimitadas.

Quadro 25 - Valores de resistividade para cada unidade aquífera.

Unidade Aquífera	Resistividade Mínima	Resistividade Máxima	Resistividade Média	Desvio Padrão
Barreiras	30	1.000	404	263
Pirabas Superior	6	85	27	20
Pirabas Inferior	26	2.800	241	545

No interior do Barreiras as resistividades variam bastante, revelando que essa unidade se caracteriza por uma intensa intercalação de sedimentos arenosos e argilosos, com predomínio dos primeiros.

No Pirabas Superior as resistividades são mais homogêneas e muito baixas, indicando que nessa unidade há um predomínio de sedimentos mais argilosos na intercalação com os arenosos. Essa característica torna esse pacote sedimentar, no seu conjunto, menos interessante do ponto de vista do aproveitamento das águas subterrâneas, embora possam

ocorrer no seu interior níveis arenosos pouco espessos com alta porosidade e permeabilidade.

No Pirabas Inferior as resistividades variam bastante e são menos precisas, pois são definidas, muitas vezes, por um número menor de leituras, feitas no final das SEV's, nos AB's maiores, onde também o sinal lido é mais fraco.

O resultado da modelagem permitiu identificar e estimar a profundidade do nível freático no local de cada SEV, como será apresentado mais adiante. A resistividade média observada nas quarenta (40) SEV's para a zona saturada, ou seja, abaixo do nível freático, foi de 700 ohm·m.

De um modo geral, as SEV's realizadas mostraram um padrão bem definido de altas resistividades para o Barreiras, baixas para o Pirabas Superior e altas para o Pirabas Inferior, conforme verificado na correlação geológico-geofísica, apresentada anteriormente. Algumas SEV's, no entanto, possuem resposta distinta do padrão geral. Algumas iniciam com baixas resistividades desde uma profundidade muito pequena, sugerindo que o Barreiras ou tem uma espessura muito pequena, ou ocorre com uma variação de fácies, tornando-se muito mais argiloso do que o normal na região.

3.4.3 Reprocessamento de SEVs Existentes

A maior parte das SEV's levantadas neste projeto está localizada nos municípios adjacentes à cidade de Belém. Por outro lado, a grande maioria das SEV's levantadas por Mendes (2000) está localizada na cidade de Belém. A disponibilização dos dados pelo autor viabilizou a integração das informações coletadas no ano 2000 aos novos dados de SEV's obtidos neste estudo, em 2017. As vinte e cinco (25) SEV's disponibilizadas por Mendes (2000) foram colocadas no formato de arquivos de entrada do *software* de inversão *EarthImager 1D*[®], desenvolvido por AGI Advanced Geosciences Inc., que foi usado na inversão das SEV's realizadas neste estudo, e foram gerados os modelos 1D usando os mesmos parâmetros de inversão usados para estas últimas. Os dados de Mendes (2000) foram reprocessados utilizando o mesmo *software EarthImager 1D*[®], visando obter uma padronização dos resultados obtidos com as deste estudo.

Embora no detalhe possam ocorrer diferenças nos modelos obtidos por Mendes (2000) e no processamento atual, considera-se que, na essência, a interpretação de Mendes (2000), que identifica dois grandes sistemas aquíferos, sendo um até cerca de 160 metros de profundidade e o outro a partir dessa profundidade, mantendo-se como uma

referência para este estudo, já que no levantamento atual foi possível identificar o limite entre o Pirabas Superior e o Inferior na mesma faixa de profundidade, ou seja, em torno de 160 metros. Os resultados da modelagem 1D são apresentados no ANEXO V.

Dentre as vinte e cinco SEV's disponibilizadas por Mendes (2000), dezesseis (16) forneceram informações até a base do Pirabas Superior e vinte e uma (21) até a base do Barreiras. Vinte e duas (22) SEV's permitiram estimar a profundidade do freático.

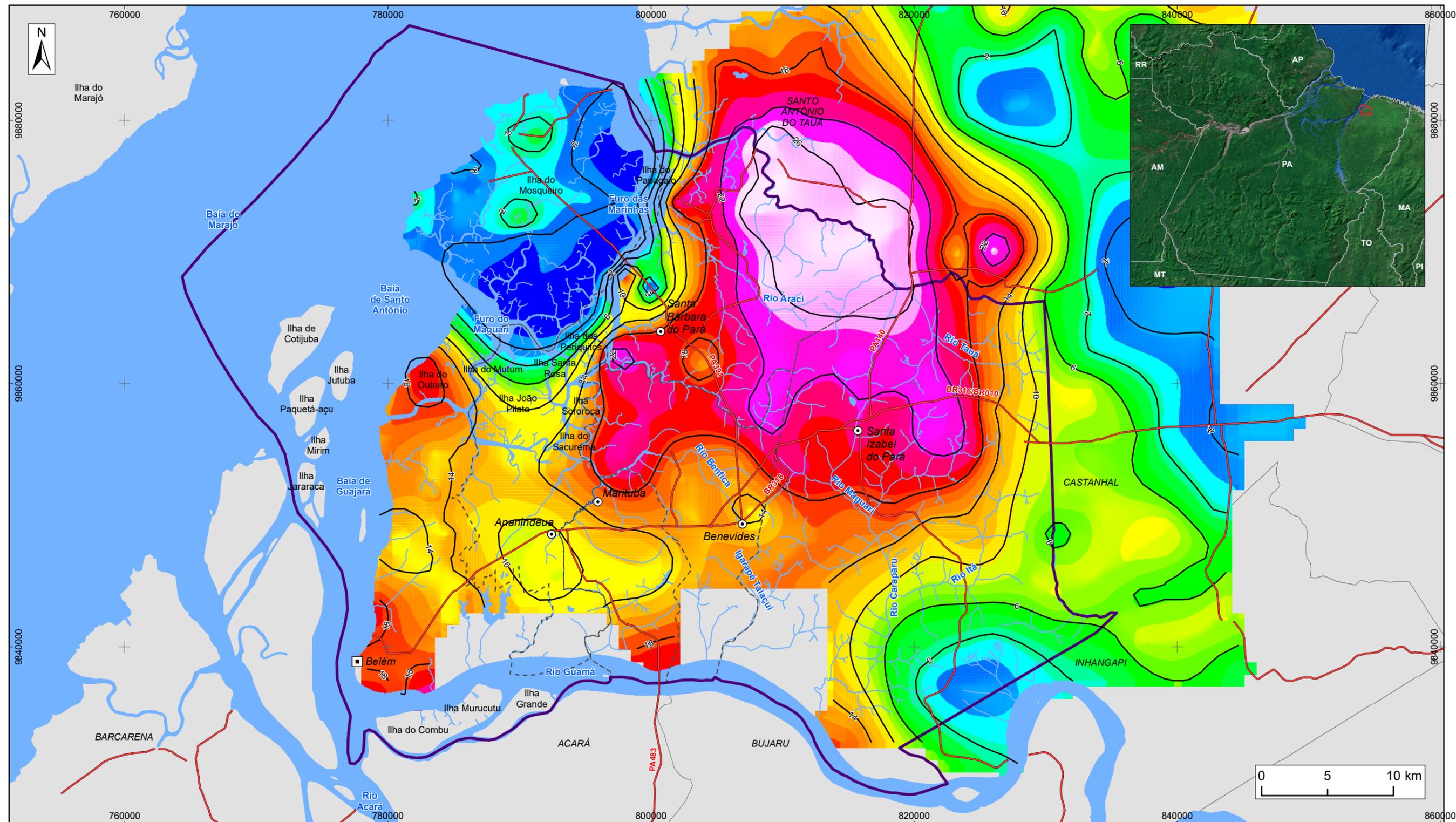
3.4.4 Reprocessamento dos Perfis Geofísicos Existentes

Foram disponibilizados quarenta e duas (42) perfilagens geofísicas de poços, contendo, normalmente, métodos raios gama, resistividade e potencial espontâneo (SP).

Dos poços perfilados por Mendes (2000), vinte e três (23) forneceram informações que foram utilizadas e somadas às das SEV's realizadas. Dentre esses, 20 definiram a profundidade da base do Barreiras, dezessete (17) da base do Pirabas Superior e três (3) são da base do Pirabas Inferior. O critério de interpretação foi examinar os perfis gama e de resistividade, considerando que o contato do Barreiras com o Pirabas Superior é marcado por um aumento de gama e/ou uma redução da resistividade, enquanto no contato entre o Pirabas Superior e o Inferior ocorre o contrário. Os dezenove (19) poços perfilados que não foram utilizados ou eram muito rasos ou os contrastes gama e resistividade entre as unidades não eram bem definidos.

3.4.5 Mapas Gravimétricos Reprocessados

A partir do banco de dados gravimétricos da CPRM (OLIVEIRA & SILVA, 2011) foram gerados os mapas Bouger (Figura 66), Bouger Regional (Figura 67) e o Residual com filtro gaussiano de 20 km (Figura 68). Além desses, foi gerado o Mapa Bouger Regional com filtro gaussiano de 10 km (Figura 69). Esse último permitiu identificar com mais detalhes os distintos blocos gravimétricos. Os blocos gravimétricos altos e baixos delimitados são interpretados como sendo provocados por altos e baixos do paleorrelevo do embasamento cristalino da bacia e os seus limites podem estar relacionados com zonas de falhas separando blocos soerguidos e rebaixados do embasamento.



LEGENDA

□ Capital Estadual	Bouguer (mGal)	6,003	15,810
⊙ Sede Municipal	-5,069	7,063	17,080
— Isolinas	-1,782	8,172	18,420
~ Hidrografia	-0,211	9,730	19,760
— Rodovia	1,364	11,460	21,800
☁ Massa d'água	2,910	13,210	24,690
⊕ Área de Estudo	4,626	14,530	28,390
- - - Limite municipal			

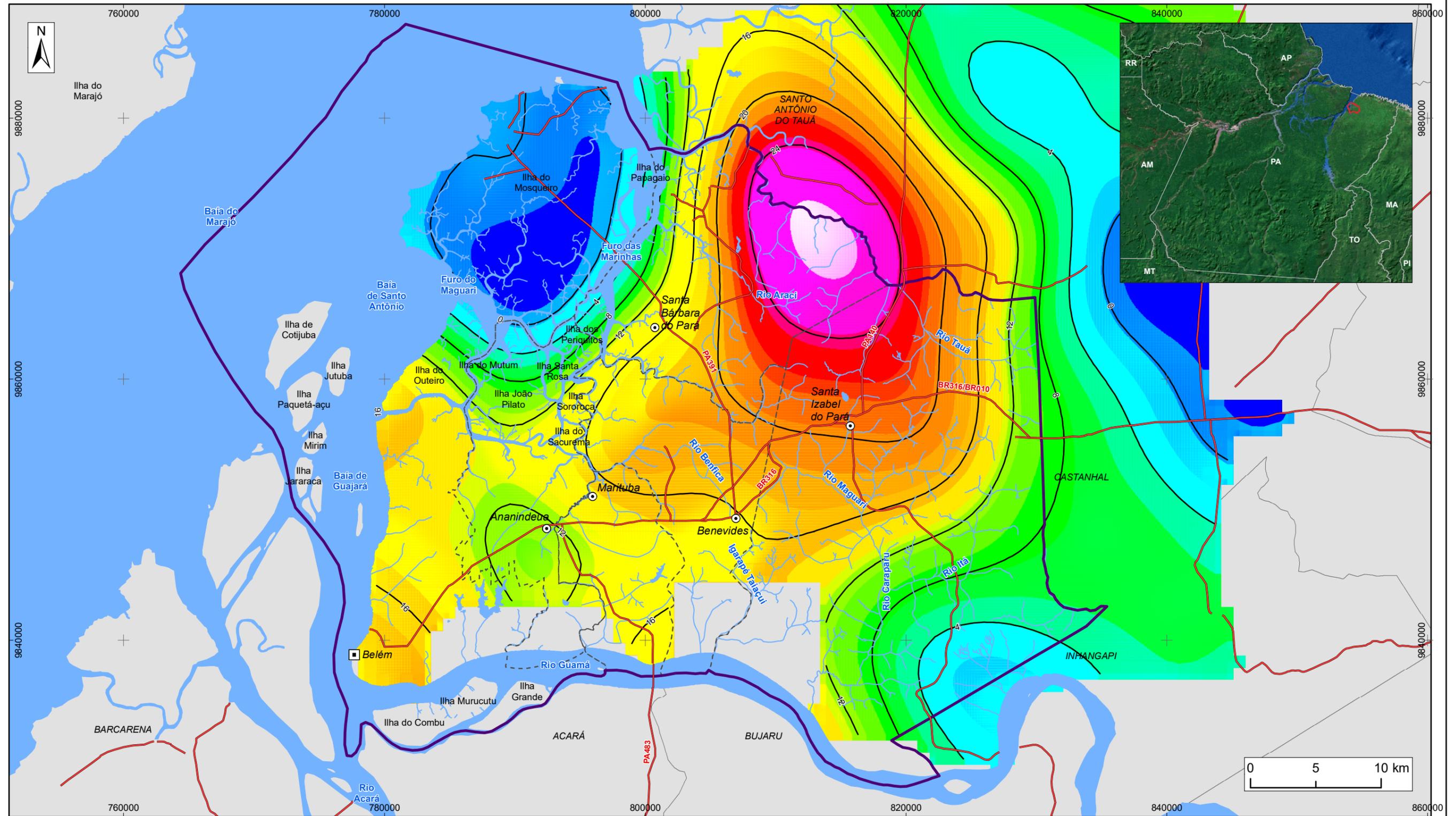
Figura 66 - Mapa Bouguer gerado a partir dos dados gravimétricos da CPRM (OLIVEIRA & SILVA, 2011)



ESTUDOS HIDROGEOLÓGICOS PARA A GESTÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DA REGIÃO DE BELÉM/PA

Fonte: Rodovias: SEMA/PA. Limites políticos: IBGE. Hidrografia: CPRM
Bouguer: Elaborado a partir de Oliveira e Silva (2011)

Sistema de Coordenadas:	UTM
Datum Horizontal:	SIRGAS 2000
Unidade:	Metros
Fiscalização:	ANA
Data:	Junho/2018
Arquivo:	Figura_66_Mapa_Bouguer_A3
Escala:	1:290.000



LEGENDA

<ul style="list-style-type: none"> ▣ Capital Estadual ⊙ Sede Municipal — Isolinhas ~ Hidrografia — Rodovia Massa d'água Área de Estudo --- Limite municipal 	<p>Bouguer Regional (mGal)</p> <ul style="list-style-type: none"> -1,579 0,2099 1,999 3,937 5,875 7,515 	<ul style="list-style-type: none"> 9,304 11,240 12,500 13,180 15,120 16,910 18,550 20,340 21,500 22,130 23,500 24,210 26,450 28,390
---	--	---

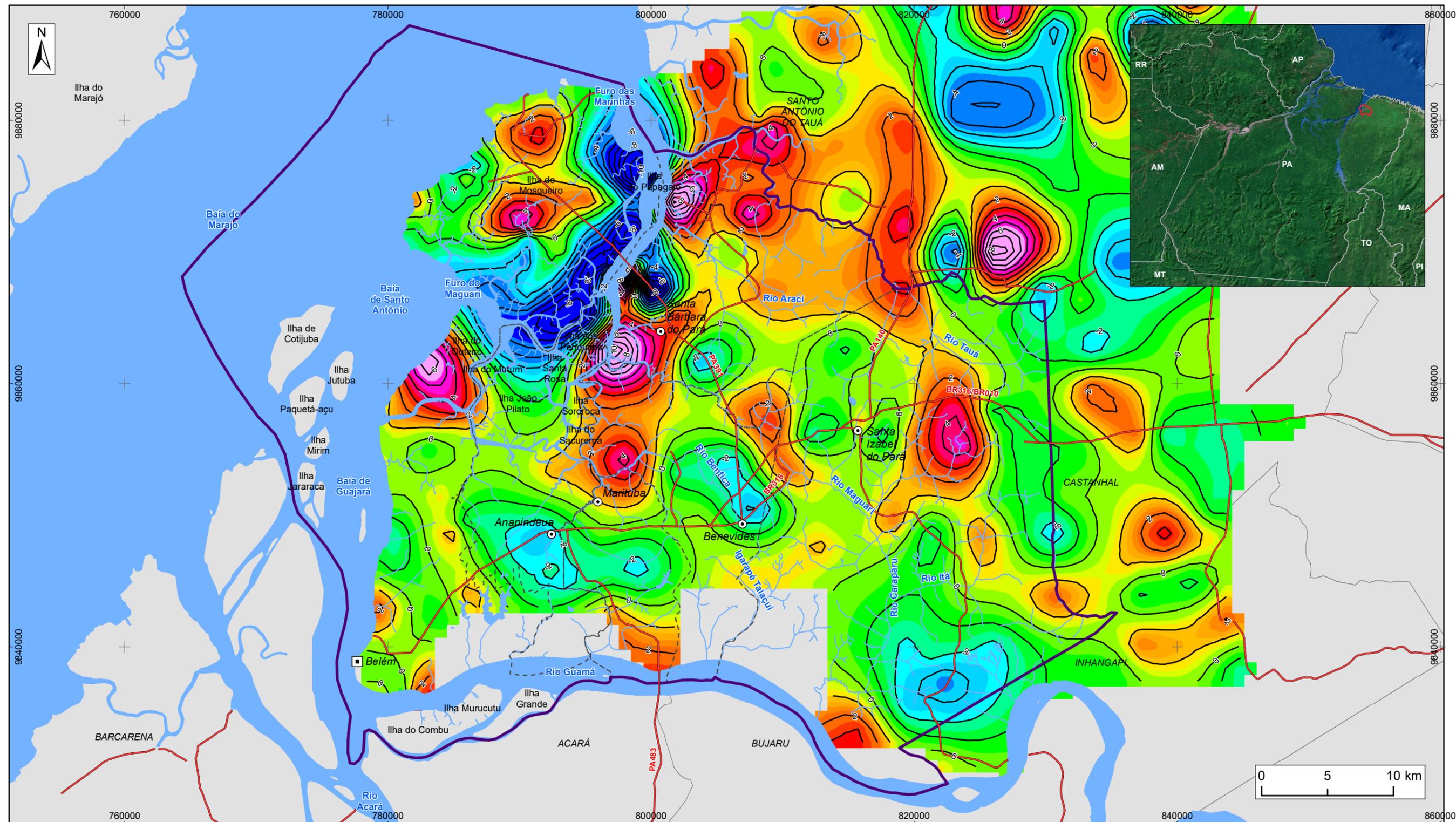
Figura 67 - Mapa Bouguer regional gerado a partir dos dados gravimétricos da CPRM (OLIVEIRA & SILVA, 2011)



ESTUDOS HIDROGEOLÓGICOS PARA A GESTÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DA REGIÃO DE BELÉM/PA

Fonte: Rodovias: SEMA/PA. Limites políticos: IBGE. Hidrografia: CPRM
Bouguer: Elaborado a partir de Oliveira e Silva (2011)

Sistema de Coordenadas:	UTM
Datum Horizontal:	SIRGAS 2000
Unidade:	Metros
Fiscalização:	ANA
Data:	Junho/2018
Arquivo:	Figura_67_Mapa_Bouguer_Regional_A3
Escala:	1:290.000



LEGENDA

□ Capital Estadual	Bouguer residual (mGal)	■ -0,5	■ 1,75
⊙ Sede Municipal	■ -5,5	■ 0,0	■ 2,5
— Isolinhas	■ -3,5	■ 0,5	■ 3,0
~ Hidrografia	■ -2,5	■ 0,75	■ 3,5
— Rodovia	■ -2,2	■ 1,0	■ 4,5
☁ Massa d'água	■ -1,5	■ 1,25	■ 5,5
⊞ Área de Estudo	■ -1,0	■ 1,5	■ 28,39
- - - Limite municipal			

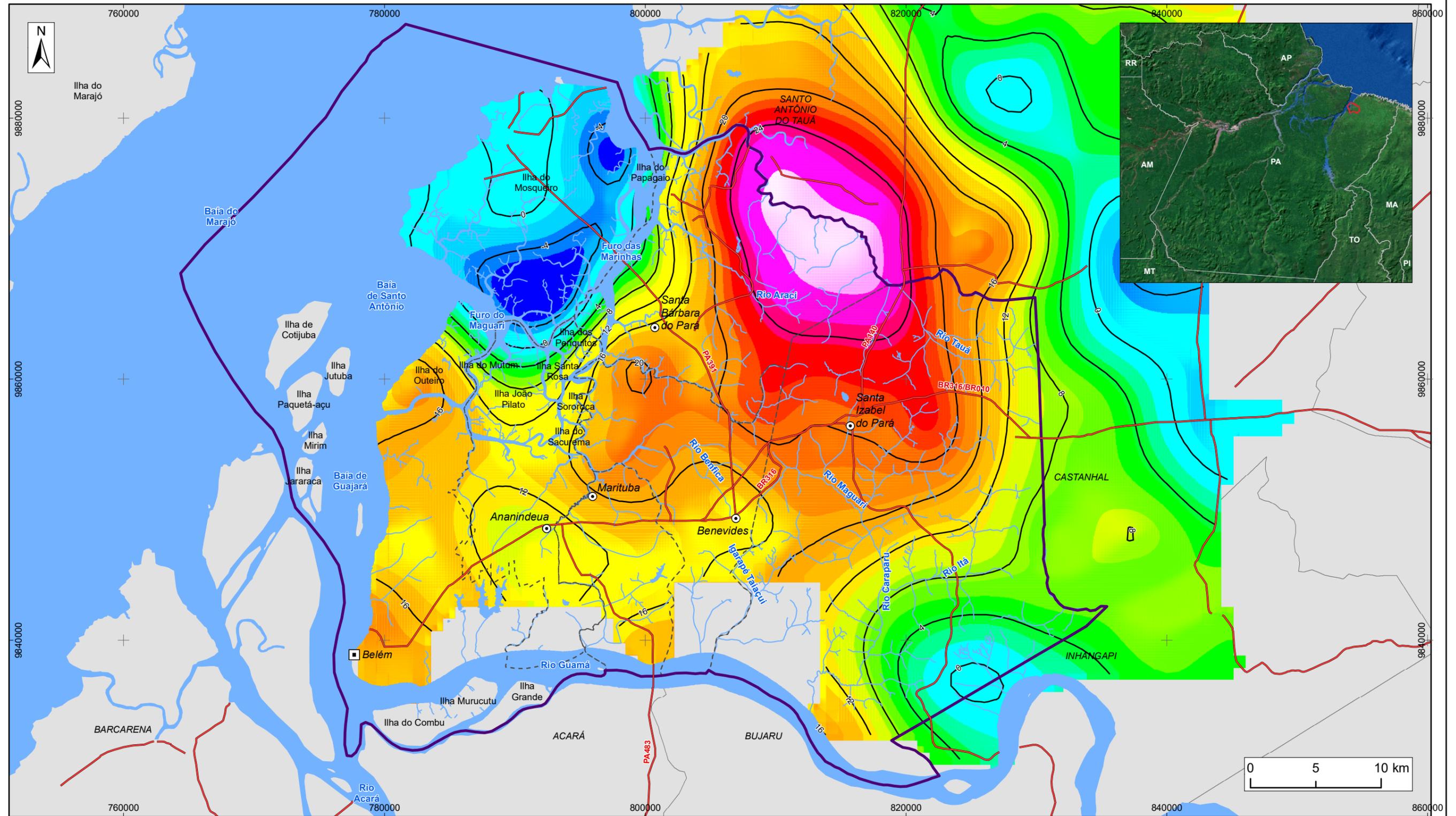
Figura 68 - Mapa Bouguer Residual gerado a partir dos dados gravimétricos da CPRM (OLIVEIRA & SILVA, 2011)



ESTUDOS HIDROGEOLÓGICOS PARA A GESTÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DA REGIÃO DE BELÉM/PA

Fonte: Rodovias: SEMA/PA. Limites políticos: IBGE. Hidrografia: CPRM
Bouguer: Elaborado a partir de Oliveira e Silva (2011)

Sistema de Coordenadas:	UTM
Datum Horizontal:	SIRGAS 2000
Unidade:	Metros
Fiscalização:	ANA
Data:	Junho/2018
Arquivo:	Figura_68_Mapa_Bouguer_Residual_A3
Escala:	1:290.000



LEGENDA

<ul style="list-style-type: none"> ▣ Capital Estadual ⊙ Sede Municipal — Isolinhas ~ Hidrografia — Rodovia Massa d'água Área de Estudo --- Limite municipal 	<p>Bouguer regional - filtro de 10 km (mGal)</p> <ul style="list-style-type: none"> -5,0 -3,0 -1,0 1,5 3,0 4,5 	<ul style="list-style-type: none"> 6,2 7,5 9,0 11,0 13,0 15,0 17,0 19,0 21,0 22,0 23,5 25,0 27,0 27,9
---	---	---

Figura 69 - Mapa Bouguer regional com filtro gaussiano de 10 km gerado a partir dos dados gravimétricos da CPRM (OLIVEIRA & SILVA, 2011)



ESTUDOS HIDROGEOLÓGICOS PARA A GESTÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DA REGIÃO DE BELÉM/PA

Fonte: Rodovias: SEMA/PA. Limites políticos: IBGE. Hidrografia: CPRM
Bouguer: Elaborado a partir de Oliveira e Silva (2011)

Sistema de Coordenadas:	UTM
Datum Horizontal:	SIRGAS 2000
Unidade:	Metros
Fiscalização:	ANA
Data:	Junho/2018
Arquivo:	Figura_69_Mapa_Bouguer_filtro_10km_A3
Escala:	1:290.000

3.4.6 Integração e Interpretação dos Dados Geofísicos

A análise dos dados geofísicos obtidos, compostos pelas 40 SEV's realizadas no projeto, pelas 25 SEV's e os 23 perfis geofísicos de poços disponibilizados por Mendes (2000), além dos dados gravimétricos disponibilizados no relatório da CPRM (OLIVEIRA & SILVA, 2011), foi feita correlacionando as informações aos dados de 44 poços profundos do banco SIAGAS/CPRM, situados em locais próximos às informações geofísicas.

As conclusões dessa etapa, no que diz respeito à utilização desses métodos dentro do âmbito do projeto, estão apresentadas no Relatório Técnico Temático de Investigações Geofísicas, disponível neste estudo apenas em meio digital, e refletem o alcance que os limites da Região de Belém e a distribuição espacial das investigações permitiu abordar.

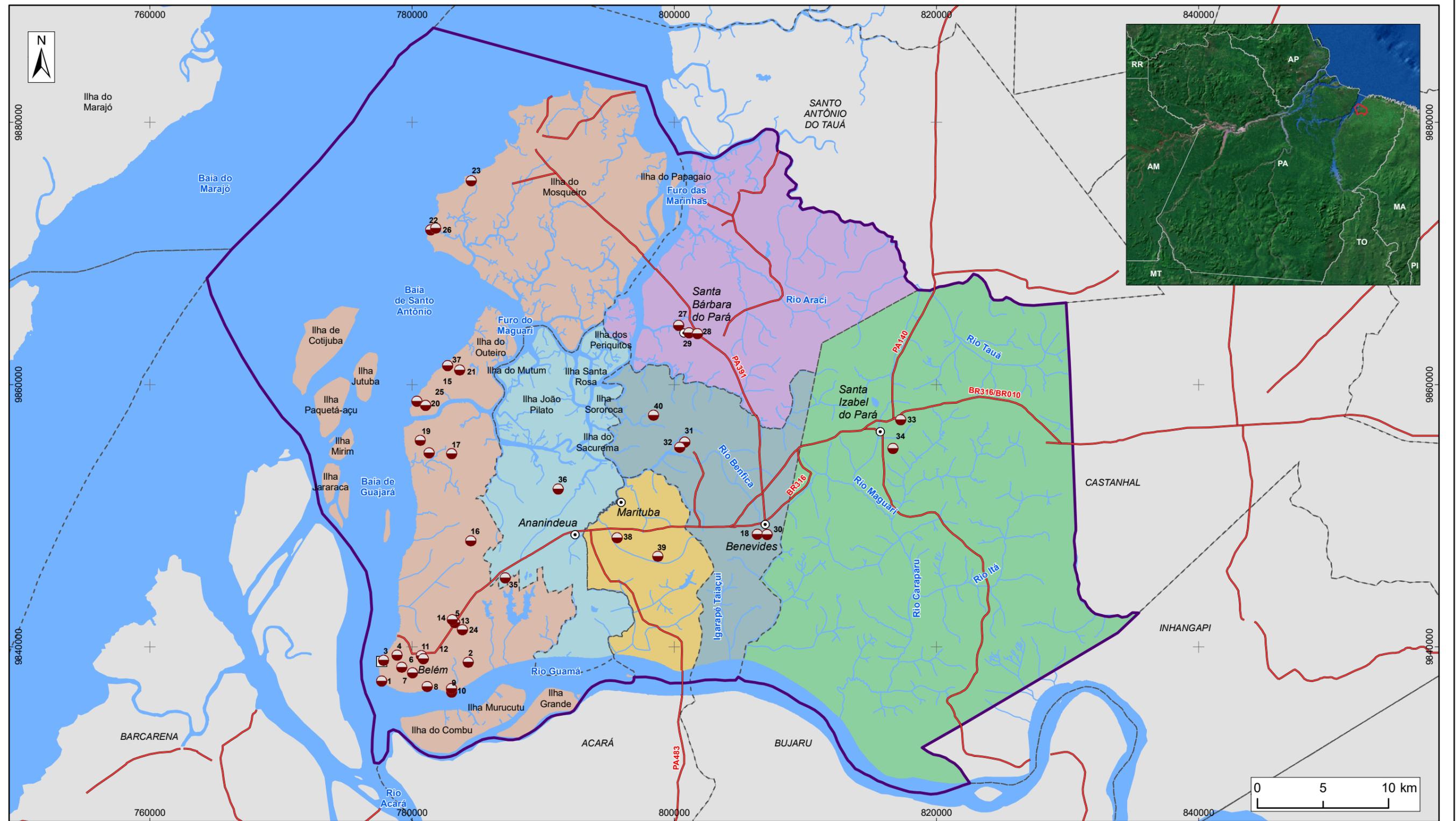
3.5 ENSAIOS DE INFILTRAÇÃO

Os ensaios de infiltração são utilizados comumente na determinação da condutividade hidráulica de meios saturados e não saturados. Esse parâmetro permite distinguir e classificar áreas em função das velocidades verticais de percolação da água. O resultado almejado consiste na obtenção da condutividade hidráulica vertical, importante para avaliar as condições de infiltração dos solos e, assim da recarga dos aquíferos.

A Região de Belém é caracterizada por ter uma parcela considerável modificada pela urbanização, principalmente devido à expansão da ocupação urbana. No geral as áreas urbanizadas têm a infiltração da água no solo prejudicada devido a impermeabilização por vias e construções prediais; além das constantes modificações das condições naturais devido à remoção do solo original, acréscimo de aterro no terreno.

Para a determinação da condutividade hidráulica vertical *in situ* dos solos na região estudada utilizou-se o método *open end hole* ou “ensaio de ponta aberta”, em 40 pontos Figura 70, selecionados em função das condições dos solos locais, facilidade e rapidez na execução dos ensaios. As profundidades de investigação definidas foram 0,5 m, 1,0 m e 1,50 m, e os pontos de ensaio estão apresentados no Quadro 26.

Os ensaios foram distribuídos na área estudada nas áreas de recarga, preferencialmente em divisores de micro bacias e/ou terrenos de instituições públicas. Foram selecionados ainda pontos em comunidades de baixa renda, próximo aos poços onde foram realizados ensaios de bombeamento. As fotografias da Figura 71 ilustram alguns locais de execução desses ensaios.



LEGENDA

- | | |
|--|---|
| <ul style="list-style-type: none"> ▣ Capital Estadual ⊙ Sede Municipal ● Ensaio de Infiltração Executados ~ Hidrografia — Rodovia ☁ Massa d'água ⊕ Área de Estudo - - - Limite municipal | <p>Município</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ Ananindeua ■ Belém ■ Benevides ■ Marituba ■ Santa Bárbara do Pará ■ Santa Izabel do Pará |
|--|---|

Figura 70 – Mapa de localização dos ensaios de infiltração executados



ESTUDOS HIDROGEOLÓGICOS PARA A GESTÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DA REGIÃO DE BELÉM/PA

Fonte: Rodovia: SEMAS/PA. Limites políticos: IBGE. Hidrografia: CPRM. Ilhas: SEMAS/PA. Ensaio de infiltração: ANA/Profil

Sistema de Coordenadas:	UTM
Datum Horizontal:	SIRGAS 2000
Unidade:	Metros
Fiscalização:	ANA
Data:	Junho/2018
Arquivo:	Figura_70_Ensaio_Infiltracao_A3
Escala:	1:290.000

Quadro 26 – Locais selecionados para a realização de testes de infiltração.

Ponto	UTM_E	UTM_S	Localização
Ponto 01	777.743	9.837549	Portal da Amazônia
Ponto 02	784.289	9.838.811	Poço 7º Setor COSANPA
Ponto 03	777.832	9.838.955	Praça D. Pedro II, em frente ao prédio da Prefeitura Municipal de Belém
Ponto 04	778.867	9.839.369	Praça da República
Ponto 05	779.275	9.841.849	Cemitério da Soledade
Ponto 06	779.346	9.838.577	Praça Batista Campos
Ponto 07	780.158	9.837.574	Jurunas (Campo entre Dr. Moraes/F. Guilhon)
Ponto 08	781.154	9.836.963	Cremação (Av. Pe. Eutíquio)
Ponto 09	783.028	9.836.531	UFPA Inst. Geociências (Biblioteca)
Ponto 10	783.003	9.836.807	UFPA Inst. Geociências
Ponto 11	780.714	9.839.310	Museu Paraense Emilio Goeldi (Alcindo Cacela/ Magalhães Barata)
Ponto 12	780.617	9.839.450	Museu Paraense Emilio Goeldi (Gentil Bittencourt/ 9 de Janeiro)
Ponto 13	782.840	9.841.646	Bosque Rodrigues Alves
Ponto 14	783.075	9.842.062	COSANPA 5º Setor
Ponto 15	781.975	9.860.361	Outeiro São João
Ponto 16	784.483	9.848.070	Augusto Montenegro/ Independência
Ponto 17	783.028	9.854.719	SAEAB/COSANPA Conj. Eduardo Angelim
Ponto 18	806.327	9.848.587	Escola Alice Fanjas
Ponto 19	780.742	9.855.709	SAEAB/COSANPA Souza Franco – Icoaraci
Ponto 20	781.004	9.858.390	SAEAB/COSANPA Outeiro
Ponto 21	783.686	9.861.146	SAEAB/COSANPA Outeiro Água Boa
Ponto 22	781.468	9.871.807	COSANPA Praia do Bispo – Mosqueiro
Ponto 23	784.562	9.875.616	COSANPA Murubira – Mosqueiro
Ponto 24	783.850	9.841.292	CPRM Belém
Ponto 25	781.296	9.859.797	SAEAB/COSANPA Paracuri II
Ponto 26	781.826	9.871.881	SAEAB/COSANPA 5ª Rua Mosqueiro
Ponto 27	800.323	9.864.685	Aterro Sanitário Sta. Bárbara
Ponto 28	801.176	9.863.976	Campo de Futebol – Santa Bárbara do Pará
Ponto 29	801.662	9.863.863	“Minha Casa, Minha Vida” – Santa Bárbara do Pará
Ponto 30	807.108	9.848.558	SAAE Benevides
Ponto 31	800.794	9.855.781	SAAE Benevides – Escola Eunício Santos
Ponto 32	800.379	9.855.227	SAAE Benevides
Ponto 33	817.287	9.857.322	Posto – Santa Izabel do Pará
Ponto 34	816.925	9.855.360	“Minha Casa, Minha Vida” – Santa Izabel do Pará
Ponto 35	787.123	9.845.251	COSANPA - Poço Guanabara II – Ananindeua
Ponto 36	791.165	9.852.031	COSANPA - Poço PAAR 5 – Ananindeua
Ponto 37	782.611	9.865.491	Outeiro Pré-Amar
Ponto 38	795.658	9.848.422	COSANPA – C-569 – Marituba
Ponto 39	798.724	9.846.874	COSANPA – Beija-Flor – Marituba
Ponto 40*	798.471	9.857.643	Campo de Futebol – Murinim - Benevides

N/D = Não Definido; Prof. = Profundidade (m).



(a)



(b)



(c)



(d)



(e)



(f)



(g)



(h)

Figura 71 – Ensaios de infiltração realizados: área da COSANPA 8º Setor, Belém (Ponto 07) (a) e (b); SAAE Benevides (Ponto 30) (c) e (d); Projeto “Minha Casa Minha Vida” em Santa Izabel do Pará (Ponto 34) (e) e (f), SAAEB/COSANPA Souza Franco - Icoaraci (Ponto 19) (g) e (h).

3.5.1 Condutividade Hidráulica Vertical

Dos ensaios realizados foram obtidos a condutividade hidráulica vertical (K_v) para cada profundidade investigada dos pontos selecionados. A mediana do K_v em cada ponto foi adotada como a condutividade hidráulica vertical do local investigado. O Quadro 27 mostra os valores de K_v em m/dia e cm/seg para comparação.

Quadro 27 - Valores medianos de K_v em m/dia e cm/seg obtidos nos testes de infiltração executados.

Pontos	K_v Med (m/dia)	K_v Med (cm/seg)
1	1,74	$2,01 \cdot 10^{-3}$
2	0,84	$9,82 \cdot 10^{-4}$
3	1,98	$2,29 \cdot 10^{-3}$
4	0,13	$1,53 \cdot 10^{-4}$
5	0,2	$2,4 \cdot 10^{-4}$
6	1,32	$1,52 \cdot 10^{-3}$
7	0,64	$7,43 \cdot 10^{-4}$
8	0,42	$4,92 \cdot 10^{-4}$
9	0,11	$1,31 \cdot 10^{-4}$
10	0,02	$3,15 \cdot 10^{-5}$
11	1,04	$1,2 \cdot 10^{-3}$
12	0,16	$1,96 \cdot 10^{-4}$
13	0,46	$5,39 \cdot 10^{-4}$
14	0,18	$2,19 \cdot 10^{-4}$
15	$9,1 \cdot 10^{-5}$	$1,1 \cdot 10^{-7}$
16	0,33	$3,82 \cdot 10^{-4}$
17	0,41	$4,75 \cdot 10^{-4}$
18	0,2	$2,32 \cdot 10^{-4}$
19	0,83	$9,68 \cdot 10^{-4}$
20	$1,08 \cdot 10^{-3}$	$1,3 \cdot 10^{-6}$
21	0,91	$1,05 \cdot 10^{-3}$
22	0,16	$1,91 \cdot 10^{-4}$
23	0,1	$1,21 \cdot 10^{-4}$
24	0,45	$5,22 \cdot 10^{-4}$
25	$1,9 \cdot 10^{-4}$	$2 \cdot 10^{-7}$
26	0,14	$1,64 \cdot 10^{-4}$
27	0,26	$3,02 \cdot 10^{-4}$
28	0,2	$2,38 \cdot 10^{-4}$
29	0,12	$1,43 \cdot 10^{-4}$
30	1,28	$1,48 \cdot 10^{-3}$
31	0,12	$1,46 \cdot 10^{-4}$
32	0,19	$2,31 \cdot 10^{-4}$
33	0,27	$3,14 \cdot 10^{-4}$
34	0,62	$7,28 \cdot 10^{-4}$
35	$3,8 \cdot 10^{-4}$	$4 \cdot 10^{-7}$
36	$1,72 \cdot 10^{-3}$	$2 \cdot 10^{-6}$
37	$1,23 \cdot 10^{-3}$	$1,4 \cdot 10^{-6}$
38	$1,85 \cdot 10^{-4}$	$2 \cdot 10^{-7}$
39	$2,5 \cdot 10^{-5}$	$2,9 \cdot 10^{-8}$
40	0,15	$1,8 \cdot 10^{-4}$

De acordo com os resultados, o maior valor da condutividade hidráulica (K_v) foi identificado no ponto 3 (Praça Dom Pedro II), centro da cidade de Belém. O valor identificado

de K_v foi de aproximadamente 1,98 m/dia ou 0,0022 cm/seg; entretanto, deve-se considerar que naquele ponto foi executado somente o furo de 0,5 m de profundidade, não sendo possível executar os demais furos por ser uma região aterrada, de acordo com a descrição do substrato coletado no local. O menor valor da condutividade hidráulica (K_v), por sua vez, foi identificado no ponto 39, situado na estação da captação da COSANPA Beija Flor no Município de Marituba. Naquela região, o valor de K_v obtido foi da ordem de $2,5 \cdot 10^{-5}$ m/dia ou $2,9 \times 10^{-8}$ cm/seg. Vale destacar que, neste ponto, foi executado somente o furo de 0,5 m, em função da dificuldade de penetração (aterro).

A partir da disposição dos resultados observou-se que a relação entre número de ensaios realizados e a sua distribuição geográfica não permitiu extrapolações espaciais. Além disso, os resultados foram influenciados pela presença de coberturas de aterro, e, com isso, pela dificuldade de executar os ensaios em furos mais profundos. Houve também dificuldades relacionadas ao acesso às áreas mais distantes dos centros urbanos, além de fatores como níveis d'água rasos e insegurança para a realização dos testes, o que incorreu em realocação de diversos pontos.

Assim, para melhor interpretação dos resultados dos testes de infiltração apresenta-se um sumário estatístico básico e um histograma com a curva de distribuição normal. A seguir são apresentados os parâmetros que compuseram o referido sumário (Quadro 28). Salienta-se que foram utilizados os dados de infiltração considerando a unidade em metros por dia.

Quadro 28 - Sumário estatístico para os ensaios de infiltração.

Parâmetro	Condutividade hidráulica vertical (m/dia)
Max	1,98
Min	$2,5 \cdot 10^{-5}$
Media	0,40
Mediana	0,20
Tamanho	40,00
Desvio padrão	0,49
Est. Classes	6,32
Classes	6,00
Incremento	0,33
Incremento 2	0,049

Considerando-se os dados obtidos na etapa anterior da análise estatística, foram gerados os dados para a construção do histograma. Optou-se por dividi-lo em sete (7) classes, das quais foram determinadas as respectivas frequências (Quadro 29).

Quadro 29 - Parâmetros obtidos para geração do histograma.

Classes	Corte	Frequência
1	0,330664	26
2	0,661304	6
3	0,991944	3
4	1,322584	3
5	1,653224	0
6	1,983864	1
7	2,314504	1

Assim, o histograma gerado é apresentado na Figura 72, a seguir.

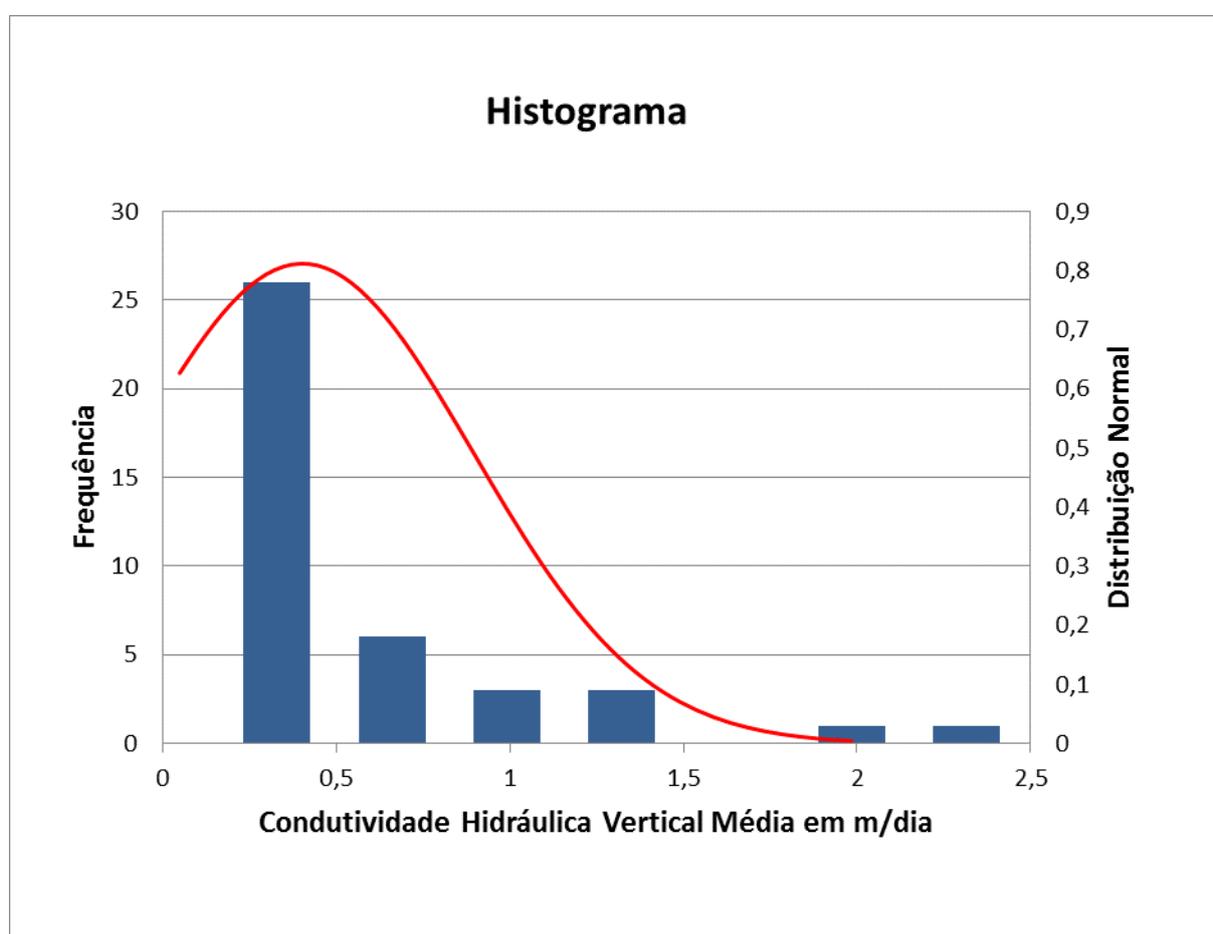
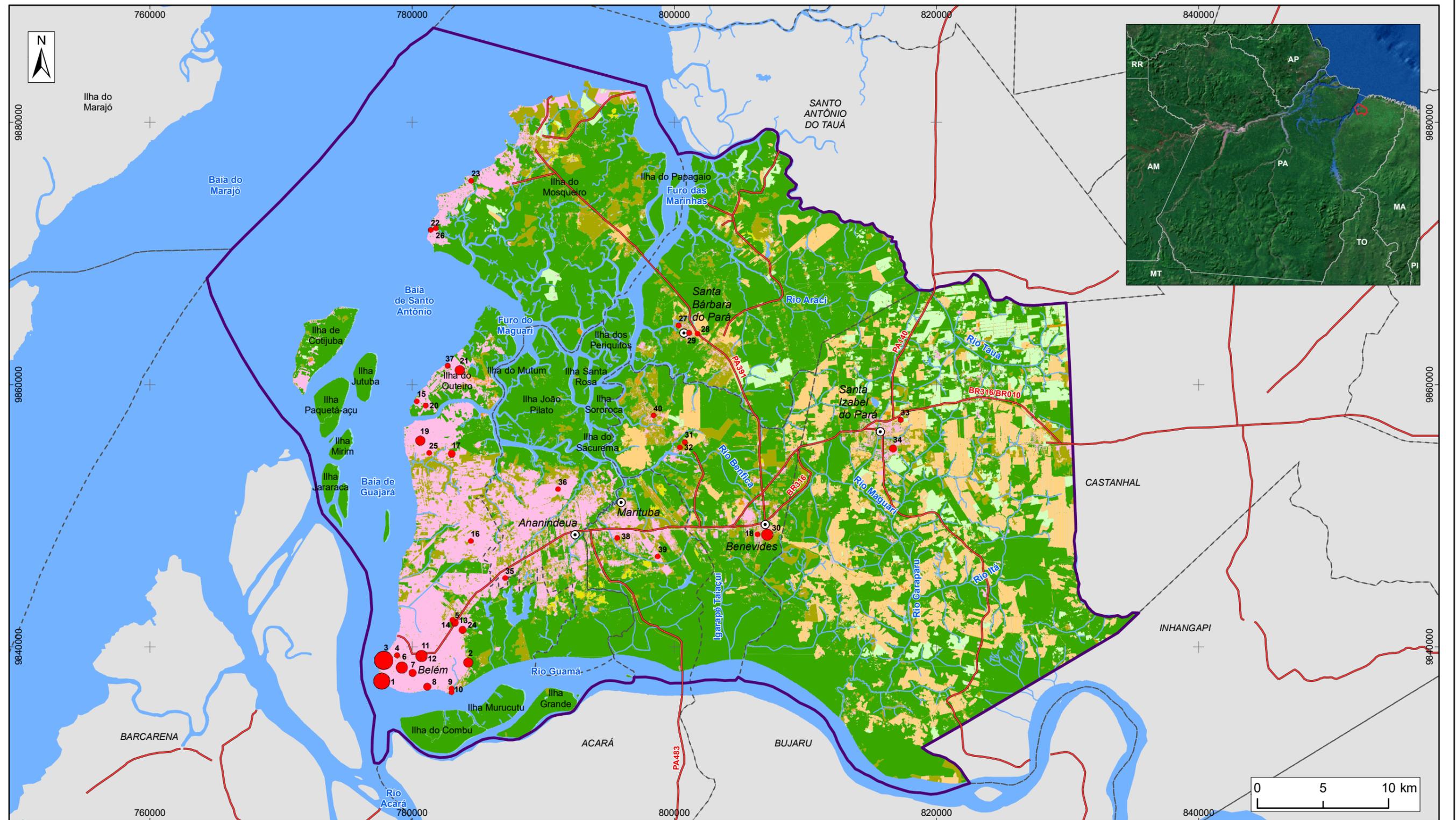


Figura 72 - Histograma dos dados de infiltração em m/dia.

O histograma apresentou distribuição assimétrica negativa (à direita), evidenciando que a moda é menor que a mediana, que por sua vez, é menor que a média aritmética. A verificação da distribuição dos resultados dos ensaios sobre os diferentes tipos de uso e ocupação do solo, em destaque as áreas rurais x urbanas podem ser visualizadas na Figura 73, que distribui os resultados das sete classes apresentadas no histograma sobre

o mapa de uso de solos. Como comentado anteriormente, os pontos em que foram calculados apenas os dados referentes ao primeiro ensaio (0,5 m) forneceram valores mais altos, influenciando na avaliação da infiltração. Percebe-se que a variação dos valores, em relação à sua frequência, é pouco variável.

Ressalta-se, ainda, que em vários pontos foram encontrados aterros e não solos naturais. Assim, os resultados obtidos não refletem necessariamente as condições de infiltração superficial natural do terreno, e, portanto, salienta-se a importância de observar que numa área urbana, onde a impermeabilização tende a ser maior, mesmo os locais selecionados como área verde podem apresentar alterações quanto à sua composição natural, incorrendo em dificuldades no que diz respeito à infiltração da água da chuva.



LEGENDA

<ul style="list-style-type: none"> ▣ Capital Estadual ⊙ Sede Municipal ~ Hidrografia — Rodovia ☪ Massa d'água ⊕ Área de Estudo - - - Limite municipal 	<p>Ensaio de infiltração (Kv Med - m/dia)</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 0,000025 - 0,330664 ● 0,330665 - 0,661304 ● 0,661305 - 0,991944 ● 0,991945 - 1,322584 ● 1,322585 - 1,653224 ● 1,653225 - 1,983864 ● 1,983865 - 2,310000 	<p>Classe de uso do solo</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ Mineração ■ Área Edificada ■ Pecuária ■ Cultura ■ Solo Exposto ■ Capoeira ■ Floresta Ombrófila Densa ■ Corpo d'Água
--	--	--

Figura 73 – Mapa de Distribuição dos resultados dos ensaios sobre os diferentes tipos de uso de solo



ESTUDOS HIDROGEOLÓGICOS PARA A GESTÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DA REGIÃO DE BELÉM/PA

Fonte: Rodovia: SEMAS/PA. Limites políticos: IBGE. Hidrografia: CPRM. Ilhas: SEMAS/PA. Ensaios de infiltração/uso do solo: ANA/Profil

Sistema de Coordenadas:	UTM
Datum Horizontal:	SIRGAS 2000
Unidade:	Metros
Fiscalização:	ANA
Data:	Junho/2018
Arquivo:	Figura_73_Ensaio_Infiltracao_Uso_Solo_A3
Escala:	1:290.000

3.5.2 Análises Granulométricas

Foram realizadas análises granulométricas por peneiramento em amostras de solo de 37 pontos, dentre o total de 40 pontos selecionados para os ensaios de infiltração. As curvas granulométricas das amostras representam somente as frações areia e cascalho, todavia, o percentual de material siltico-argiloso também foi calculado. A finalidade da análise granulométrica é mostrar a distribuição percentual das classes de tamanho dos grãos constituintes do agregado de solo para, então classifica-lo quanto à textura. Essa distribuição é representada graficamente pela curva granulométrica (Figura 74).

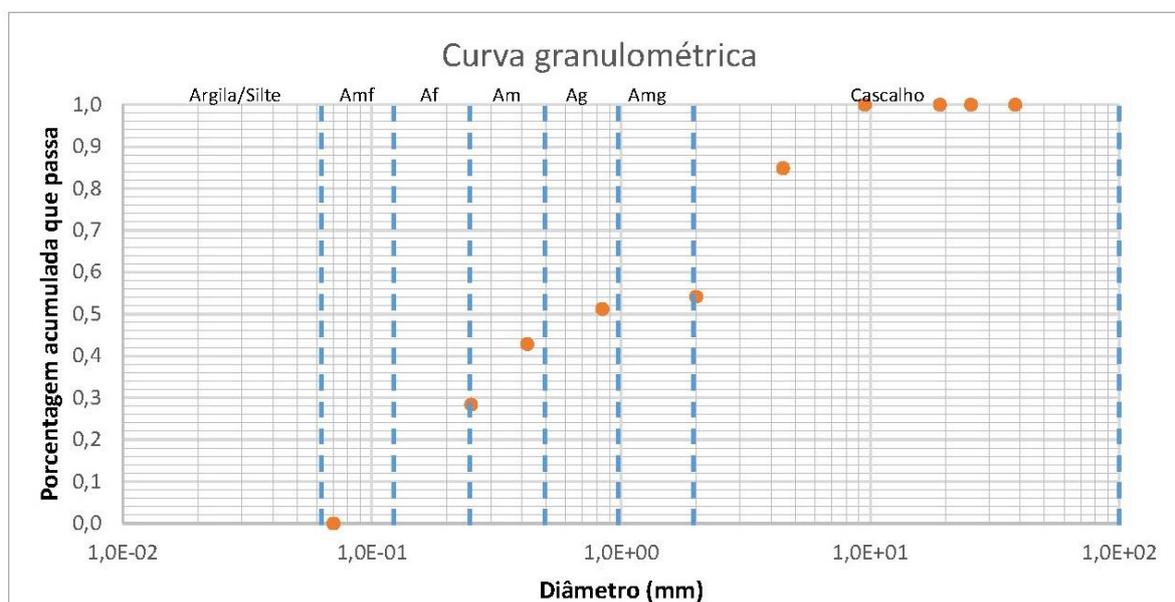


Figura 74 – Exemplo de apresentação da curva granulométrica.

Existem várias classificações granulométricas, mas uma muito utilizada pelos geólogos é a classificação de Wentworth (Quadro 30).

Quadro 30 - Classificação de Wentworth para materiais geológicos.

Dimensões	Material
2 - 64 mm	Cascalho
1 - 2 mm	Areia muito grossa
0,5 - 1 mm	Areia grossa
0,25 - 0,5 mm	Areia média
0,125 - 0,25 mm	Areia fina
0,0625 - 0,125 mm	Areia muito fina
0,039 - 0,0625 mm	Silte
< 0,039	Argila

Esta classificação foi empregada nas análises granulométricas realizadas neste projeto. No exemplo da Figura 74, as divisões de tamanho segundo a escala Wentworth estão representadas por linhas verticais tracejadas, em azul.

As análises granulométricas permitem extrair informações muito úteis para análise dos materiais ou sedimentos amostrados.

O diâmetro efetivo (d_{10}) corresponde ao percentual de 10% das partículas menores do material peneirado. Este parâmetro é utilizado para estimar a permeabilidade de materiais arenosos por meio da equação:

$$P = C \cdot d_{10}^2$$

Onde: K = coeficiente de permeabilidade; C =constante adimensional.

A permeabilidade intrínseca (P) é uma constante representativa das características apenas do meio poroso, sendo função especialmente do tamanho dos seus poros. A permeabilidade intrínseca tem dimensões de área. A relação de com a condutividade hidráulica é dada por:

$$K = P \frac{\gamma}{\mu}$$

Onde: K é a condutividade hidráulica; P é a permeabilidade intrínseca do meio; γ é o peso específico do fluido; e μ é a viscosidade do fluido.

O coeficiente de uniformidade (C_{un}) é a razão entre os diâmetros correspondentes a 60% (d_{60}) e 10% (d_{10}), tomados na curva granulométrica, de acordo com a equação abaixo:

$$C_{un} = \frac{d_{60}}{d_{10}}$$

Quanto mais uniforme o material, menor o valor do C_{un} , como mostrado no Quadro 31.

Quadro 31 - Classificação dos materiais segundo o coeficiente de uniformidade

<u>Coeficiente de uniformidade (C_{un})</u>
$C_{un} < 5$ muito uniforme
$5 < C_{un} < 15$ medianamente uniforme
$C_{un} > 15$ não uniforme

O resumo dos resultados das análises granulométricas é mostrado no Quadro

32.

Quadro 32 - Análises granulométricas e resultados quanto à classificação (textura) e uniformidade.

Amostra	d10	d60	Cun	% Silte+Argila	Classificação	Uniformidade
1	0,106	0,327	3,09	71,93	Areia muito fina	Muito uniforme
2	0,116	0,387	3,34	60,69	Areia muito fina	Muito uniforme
3	0,143	3,104	21,70	47,98	Areia fina	Não uniforme
4	0,108	0,312	2,89	72,70	Areia muito fina	Muito uniforme
5	0,144	3,156	21,84	41,93	Areia fina	Não uniforme
6	0,108	0,315	2,92	67,57	Areia muito fina	Muito uniforme
7	0,128	0,630	4,92	53,56	Areia fina	Muito uniforme
8	0,128	0,793	6,20	53,02	Areia fina	Medianamente uniforme
9	0,103	0,283	2,74	79,61	Areia muito fina	Muito uniforme
10	0,106	0,305	2,88	77,35	Areia muito fina	Muito uniforme
11	0,112	0,335	3,00	67,02	Areia muito fina	Muito uniforme
12	0,107	0,310	2,89	67,64	Areia muito fina	Muito uniforme
13	0,104	0,307	2,94	82,42	Areia muito fina	Muito uniforme
17	0,137	2,107	15,32	63,08	Areia fina	Não uniforme
18	0,154	3,618	23,43	58,19	Areia fina	Não uniforme
19	0,135	2,957	21,90	67,49	Areia fina	Não uniforme
20	0,104	0,294	2,83	76,88	Areia muito fina	Muito uniforme
21	0,111	0,410	3,68	77,85	Areia muito fina	Muito uniforme
22	0,165	4,365	26,42	26,66	Areia fina	Não uniforme
23	0,106	0,315	2,97	84,68	Areia muito fina	Muito uniforme
24	0,119	2,724	22,93	64,52	Areia muito fina	Não uniforme
25	0,126	2,000	15,86	69,89	Areia fina	Não uniforme
26	0,111	0,359	3,24	77,83	Areia muito fina	Muito uniforme
27	0,117	0,467	3,97	68,33	Areia muito fina	Muito uniforme
28	0,100	0,247	2,48	74,82	Areia muito fina	Muito uniforme
29	0,101	0,169	1,67	76,23	Areia muito fina	Muito uniforme
30	0,184	4,848	26,37	20,07	Areia fina	Não uniforme
31	0,108	0,463	4,27	75,05	Areia muito fina	Muito uniforme
32	0,104	0,265	2,55	78,31	Areia muito fina	Muito uniforme
33	0,096	0,229	2,38	80,78	Areia muito fina	Muito uniforme
34	0,096	0,229	2,37	78,91	Areia muito fina	Muito uniforme
35	0,120	0,735	6,12	58,79	Areia muito fina	Medianamente uniforme
36	0,118	1,935	16,42	58,44	Areia muito fina	Não uniforme
37	0,105	0,346	3,29	64,85	Areia muito fina	Muito uniforme
38	0,128	3,118	24,30	62,59	Areia fina	Não uniforme
39	0,155	3,666	23,59	31,65	Areia fina	Não uniforme
40	0,133	2,476	18,56	78,29	Areia fina	Não uniforme

As amostras de solo representam misturas de areia com silte e argila, nas quais a proporção percentual de material siltico-argiloso varia de 20% a 85%. A fração arenosa em 65% das amostras é constituída por areias muito finas a finas, e por areias finas nos 35%

restantes. As areias são muito uniformes em 60% das amostras, não uniformes em 35% e medianamente uniformes em apenas 5%. Comparando-se os valores predominantes de condutividade hidráulica vertical obtidos nos ensaios de infiltração, da ordem de 0,5 m/d ou $5,8 \text{ E}^{-4} \text{ cm/s}$, com as características granulométricas das amostras, os resultados mostram-se concordantes com dados apresentados por Fetter (2001) para areias finas, silticas e argilosas.

O Quadro 34 foi elaborado de forma a permitir um confronto entre os valores de condutividade e da textura dos solos, resultantes das análises.

Quadro 33 - Valores medianos de K_v em m/dia e cm/seg obtidos nos testes de infiltração executados.

Pontos	K_v Med (m/dia)	K_v Med (cm/seg)	Textura
1	1,74	$2,01.10^{-3}$	Areia muito fina
2	0,84	$9,82.10^{-4}$	Areia muito fina
3	1,98	$2,29.10^{-3}$	Areia fina
4	0,13	$1,53.10^{-4}$	Areia muito fina
5	0,20	$2,4.10^{-4}$	Areia fina
6	1,32	$1,52.10^{-3}$	Areia muito fina
7	0,64	$7,43.10^{-4}$	Areia fina
8	0,42	$4,92.10^{-4}$	Areia fina
9	0,11	$1,31.10^{-4}$	Areia muito fina
10	0,02	$3,15.10^{-5}$	Areia muito fina
11	1,04	$1,2.10^{-3}$	Areia muito fina
12	0,16	$1,96.10^{-4}$	Areia muito fina
13	0,46	$5,39.10^{-4}$	Areia muito fina
14	0,18	$2,19.10^{-4}$	Areia muito fina
15	$9,1.10^{-5}$	$1,1.10^{-7}$	Areia muito fina
16	0,33	$3,82.10^{-4}$	Areia muito fina
17	0,41	$4,75.10^{-4}$	Areia fina
18	0,20	$2,32.10^{-4}$	Areia fina
19	0,83	$9,68.10^{-4}$	Areia fina
20	$1,08.10^{-3}$	$1,3.10^{-6}$	Areia muito fina
21	0,91	$1,05.10^{-3}$	Areia muito fina
22	0,16	$1,91.10^{-4}$	Areia fina
23	0,10	$1,21.10^{-4}$	Areia muito fina
24	0,45	$5,22.10^{-4}$	Areia muito fina
25	$1,9.10^{-4}$	2.10^{-7}	Areia fina
26	0,14	$1,64.10^{-4}$	Areia muito fina
27	0,26	$3,02.10^{-4}$	Areia muito fina
28	0,20	$2,38.10^{-4}$	Areia muito fina
29	0,12	$1,43.10^{-4}$	Areia muito fina
30	1,28	$1,48.10^{-3}$	Areia fina
31	0,12	$1,46.10^{-4}$	Areia muito fina
32	0,19	$2,31.10^{-4}$	Areia muito fina
33	0,27	$3,14.10^{-4}$	Areia muito fina
34	0,62	$7,28.10^{-4}$	Areia muito fina
35	$3,8.10^{-4}$	4.10^{-7}	Areia muito fina
36	$1,72.10^{-3}$	2.10^{-6}	Areia muito fina
37	$1,23.10^{-3}$	$1,4.10^{-6}$	Areia muito fina
38	$1,85.10^{-4}$	2.10^{-7}	Areia fina
39	$2,5.10^{-5}$	$2,9.10^{-8}$	Areia fina
40	0,15	$1,8.10^{-4}$	Areia fina

Quando colocados lado a lado, pode-se observar que os resultados obtidos para infiltração (condutividade hidráulica vertical) não refletem padrões correspondentes diretamente às texturas verificadas, uma vez que a maioria são classificadas como areias finas ou muito finas, não sendo possível traçar uma relação direta entre ambas as características das amostras coletadas.

Assim, os resultados dos ensaios de infiltração mostram que a cobertura de solo na Região de Belém é constituída, predominantemente, por areias muito finas a finas, com elevado percentual de material siltico-argiloso, cuja condutividade hidráulica vertical é de até 0,5 m/d.

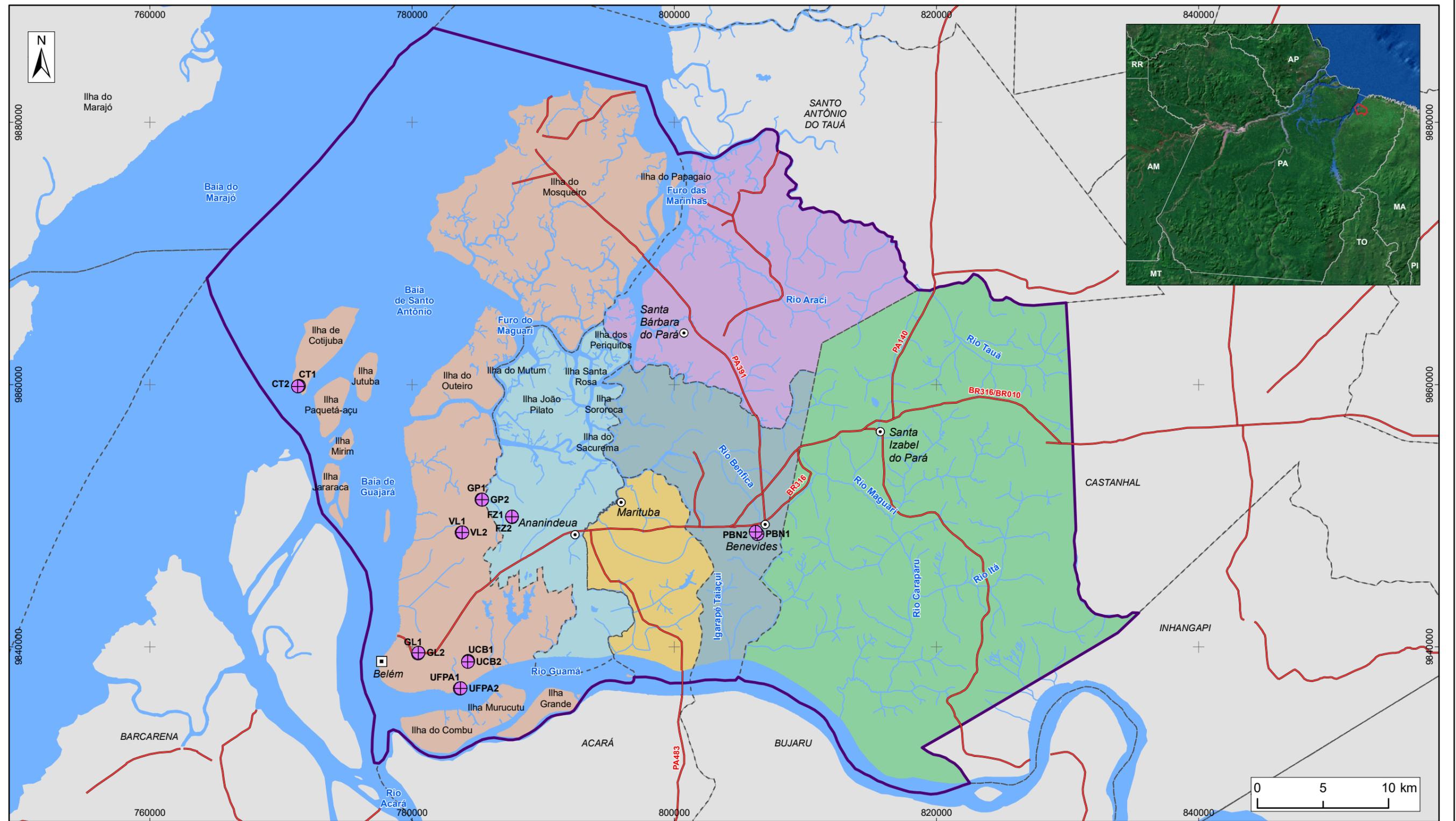
É importante observar que em vários locais ensaiados foram encontrados aterros, de modo que os resultados podem não refletir as características de permeabilidade dos solos naturais.

3.6 TESTES DE AQUÍFERO

Foram realizados oito testes com pares de poços de bombeamento e de observação para determinação dos parâmetros hidrodinâmicos dos aquíferos da Região de Belém. Os locais de execução dos testes foram selecionados de maneira a distribuí-los ao longo de toda Região de Belém, buscando a melhor espacialização, e respeitando as condições requeridas para realização dos ensaios, quais sejam:

- Conhecimento das características construtivas e litológicas dos pares de poços;
- Posicionamento do poço de observação num raio compatível com a extensão do cone de rebaixamento do poço bombeado;
- Disponibilidade de utilização dos pares de poços por período máximo de 48 horas, sem afetar o abastecimento dos usuários das captações.

Os resultados dos testes de aquíferos executados com pares de poços tubulares profundos têm a finalidade de determinar os parâmetros hidrodinâmicos do meio rochoso, como condutividade hidráulica (K), transmissividade (T), coeficiente de armazenamento (S) e porosidade efetiva (\emptyset), os quais permitem caracterizar e prever o comportamento do aquífero em resposta às interferências exteriores, como extração de água, infiltração de contaminantes, etc. A Figura 75 mostra a distribuição espacial dos testes de aquífero realizados.



LEGENDA

- | | |
|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"> ▣ Capital Estadual ⊙ Sede Municipal ⊕ Testes de aquífero executados ~ Hidrografia — Rodovia ☁ Massa d'água ⊕ Área de Estudo - - - Limite municipal | <p>Município</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ Ananindeua ■ Belém ■ Benevides ■ Marituba ■ Santa Bárbara do Pará ■ Santa Izabel do Pará |
|---|---|

Figura 75 – Mapa de localização dos Testes de Aquífero executados



ESTUDOS HIDROGEOLÓGICOS PARA A GESTÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DA REGIÃO DE BELÉM/PA

Fonte: Rodovia: SEMAS/PA. Limites políticos: IBGE. Hidrografia: CPRM. Ilhas: Testes de aquíferos: ANA/Profil

Sistema de Coordenadas:	UTM
Datum Horizontal:	SIRGAS 2000
Unidade:	Metros
Fiscalização:	ANA
Data:	Junho/2018
Arquivo:	Figura_75_Testes_Aquíferos_A3
Escala:	1:290.000

3.6.1 Testes Realizados

Os testes foram realizados no período de 14 de junho de 2017 a 01 de abril de 2018 (Figura 76). Dois testes foram executados em poços perfurados no Aquífero Pirabas e 6 testes foram executados em poços perfurados no Aquífero Barreiras, cujos resultados obtidos encontram-se listados no Quadro 34.



Figura 76 – Testes de aquífero. (a) poço bombeado, em Belém; (b) medição de vazão durante o teste, em Cotijuba; (c) poço de observação, em Benevides; e (d) poço de observação, em Belém (PA).

Quadro 34 – Resumo dos resultados dos testes de aquífero (Barreiras e Pirabas) na Região de Belém.

Executor	Poço	ID	Método	Curva	Q (m³/h)	N.E. (m)	N.D. (m)	s (m)	Interpretação				Aquífero	Conclusão
									T (m²/d)	Esp. (m)	K (m/d)	S		
Profill	Pb	UCB-1		Rebaixamento	222,00	12,85	28,72	15,87		170			Pirabas	Inconclusivo (1)
	Pb	UCB-1	Hantush-Jacob	Recuperação					1772	170	10,42			Conclusivo
	Pobs	UCB-2		Rebaixamento	222,00	10,25	12,26	2,01		170				Inconclusivo (1)
	Pobs	UCB-2	Hantush-Jacob	Recuperação					1890	170	11,12	8,98E-04		Conclusivo
Profill	Pb	PBN-1	Hantush-Jacob	Rebaixamento	33,24	9,25	19,15	9,9	21	30	0,69		Barreiras	Conclusivo
	Pb	PBN-1	Hantush-Jacob	Recuperação					235	30	7,83			Inconclusivo (4)
	Pobs	PBN-2		Rebaixamento	33,24	1,72	1,84	0,12		25				Inconclusivo (2)
	Pobs	PBN-2		Recuperação						25				Inconclusivo (2)
Profill	Pb	CT-1	Hantush-Jacob	Rebaixamento	5,05	4,80	7,30	2,5	12	15	0,80		Barreiras	Conclusivo
	Pb	CT-1		Recuperação										Inconclusivo (3)
	Pobs	CT-2		Rebaixamento	5,05	4,45	4,47	0,02						Inconclusivo (2)
	Pobs	CT-2		Recuperação										Inconclusivo (2)
Profill	Pb	FZ-1		Rebaixamento	42,85	17,29	36,12	18,83		80			Barreiras	Inconclusivo (5)
	Pb	FZ-1		Recuperação						80				Inconclusivo (5)
	Pobs	FZ-2	Hantush-Jacob	Rebaixamento	42,85	14,6	16,04	1,44	252	65	3,88	1,90E-06		Conclusivo
	Pobs	FZ-2	Hantush-Jacob	Recuperação					252	65	3,88	1,90E-06		Conclusivo
Profill	Pb	GP-1		Rebaixamento	5,00	3,91	10,50	6,59		20			Barreiras	Inconclusivo (1)
	Pb	GP-1		Recuperação						20				Inconclusivo (4)
	Pobs	GP-2	Hantush-Jacob	Rebaixamento	5,00	10,25	13,45	3,2	2,64	30	0,09	4,28E-06		Conclusivo
	Pobs	GP-2												

Para determinação dos parâmetros hidrodinâmicos foram avaliadas as curvas de rebaixamento e de recuperação dos pares de poços. As curvas de nível de água *versus* tempo passaram por uma análise para verificação do comportamento e da consistência dos dados. Nesta etapa, as curvas foram designadas conclusivas ou inconclusivas, respectivamente, para distinguir aquelas passíveis de utilização para cálculo dos parâmetros hidrodinâmicos, daquelas com comportamento desconforme (ver análises dos testes no relatório técnico-temático relacionado).

As curvas selecionadas foram inseridas no *software Aqtesolve* e os parâmetros foram calculados por meio da solução de Hantush-Jacob para aquíferos semiconfinados.

Os resultados apontaram:

- Aquífero Pirabas: transmissividades de 641 m²/d a 1.890 m²/d; condutividades hidráulicas de 6,41 m/d a 11,12 m/d; e coeficiente de armazenamento de 8,98E⁻⁴ a 3,90E⁻³.
- Aquífero Barreiras: transmissividades de 2,64 m²/d a 252 m²/d; condutividades hidráulicas de 0,09 m/d a 3,88 m/d; e coeficiente de armazenamento de 1,90E⁻⁶ a 4,28E⁻⁶.

Os resultados dos testes de bombeamento realizados nos aquíferos Barreiras e Pirabas revelaram valores de parâmetros hidrodinâmicos consistentes com o modelo hidrogeológico conceitual elaborado para os reservatórios subterrâneos da Região de Belém.

Vários problemas foram constatados durante a realização dos testes de bombeamento, destacando-se:

- Interferências externas, como oscilações de nível por efeito do bombeamento de poços nas imediações, comuns em áreas urbanas;
- Poucas informações sobre as características construtivas dos poços utilizados nos testes de bombeamento;
- Desconhecimento das espessuras reais dos aquíferos;
- Oscilações de tensão na rede elétrica, afetando o rendimento do equipamento de bombeamento e, conseqüentemente, a vazão extraída pelo poço;
- Recuperação muito rápida nos poços bombeados, sugestiva de ausência de válvula de retenção na bomba submersa. A falta de válvula de retenção prejudica o teste de recuperação de níveis.

Esses fatores afetaram e inviabilizaram o uso de algumas curvas de rebaixamento e recuperação dos poços para cálculo dos parâmetros hidrodinâmicos sem, contudo, comprometer os resultados alcançados.

4 BANCO DE DADOS

Um sistema de informação geográfica é capaz de armazenar tanto os atributos descritivos como as geometrias dos diferentes tipos de dados geográficos (CÂMARA,2006). Isso possibilita inserir e integrar, numa única base de dados, informações espaciais provenientes de diversas fontes, bem como, oferece mecanismos para combinar essas informações através de algoritmos de manipulação e análise, possibilita realizar consultas, recuperar e visualizar o conteúdo da base de dados geográficos.

As estruturas de dados utilizados em banco de dados geográficos podem ser divididas em duas grandes classes: vetoriais e matriciais. O formato vetorial é utilizado para representar as coordenadas das fronteiras de cada entidade geográfica através pontos, linhas e polígonos (CÂMARA, 2006). São exemplos de feições representadas pontualmente nesse trabalho os poços cadastrados na Região de Belém, as estações de monitoramento fluviométrico e pluviométrico e as fontes pontuais de poluição. Como exemplo de linha neste trabalho a rede hidrográfica, os trechos rodoviários, os lineamentos, as isolinhas de resistividade, de profundidade. Os polígonos, por sua vez, foram usados para representar unidades como setores censitários, sub-bacias hidrográficas, áreas legalmente protegidas, limites das unidades geológicas.

As feições geométricas (ponto, linha e polígono) utilizadas para representação dos elementos estabelecem as relações espaciais entre os elementos geográficos, ou seja, relações espaciais existentes entre si e entre os outros elementos, denominadas relações topológicas. A topologia permite estabelecer as seguintes relações entre os elementos (FRANCISCO, 2014):

- Pertinência / Contingência – os arcos definem os limites dos polígonos fechados delimitando uma área;
- Conectividade – os arcos são conectados com outros a partir de nós, permitindo a identificação de rotas e de redes, como rios e estradas; e
- Contiguidade – os arcos comuns definem a adjacência entre polígonos

Na estrutura matricial é usada uma grade regular para representar, célula a célula, o elemento de interesse. Nesse formato, a cada célula atribui-se um código referente ao atributo estudado, sendo que o espaço é representado como uma matriz, composto de linhas e colunas. Na representação matricial, supõe-se que o espaço pode ser tratado como uma superfície plana, onde cada célula está associada a uma porção do terreno

(CÂMARA,2006). Neste trabalho, são exemplos de estruturas matriciais os modelos de terreno, os dados interpolados de profundidade, resistividade e análises químicas.

Como maior parte dos dados utilizados no presente trabalho são provenientes de fontes secundárias, tendo como fonte diversas instituições e sendo disponibilizados em diversos formatos, os dados coletados foram avaliados quanto à existência ou não de erros topológicos e passaram por um processo de padronização quanto ao sistema de coordenadas e recorte geográfico. A seguir são descritas as principais atividades desenvolvidas durante a compilação do banco de dados geográfico do presente trabalho.

4.1 COLETA DE DADOS

Na elaboração dos “Estudos Hidrogeológicos para Gestão das Águas Subterrâneas da Região de Belém/PA” compilou-se uma extensa quantidade de dados relacionados às águas subterrâneas de Belém e municípios adjacentes, bem como de temas correlatos, como uso do solo, qualidade das águas, uso das águas, saneamento, urbanização. Esta base com o levantamento de dados secundários e aqueles coletados neste estudo estão organizados em formato filegeodatabase, compatível com o software ArcGis® 10.5.

Neste projeto foram obtidas informações primárias e secundárias as quais passaram pelos seguintes procedimentos antes da incorporação ao banco de dados:

- *Tratamento e padronização*: foram utilizados dados de diversas fontes, os quais estavam em diferentes formatos (kml, xls, shp, mdb). Um exemplo crítico no que se refere à necessidade de padronização, corresponde aos diversos cadastros de poços existentes na área. Esses cadastros além de terem sido disponibilizados em diferentes formatos, não possuem uma padronização quanto aos atributos;
- *Correção de erros topológicos*: a aplicação de regras de topologia permite identificar erros relacionados à adjacência, conectividade e coincidência dos vetores;
- *Padronização do datum e da projeção cartográfica*: utilizou-se o SIRGAS 2000 (planimétrico) e Imbituba (altimétrico) adotado pelo IBGE como datum do Sistema Geodésico Brasileiro. Por isso, os dados obtidos em diferentes sistemas de coordenadas foram reprojatados antes da inserção no banco;
- *Adequação dos dados ao recorte espacial da Região de Belém*: efetuou-se a adequação aos limites da área de estudo quando os dados geográficos de fontes secundárias recobriam diversas extensões, como a área de um município, a área de um estado, os limites de uma carta topográfica ou então toda a extensão do território nacional.

4.2 ESTRUTURA DO BANCO DE DADOS

O banco de dados geográficos associado a este estudo está organizado conforme apresenta a Figura 77.

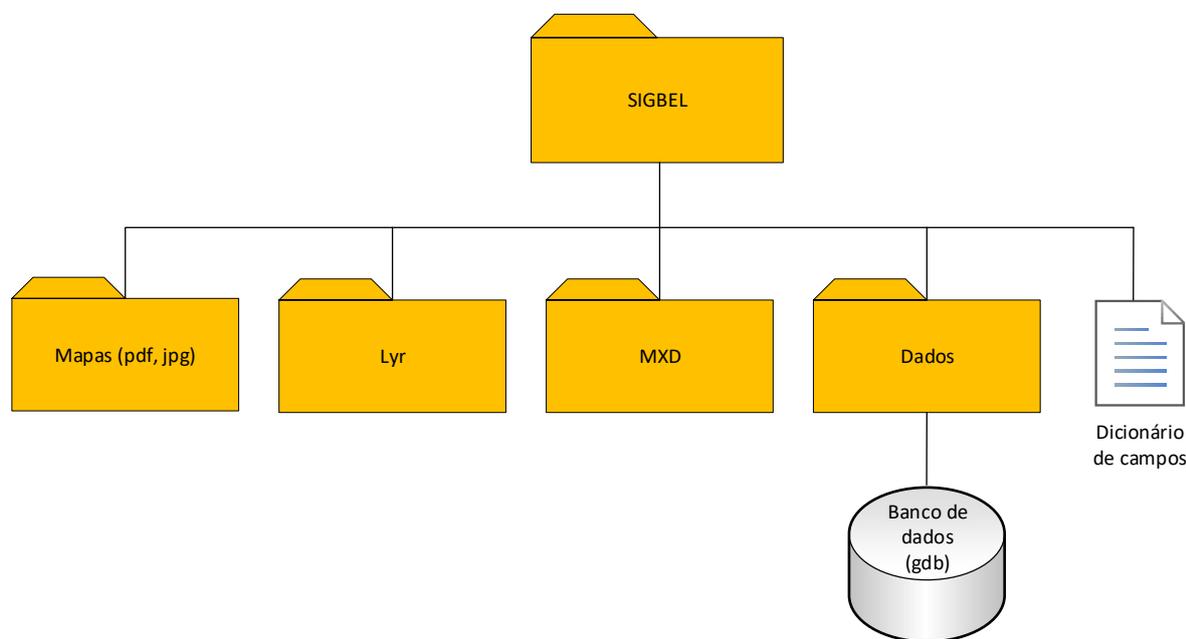


Figura 77 - Estrutura do banco de dados (SIGBEL).

Todos os arquivos gerados (figuras, projetos e legendas) foram relacionados em diretórios de acordo com a organização dos relatórios correspondentes, em que aparecem, com a respectiva numeração, de modo a buscar maior facilidade na localização do material.

Na pasta “Mapas” estão dispostos todos os mapas em formato .pdf ou .jpg elaborados no âmbito dos estudos, organizados de maneira a corresponder com o relatório ao qual pertencem. Os mapas produzidos contêm informações sobre o sistema de referência/fuso utilizado, grade de coordenadas, escala gráfica e numérica e fonte das informações utilizadas. Na Figura 78 é apresentado como exemplo os arquivos disponibilizados na pasta “Mapas” correspondente ao Relatório Técnico Temático – Hidrogeoquímica.

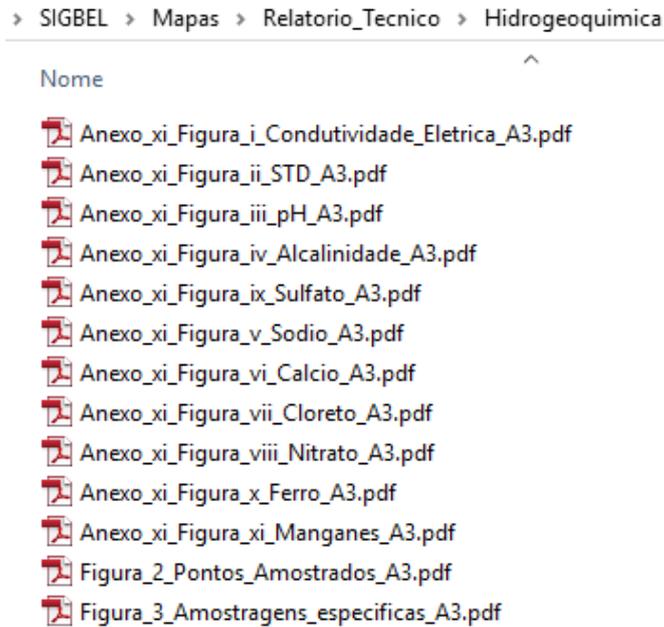


Figura 78 – Exemplo de arquivos disponibilizados na pasta Mapas.

Na pasta “Layers” serão encontrados os arquivos em formato .lyr, nos quais estão contidas as simbologias que foram utilizadas nos mapas apresentados ao longo dos estudos. Na Figura 79 é apresentado o exemplo da pasta “Layers > Relatorio_Tecnico > Hidrogeoquímica”.

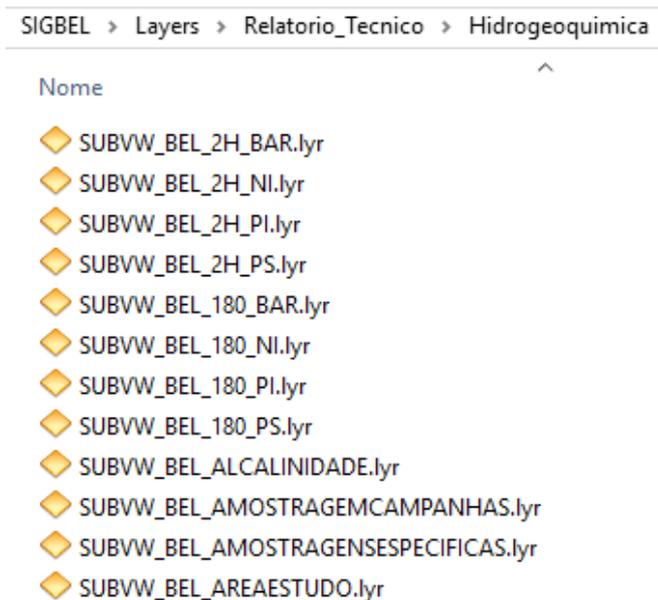


Figura 79 – Exemplo de arquivos disponibilizados na pasta Legendas.

A pasta “MXD” contém os projetos ou *layouts* (.mxd) gerados para compor os mapas apresentados nos relatórios, dentre os quais se podem encontrar logos, informações sobre o sistema de referência/fuso utilizado, grade de coordenadas, escala gráfica e numérica, e fonte das informações utilizadas. Na Figura 80 pode ser visualizado o exemplo da pasta correspondente aos arquivos utilizados no Relatório Técnico Temático de Hidrogeoquímica.

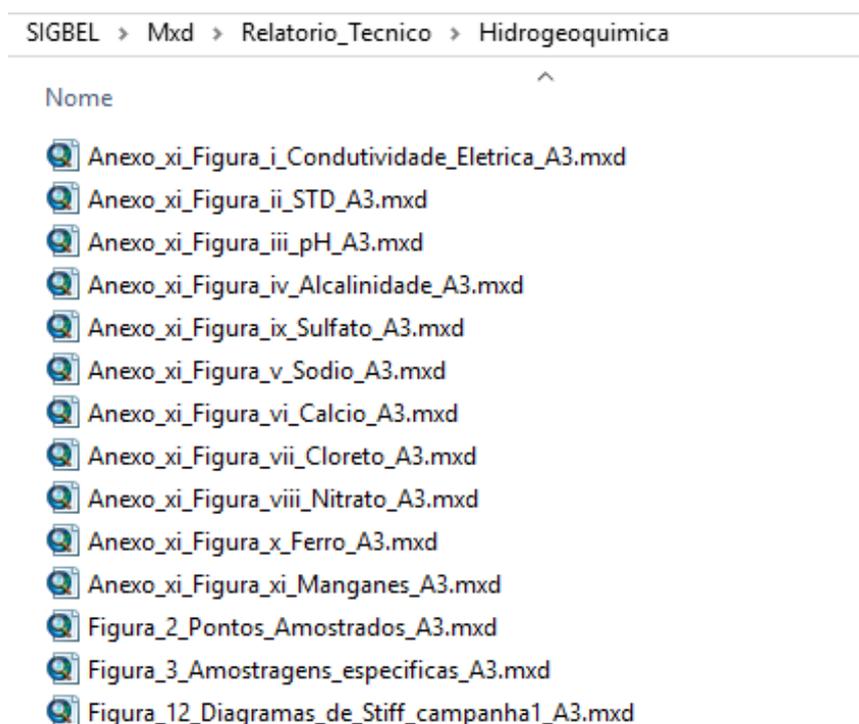


Figura 80 – Exemplo de arquivos contidos na pasta Projetos.

O banco de dados propriamente dito é apresentado em formato .gdb, e armazena todas as informações espaciais em arquivos nos formatos vetorial e *raster*, os quais foram coletados durante o estudo. Os arquivos vetoriais estão organizados em coleções de classes de acordo com o tema do dado, como pode ser observado na Figura 81.

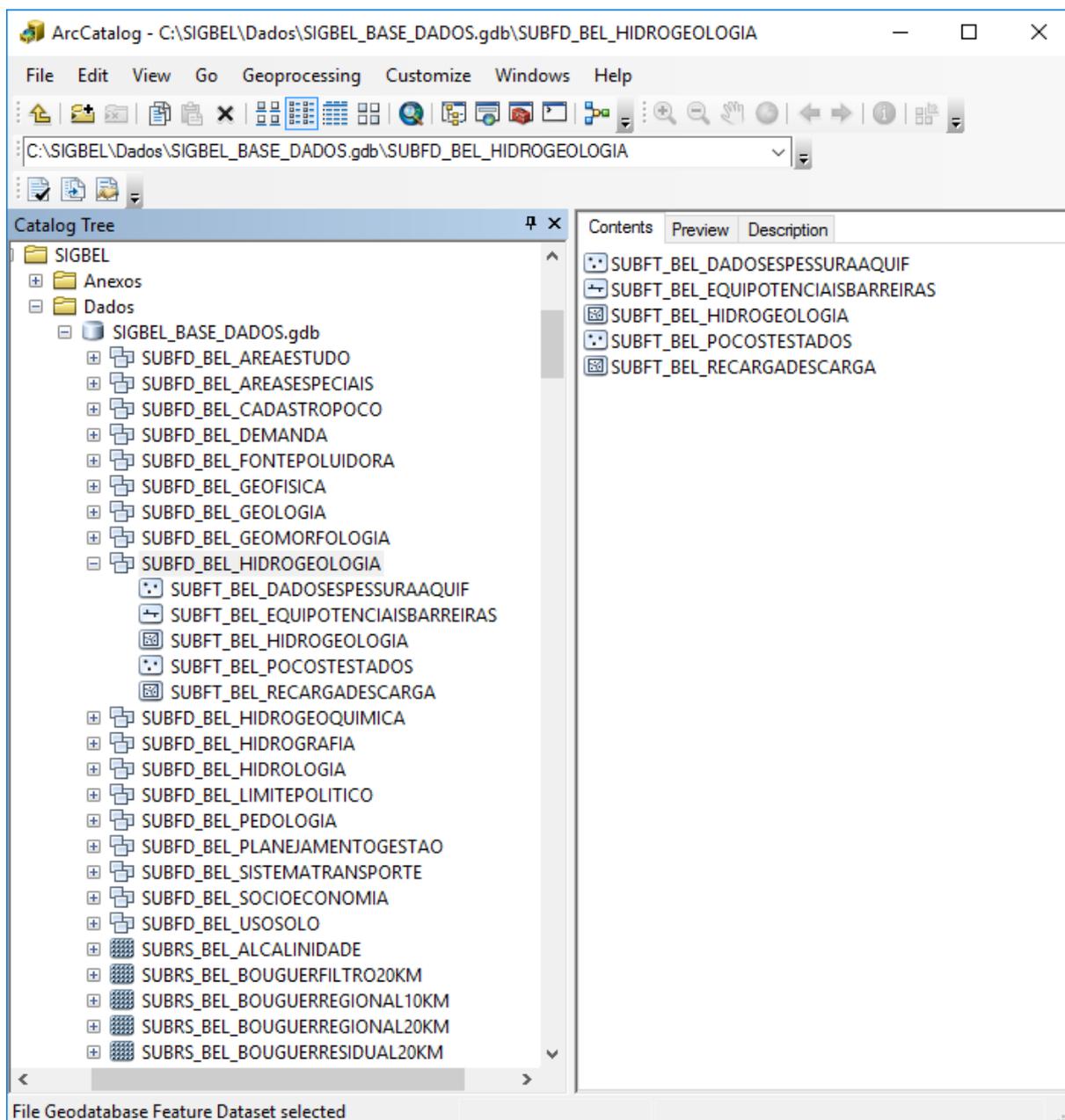


Figura 81 - Estrutura do banco de dados.

Os arquivos contidos no banco foram nomeados conforme as regras e padrões de nomenclatura de objetos das Agência Nacional de Águas (ANA), versão 2.07. Na Figura 82 são listados os componentes utilizados na montagem da nomenclatura dos arquivos. E na Figura 83 é apresentada a estrutura dos nomes dos campos dos arquivos contidos no banco.

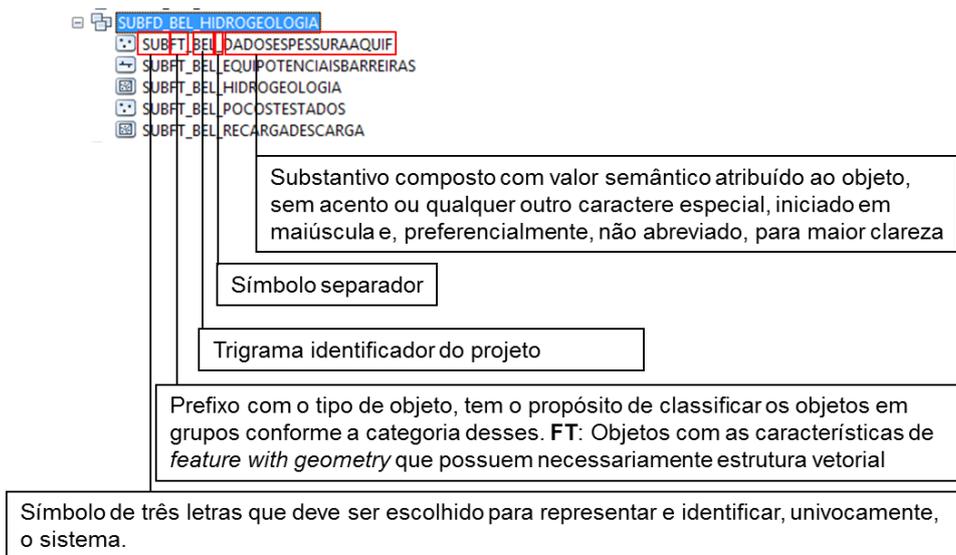


Figura 82 – Descrição dos componentes utilizados nas nomenclaturas dos arquivos do banco de dados.

FAQ CD	FAQ CR	UTME	FAQ CR	UTMM	FAQ GM	ESPRARREIRAS
SEV-01	792992	9873966				22
SEV-02	794682	9873379				65
SEV-03	796217	9870967				91
SEV-04	799151	9868992				100
SEV-05	801639	9866223				85
SEV-06	803757	9863966				75
SEV-07	804703	9861414				108
SEV-08	805430	9858658				82
SEV-09	806348	9856446				14
SEV-10	806441	9854745				94
SEV-11	807116	9852209				104
SEV-12	809310	9847722				73
SEV-13	812014	9844531				47
SEV-14	813480	9841587				22
SEV-15	784869	9838238				57
SEV-16	814753	9870686				58
SEV-17	815414	9838962				49
SEV-18	795075	9843921				54
SEV-19	798758	9843000				19
SEV-20	801473	9843036				25
SEV-21	805312	9858908				90
SEV-22	810718	9855387				67
SEV-23	812673	9853607				111
SEV-24	813908	9854460				100
SEV-25	816815	9864405				59
SEV-26	818746	9865263				90
SEV-27	813519	9867554				57
SEV-28	809728	9866016				14
SEV-29	821485	9858545				44
SEV-30	825200	9858527				39
SEV-31	788867	9838893				90
SEV-32	789128	9844682				126
SEV-33	799976	9843807				113
SEV-34	804136	9856198				33
SEV-35	809976	9843800				59
SEV-36	814136	9843800				ca

Figura 83 – Descrição dos componentes utilizados nas nomenclaturas dos campos de arquivos do banco de dados.

Além dos diretórios mencionados acima, também está disponível arquivo no formato .xls, denominado Dicionario_campos_ANA_Belem, no qual são descritos todos os arquivos, as fontes dos dados, bem como, os campos existentes em cada arquivo e sua respectiva descrição.

5 ASPECTOS SÓCIOECONÔMICOS

5.1 HISTÓRICO DE OCUPAÇÃO

A consolidação do espaço urbano de Belém remonta aos primórdios da colonização portuguesa, tendo, ao longo dos séculos, percebido seu crescimento condicionado pelo papel que a cidade desempenhava no contexto das relações econômicas que se estabeleciam entre a região amazônica brasileira, a metrópole portuguesa e o mercado mundial.

Na medida em que abrigava funções de sede administrativa e política, passou também a concentrar a maioria das casas bancárias e o comércio, sendo acompanhado pelo crescimento da população (ZEE, 2010). Desde o século XVII, a economia da região baseou-se na exploração de produtos através de ciclos extrativistas (temperos, artigos alimentícios) que constituíram uma rede de pequenas localidades de apoio à armazenagem dos produtos escoados pelo porto de Belém (CARDOSO & NETO, 2013). Por sua localização geográfica estratégica, para onde converge toda a calha dendrítica da bacia Amazônica, Belém possuiu um papel relevante na conquista e ocupação do território amazônico, com destaque para a intermediação das relações comerciais com a Europa (IPEA, 2015).

De acordo com IPEA (2015), a partir da década de 1960, com o processo de integração nacional realizado por meio da abertura de rodovias federais, Belém passa a se inserir em uma dinâmica de urbanização denominada de rede urbana complexa, na qual os fluxos começam a convergir para a cidade não mais apenas através das vias fluviais, mas também, e principalmente, a partir dos eixos rodoviários. Esse novo padrão de urbanização dá origem ao processo de metropolização, que se deu pela incorporação de vilas e cidades próximas.

A partir da década de 1970, intensificou-se uma migração que se iniciou com a abertura da Rodovia Belém-Brasília (BR-010). Muitos dos novos moradores, ao chegarem a Belém, depararam-se com o esgotamento das áreas de terra firme dentro da Primeira Léguas Patrimonial¹, restando a ocupação das áreas de baixadas, que sofriam inundações com as cheias dos corpos hídricos; ou, como segunda opção, de áreas melhores do ponto de vista

¹ Primeira Léguas Patrimonial trata-se de uma porção de 4.110 hectares, doada em 1o de outubro de 1627 e demarcada oficialmente em 1703, obedecendo ao traço de uma légua em arco quadrante das margens do rio Pará em direção ao sul e do Guamá em direção ao norte. Essa doação foi efetuada por meio de carta de sesmaria pelo então governador do Maranhão e Grão-Pará, Francisco de Carvalho, à Câmara Municipal de Belém.

geotécnico, mas localizadas em outros municípios que tinham condições piores de acessibilidade.

A ocupação das baixadas, áreas alagáveis ocupadas por populações do interior do estado, constitui o tipo mais antigo de favelização com registro histórico na RM de Belém (IPEA, 2015). Nesse período teve início uma política habitacional, direcionada pelo governo federal, de construção de conjuntos habitacionais nas áreas posteriores à Primeira Léguas Patrimonial, a qual visava direcionar a expansão urbana da cidade e diminuir a densidade populacional do centro. Contudo, o mesmo não ocorreu com os serviços, comércios e arranjos institucionais, que continuaram “confinados” na Primeira Léguas, não acompanhando a expansão para os novos espaços de moradia dentro da RM de Belém. Paralelamente, houve expansão de condomínios fechados, de caráter residencial e perfil de alta e média renda nos eixos viários da Rodovia Augusto Montenegro e BR-316, contudo, sem expansão significativa de equipamentos públicos ou infraestrutura urbana (IPEA, 2015).

Ao longo do tempo, vêm ocorrendo mudanças nos limites políticos dos municípios pertencentes à Região Metropolitana de Belém. Em 1970, no polígono corresponde à área de estudo, estavam localizados quatro municípios: Ananindeua, Belém, Benevides e Santa Izabel do Pará (Figura 84). O Município de Belém, além da área atual, ocupava parte do território que hoje pertence à Ananindeua, enquanto o limite de Ananindeua se estendia por área hoje pertencente ao Município de Marituba. Essa mudança ocorreu devido à revisão dos limites municipais de Belém e Ananindeua ocorrida durante a década de 1990.

Atualmente, a RMB é constituída por sete municípios, Belém, Ananindeua, Marituba, Benevides, Santa Izabel do Pará, Santa Bárbara do Pará e Castanhal, sendo este último incorporado em 2011.

A Região de Belém é composta por seis municípios, com exceção de Castanhal. Devidos às emancipações ocorridas na década de 1990: em 1991, o distrito de Santa Bárbara, pertencente ao Município de Benevides foi elevado à categoria de município, com a denominação de Santa Bárbara do Pará; e, em 1994, o distrito de Marituba foi desmembrado de Benevides, sendo elevado à categoria de município.

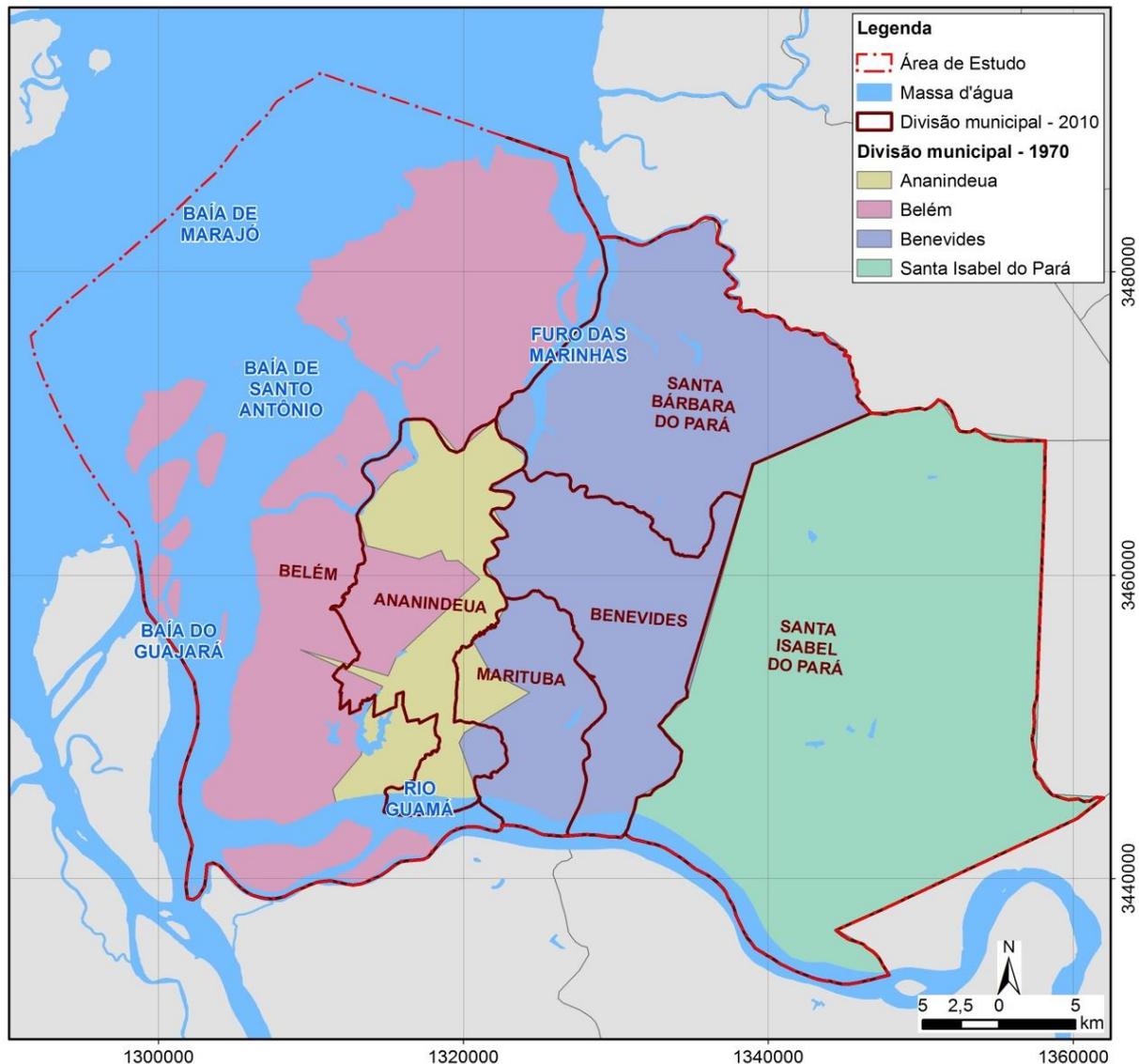


Figura 84 – Evolução dos limites municipais na Região de Belém (Elaborado a partir dos limites vetoriais municipais disponibilizados por IBGE).

5.2 DINÂMICA POPULACIONAL

A população dos municípios da Região de Belém apresentou crescimento nas últimas décadas, passando de 685.616 habitantes em 1970, para 2.229.910 habitantes em 2016 (Quadro 35).

A maior parte da população residente na área estudo está concentrada na capital do Estado, Belém, onde residem 1.446.042 habitantes, segundo estimativa do IBGE para 2016. Nos últimos anos, as áreas de baixadas e terras altas passaram por processos de redefinição, de forma que, a urbanização tem se intensificado de maneira irregular e diferenciada.

Com a pressão populacional exercida pela concentração e valorização das áreas “altas” passou a ocorrer a periferização das baixadas, se expandindo pelos espaços urbanos e territoriais dos municípios de Belém, Ananindeua e Marituba (ZEE, 2010).

Quadro 35 – População residente por município.

Unidade Territorial	1970	1980	1991	2000	2010	2016*
Ananindeua	22.527	65.878	88.151	393.569	471.980	510.834
Belém	633.374	933.280	1.244.689	1.280.614	1.393.399	1.446.042
Benevides	13.867	22.315	68.465	35.546	51.651	59.836
Marituba	...	...	...	74.429	108.246	125.435
Santa Bárbara do Pará	...	...	...	11.378	17.141	20.077
Santa Izabel do Pará	15.848	24.044	33.329	43.227	59.466	67.686
Total	685.616	1.045.517	1.434.634	1.838.763	2.101.883	2.229.910

Fonte: IBGE - Censo Demográfico. * IBGE – Estimativa da população residente enviada ao Tribunal de Contas da União, referente à data de 1º de julho de 2016.

De acordo com o Censo 2010 (IBGE, 2010), 54,5% dos domicílios de Belém estão localizados nos chamados aglomerados subnormais², sendo que os mais populosos são: Baixadas da Estrada Nova Jurunas (53.105 habitantes), Assentamento Sideral (39.706 habitantes), Baixadas do Condor (38.863 habitantes), Bacia do Tucunduba-Terra Firme (35.106 habitantes) e Bacia do Una-Telégrafo (30.007 habitantes).

Nessas áreas de ocupação espontânea normalmente são ausentes os serviços básicos (saneamento, eletricidade, arruamento, escolas, postos de saúde, etc.) (ZEE, 2010). Por outro lado, nos bairros de classe média e alta, desde a década de 1960, tem ocorrido um processo de verticalização, o qual é responsável pelo adensamento de construções nas áreas de terraços (terras altas) e se expande na medida em que se amplia a melhoria dos equipamentos nestas áreas (ZEE, 2010).

Na década de 1970, 92,38% da população localizada dentro dos limites da Região de Belém estava concentrada em Belém. Contudo, essa concentração vem caindo nas últimas décadas, tendo chegado a 64,85% em 2016. Essa redução da participação de Belém na população total da região está relacionada tanto à baixa taxa de crescimento populacional da Capital, quanto ao crescimento mais acentuado nas cidades do entorno (Quadro 36).

² De acordo com IBGE (2010), é o conjunto constituído por 51 ou mais unidades habitacionais caracterizadas por ausência de título de propriedade e pelo menos uma das características abaixo:

- Irregularidade das vias de circulação e do tamanho e forma dos lotes e/ou
- Carência de serviços públicos essenciais (como coleta de lixo, rede de esgoto, rede de água, energia elétrica e iluminação pública).

Quadro 36 – Taxa de crescimento anual da população por município.

Unidade Territorial	1970/1980	1980/1991	1991/2000	2000/2010
Ananindeua	11,33	2,68	18,09	2,04
Belém	3,95	2,65	0,32	0,94
Benevides	4,87	10,73	-7,02	4,24
Marituba	...	...	...	4,25
Santa Bárbara do Pará	...	...	...	4,66
Santa Izabel do Pará	4,26	3,01	2,93	3,61
Total	4,31	2,92	2,80	1,50

Fonte: Calculado a partir de IBGE - Censo Demográfico.

Ananindeua é atualmente o segundo município mais populoso do Estado. Segundo estimativa do IBGE para 2016 (IBGE, 2016), o município conta com 510.834 habitantes. A cidade começou a ser povoada a partir do estabelecimento de uma parada e/ou estação da Estrada de Ferro de Bragança, no território onde hoje está instalada a sede municipal. Originalmente considerada cidade dormitório, apresentou um elevado crescimento nas últimas décadas.

Na década de 1970 iniciou-se a construção do primeiro conjunto habitacional Cidade Nova (ao todo são 9), um programa de habitação de âmbito federal sob responsabilidade da Companhia Habitação do Estado do Pará (COAHB). Às margens desse processo de expansão de conjuntos habitacionais foram surgindo áreas de ocupação irregular, sendo que, em 2010, 61,2% dos domicílios de Ananindeua estavam localizados em aglomerados subnormais, com destaque para o aglomerado de PAAR onde residem mais de 29.686 pessoas (IBGE, 2010).

Marituba é o terceiro maior município da Região de Belém, tendo alcançado 125.435 habitantes em 2016, segundo estimativa do IBGE (IBGE, 2016). O povoado que deu origem ao Município de Marituba também surgiu em função da Estrada de Ferro de Bragança, o qual abrigava os operários de manutenção e demais funcionários dessa estrada. O crescimento desordenado de Belém e a busca por moradia mais barata levou ao inchaço de Ananindeua e Marituba, sendo que, de acordo com o Censo 2010, Marituba ocupa lugar de destaque no ranking de favelização, uma vez que 77,2% dos domicílios estão localizados em aglomerados subnormais, destacando-se os assentamentos Nova União e Almir Gabriel onde residem 15.498 e 12.459 habitantes, respectivamente.

Santa Izabel do Pará é o município mais a leste da Região de Belém, este município possuía 15.848 habitantes em 1970, enquanto em 2016 a população do município

chegou a 67.686. A ocupação inicial do município também está relacionada à construção da ferrovia Belém-Bragança, enquanto mais tarde o dinamismo da área é influenciado pela localização nas margens da rodovia BR-010, o qual corresponde ao eixo de infraestrutura dinâmica dentro do Estado.

Entre a década de 1970 e 2010, a população do município cresceu em média 3,4% ao ano, sendo que o período de maior crescimento ocorreu em 1970 e 1980, quando a taxa de crescimento anual chegou a 4,3%.

A Colônia de Benevides foi fundada em 1875 em uma região identificada pelas autoridades provinciais como área de "matas virgens", "vastas terras desertas" e "fecundo e riquíssimo solo". O Núcleo Colonial de Benevides tinha como finalidade ser um espaço de produção para abastecimento dos mercados do Pará, bem como, servir de referência enquanto estratégia governamental de conquista e ocupação de uma área predominantemente de floresta.

Atualmente, Benevides possui 59.836 habitantes, número inferior ao existente antes das emancipações da década de 1990. Apesar de ter perdido população, o município apresentou crescimento populacional médio de 3,3% ao ano entre 1970 e 2010.

Santa Bárbara do Pará é o menor município da Região de Belém, com apenas 20.077 habitantes e apresentou crescimento populacional de 4,7% ao ano entre os censos de 2000 e 2010.

No Quadro 37 são apresentadas as taxas de urbanização dos municípios da Região de Belém nas últimas décadas. Observa-se a maior variação na taxa de urbanização ocorreu no Município de Ananindeua, o qual era majoritariamente rural até 1980, mas que apresentou taxa de urbanização superior a 80% no censo seguinte (1991), chegando a ultrapassar a taxa de urbanização de Belém a partir do censo de 2000.

Quadro 37 – Taxa de urbanização do município.

Unidade Territorial	1970	1980	1991	2000	2010
Ananindeua	12,98	10,40	84,00	99,76	99,75
Belém	95,18	88,33	68,22	99,35	99,14
Benevides	25,30	29,84	12,21	58,83	55,98
Marituba	...	...	...	87,18	98,96
Santa Bárbara do Pará	...	...	...	35,23	31,84
Santa Izabel do Pará	32,14	59,12	71,19	76,52	72,31
Total	89,61	81,50	66,59	97,23	96,90

Fonte: IBGE - Censo Demográfico.

De acordo com Castro (2004):

"[...] A maior parte da população urbana do Município de Belém concentra-se no continente, porém as várias ilhas quem compõem o município abrigam uma parcela de sua população. Administrativamente é constituído por uma região continental, com 173,7864 km² (34,36%) de extensão e outra insular, com 332,0367 km² marcada por uma complexa rede hidrográfica formada por inúmeros rios, igarapés, furos e canais". (CASTRO, 2004; pg. 24).

No período mais recente (2000-2010) o maior aumento na taxa de urbanização ocorreu no Município de Marituba. De acordo com IPEA (2015), este município vem apresentando uma tendência de conurbação mais evidente em relação ao Município de Ananindeua, o que deve intensificar o processo de conurbação da malha urbana entre os municípios de Belém, Ananindeua e Marituba.

Santa Izabel do Pará e Benevides deixaram de ter predomínio da população rural no período, mas ainda apresentam taxas de urbanização bem inferiores aos três municípios citados no parágrafo anterior. Por outro lado, em Santa Bárbara do Pará pouco mais de 30% da população reside em áreas urbanas.

De acordo com Castro (2004):

"[...] A cidade de Belém junto com dezenas de pequenas cidades de seu entorno, representa certamente a experiência de maior adensamento demográfico de toda a região Amazônica. Os municípios da Região Metropolitana de Belém (RMB) comportam quase dois milhões de habitantes (IBGE, 2000). Neste subespaço têm sido registradas, nos últimos 20 anos, as mais altas taxas de ocupação humana da Amazônia, além da maior concentração de indústria com base nos recursos regionais (madeira, pescado, minério, alimentos, entre outros) e de serviços". (CASTRO, 2004; pg. 21).

Para calcular a densidade demográfica dos municípios, foram utilizadas áreas diferentes nos períodos pré e pós 1991. Para os três primeiros anos (1970, 1980 e 1991) foi utilizada como referência a área obtida a partir da malha municipal de 1970 (IBGE, 1970), enquanto no cálculo da densidade dos anos 2000 e 2010 foram utilizadas as áreas atuais dos municípios (IBGE, 2015a).

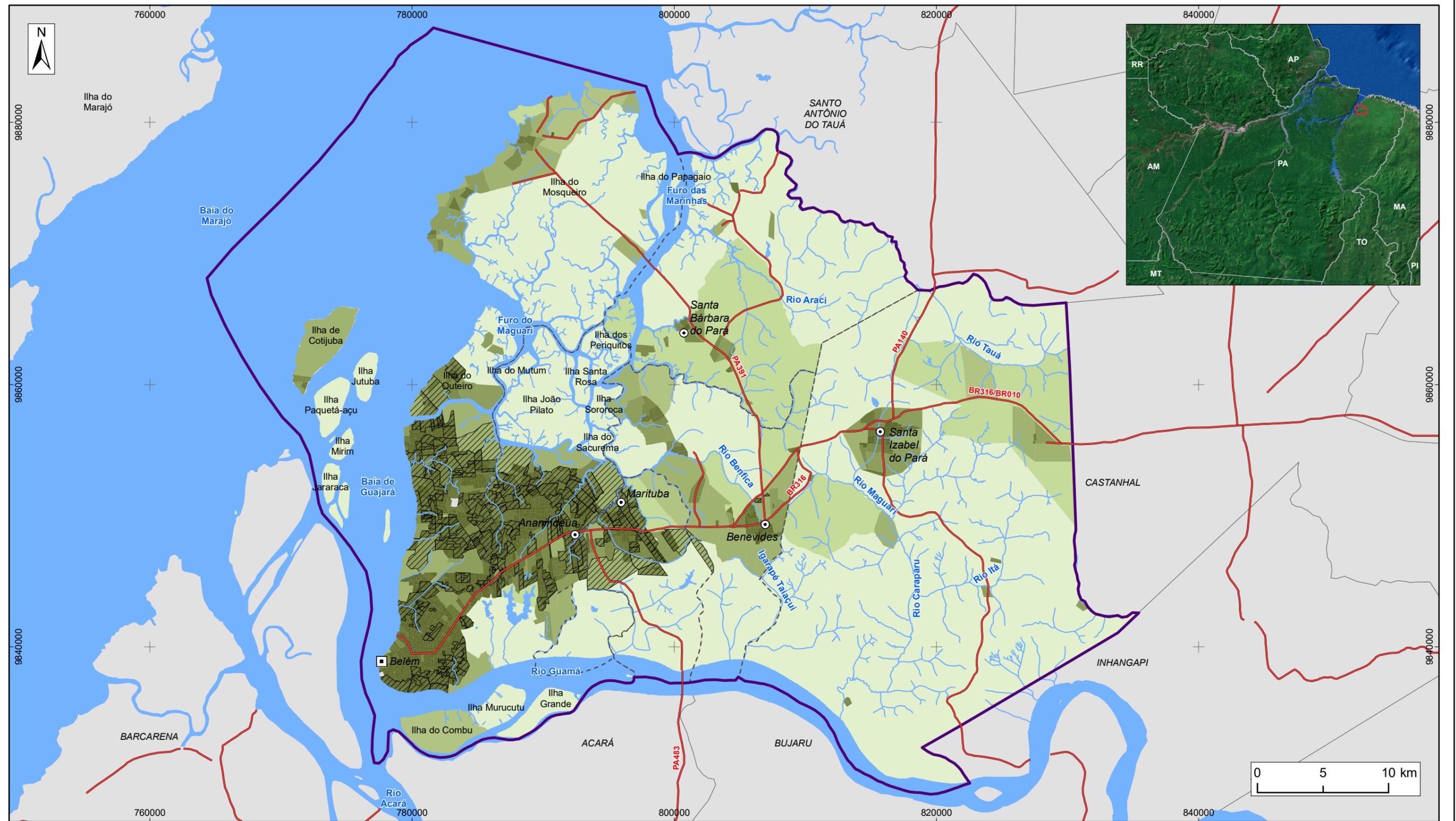
Como pode ser observado no Quadro 38, a densidade demográfica vem aumentando no decorrer do tempo, sendo que os maiores valores são encontrados em Ananindeua, Belém e Marituba. De acordo com IPEA (2015), este fator tem relação com a extensão territorial e o padrão de ocupação dos municípios da RM de Belém. Ananindeua possui ocupação mais densa, situada em mais de um núcleo (Rodovia BR-316, conjuntos habitacionais, como o Cidade Nova, distritos), e território proporcionalmente compacto. Já Belém, além da área continental, possui porções insulares, as quais possuem baixa

densidade demográfica, o que influencia na redução da densidade total do município (Figura 85).

Quadro 38 – Densidade demográfica em Habitante/km².

Unidade Territorial	1970*	1980*	1991*	2000	2010
Ananindeua	132,14	386,44	517,10	2.065,94	2.477,53
Belém	583,44	859,70	1.146,55	1.208,81	1.315,27
Benevides	24,64	39,65	121,64	189,25	274,99
Marituba	...	...	...	720,21	1.047,43
Santa Bárbara do Pará	...	...	...	40,91	61,62
Santa Izabel do Pará	22,13	33,57	46,54	60,23	82,86
Total	270,46	412,43	565,92	724,81	828,52

Fonte: Elaborado a partir de: IBGE - Censo Demográfico e área dos municípios obtida a partir de vetor com a divisão territorial disponibilizada pelo IBGE. Para os anos 1970, 1980 e 1991 foram utilizadas as áreas referentes aos limites anteriores aos ajustes citados no início do item; para 2000 e 2010 foi utilizada a área atual dos municípios no cálculo da densidade.



LEGENDA

▣ Capital Estadual	--- Limite municipal	■ 101 - 500
⊙ Sede Municipal	▨ Aglomerado subnormal	■ 501 - 1.000
~ Hidrografia	Densidade (hab/km²)	■ 1.001 - 2.000
— Rodovia	0 - 20	■ 2.001 - 5.000
☪ Massa d'água	21 - 50	■ 5.001 - 107.521
⊕ Área de Estudo	51 - 100	

Figura 85 – Mapa de densidade demográfica da Região de Belém, por setor censitário



ESTUDOS HIDROGEOLÓGICOS PARA A GESTÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DA REGIÃO DE BELÉM/PA

Fonte: Rodovias: SEMAS/PA. Limites políticos: IBGE
Aglomerados subnormais/Densidade Demográfica: IBGE (Censo, 2010)
Ilhas: Adaptado SEMAS/PA

Sistema de Coordenadas:	UTM
Datum Horizontal:	SIRGAS 2000
Unidade:	Metros
Fiscalização:	ANA
Data:	Junho/2018
Arquivo:	Figura_85_Mapa_Densidade_Demografica_A3
Escala:	1:290.000

5.3 ASPECTOS ECONÔMICOS

5.3.1 Produto Interno Bruto (PIB)

A soma do PIB dos municípios da Região de Belém representa 30,2% do PIB total do Estado do Pará (Quadro 39). O setor de serviços é o que mais se destaca na composição do PIB dos municípios da área de estudo (80,87%), sendo que a maior proporção dos serviços ocorre na capital Belém (82,08%).

De acordo com IPEA (2015), o setor terciário no Estado do Pará é caracterizado por apresentar forte presença do comércio de pequeno e médio porte e por serviços de baixa qualificação. Este perfil da economia representa baixo valor agregado, remunerações em estratos inferiores do mercado de trabalho e reduzidos investimentos em tecnologia, pesquisa ou desenvolvimento de produtos, e, ainda, um alto índice de informalidade.

A produção industrial é responsável por 18,61% do PIB na Região de Belém. Destaca-se o Município de Benevides com a maior participação do setor indústria (43,39%). Nesse município o complexo industrial Ecoparque abriga a fábrica da Natura e possui espaço para sediar outras empresas interessadas em compor o polo industrial sustentável.

O setor agropecuário é pouco representativo na Região de Belém, representando apenas 0,52% na composição deste indicador. O município onde a agropecuária é mais expressiva é Santa Izabel do Pará, representando 16,16% do total. Destaca-se pela produção pecuária, possuindo um rebanho significativo de galináceos, o qual ultrapassou 8,6 milhões de cabeças no ano de 2015. Além disso, faz parte do polo de produção de dendê do Guamá. De acordo com PARÁ (2015), a produção paraense de dendê é efetuada com a integração de contingente significativo de pequenos agricultores familiares, que passaram a se inserir em uma cultura de mercado e, dessa forma, puderam elevar o seu nível de renda.

Quadro 39 – Produto Interno Bruto (PIB) municipal total e participação por setor (2014).

Unidade Territorial	% agropecuária	% indústria	% serviços	PIB (Mil Reais)
Ananindeua	0,23	20,12	79,65	5.777.643
Belém	0,25	17,67	82,08	28.706.165
Benevides	0,63	43,39	55,98	1.051.903
Marituba	0,28	15,10	84,63	1.421.180
Santa Bárbara do Pará	5,78	27,99	66,23	121.341
Santa Izabel do Pará	16,16	13,76	70,08	553.703
Total	0,52	18,61	80,87	37.631.935

Fonte: IBGE – Produto Interno Bruto dos Municípios (ano de referência: 2014).

5.3.2 Renda

Aplicando-se uma análise integrada nos dados obtidos, pode-se observar que a população residente na região de Belém apresenta uma situação generalizada de baixa renda domiciliar. Conforme ilustrado pela Figura 86, há um índice de 67,4% da população possuindo rendimento mensal domiciliar *per capita* de até um salário mínimo, ou sem rendimento.

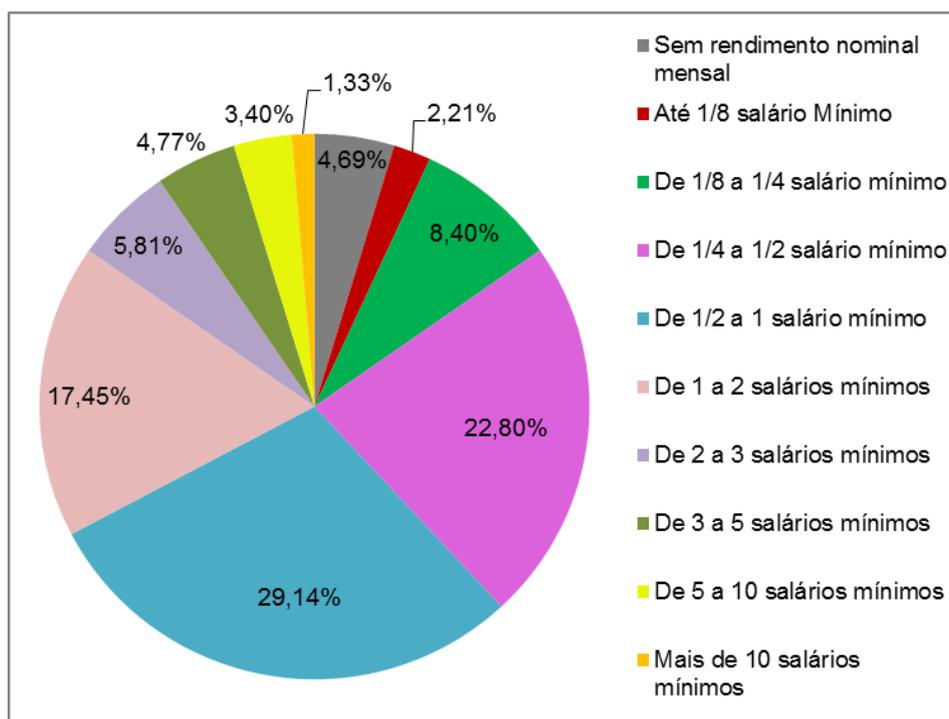


Figura 86 – Rendimento nominal mensal domiciliar per capita na região de Belém (Elaborado a partir de IBGE - Censo Demográfico).

Adicionalmente à condição de pobreza em que se encontra a população residente na região de Belém, observa-se ainda o problema da concentração de renda. As faixas de rendimento nominal mensal domiciliar *per capita* dos municípios estudados foram separadas de acordo com as localizações dos domicílios (as quais foram classificadas de acordo com a sua situação no que diz respeito à condição de aglomerado subnormal: sim ou não), como mostra o Quadro 40. Assim, verifica-se que a maior expressão dos domicílios entre as faixas de renda “sem rendimento” até renda atingindo 1 salário mínimo, localizados nos municípios de Ananindeua, Belém e Marituba estão relacionados aos aglomerados subnormais.

Quadro 40 – Rendimento nominal mensal domiciliar *per capita* por município, separado por setores caracterizados como aglomerados subnormais.

Unidade Territorial	Ananindeua		Belém		Benevides		Marituba		Santa Bárbara do Pará	Sta. Izabel do Pará
	Sim	Não	Sim	Não	Sim	Não	Sim	Não	Não	Não
SR	3.656	1.666	11.228	6.649	21	504	1.116	234	322	655
Até 1/8 SM	2.241	474	5.126	2.014	20	472	695	121	313	798
Mais de 1/8 a 1/4 SM	8.790	2.388	19.873	7.874	29	1.818	2.438	557	751	2.191
Mais de 1/4 a 1/2 SM	22.900	8.284	52.467	24.290	67	4.089	6.834	1.775	1.400	4.639
Mais de 1/2 a 1 SM	25.016	14.396	62.797	40.981	58	4.206	6.928	2.194	1.146	4.235
Mais de 1 a 2 SMs	10.672	12.427	29.117	37.326	22	1.702	2.579	971	377	1.795
Mais de 2 a 3 SMs	2.002	4.527	6.681	17.549	4	384	419	178	89	431
Mais de 3 a 5 SMs	990	3.101	3.915	17.742	3	193	151	112	48	248
Mais de 5 a 10 SMs	397	1.520	1.874	14.828	0	73	53	41	19	103
Mais de 10 SMs	106	369	479	6.367	0	29	7	10	6	23

Fonte: IBGE - Censo Demográfico. SR = Sem rendimento; SM = Salário mínimo

5.4 ÍNDICE DE DESENVOLVIMENTO HUMANO (IDH)

O Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM) da Região de Belém é de 0,729, em 2013, com base nos censos demográficos entre 2000 e 2010, do IBGE. Nesse período o índice da Região de Belém passou de 0,621 para 0,729, superando o atual IDHM nacional de 0,727 (avanço relativo de 17,4%, o terceiro mais expressivo dentre as regiões metropolitanas). Os municípios saltaram de uma posição de muito baixo desenvolvimento para médio desenvolvimento. Entretanto, somente os municípios de Belém e Ananindeua estão situados na faixa de IDHM Alto (acima de 0,700), conforme mostra o Quadro 41.

Quadro 41 – Índice de Desenvolvimento Humano Municipal de Belém e região Adjacente.

Unidade Territorial	IDHM (1991)	IDHM (2000)	IDHM (2010)
Ananindeua	0,516	0,606	0,718
Belém	0,562	0,644	0,746
Benevides	0,368	0,529	0,665
Marituba	0,397	0,505	0,676
Santa Bárbara do Pará	0,369	0,505	0,627
Santa Izabel do Pará	0,447	0,535	0,659

Os municípios da Região de Belém têm apresentado diferentes taxas de crescimento populacional nas últimas décadas, mas, no geral, tem ocorrido redução nas taxas de crescimento nos períodos mais recentes.

6 CARACTERIZAÇÃO DO MEIO FÍSICO

O levantamento de informações acerca do meio físico na Região de Belém procurou incluir todo o conhecimento sobre o tema foi realizado de maneira interdisciplinar, a partir do estudo do clima, da hidrografia, da geomorfologia, dos solos e da geologia. Esses itens foram pesquisados, em grande parte, com base em dados secundários, e interpretados dentro do escopo do projeto.

6.1 CLIMA

De acordo com o sistema de classificação global dos tipos climáticos, proposto por Köppen-Geiger (PEEL *et al.*, 2007), a Região de Belém está inserida na categoria equatorial quente úmido, com clima tropical chuvoso, com temperatura média do mês mais frio superior à 18°C (A), chuvas abundantes durante todo o ano com totais pluviométricos iguais ou superiores à 80 mm (F) e com baixa oscilação anual de temperatura (i), ou seja, clima AFi.

A Mesorregião Metropolitana de Belém é caracterizada por mostrar altos níveis de precipitação, devido à sua localização na zona equatorial do globo. O clima na região é influenciado por sistemas atmosféricos de meso e grande escala, como linhas de convergências e Zonas de Convergências Intertropicais, resultando em grandes quantidades de chuvas (BASTOS *et al.*, 2002).

Em Belém o regime das chuvas, durante a época mais chuvosa (dezembro a maio) é explicado pela predominância da Zona de Convergência Intertropical (Figura 87), associada aos efeitos de mesoescala, como as linhas que se formam na costa da Guiana propagando-se para oeste em uma linha *cumulonimbus*. Ao final do período chuvoso (junho a agosto) incide sobre a Região de Belém ventos alísios de sudoeste que se formam na faixa tropical do globo. Já, no período de estiagem (setembro a novembro) a precipitação é ocasionada por fenômenos de mesoescala (BASTOS *et al.*, 2002). A Região de Belém e os municípios da região nordeste do Estado do Pará, têm altitudes que variam desde ao baixo do nível médio do mar até os 60 m de altitude em alguns locais. Esta porção possui dois aspectos importantes relacionados ao clima, como a proximidade com o litoral e a baixa latitude (COSTA, 2004).

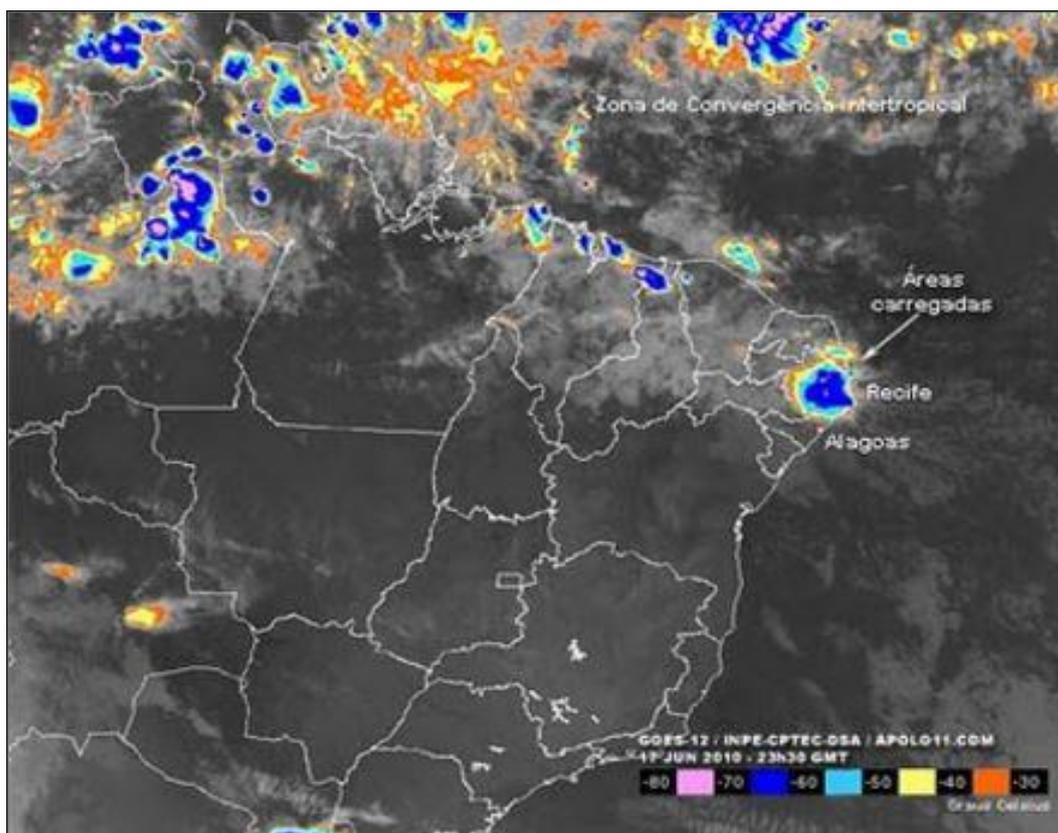


Figura 87 – Ocorrência de chuvas ocasionadas pela Zona de Convergência Intertropical (modificado de INMET, 2017).

Em relação às temperaturas Belém/PA se caracteriza por estarem sempre altas, forte convecção e alta umidade do ar. Segundo Figueiredo & Mota (2010), as temperaturas altas estão associadas ao elevado potencial de radiação incidente. A forte convecção e a alta umidade do ar favorecem a ocorrência de nuvens convectivas e precipitação na forma de pancadas, principalmente à tarde, situação característica de regime de chuva do tipo continental. Ainda segundo estes autores, a frequente formação de nuvens do tipo *cumulonimbus* favorece a ocorrência de vários tipos de tempestades.

Um recorte ainda mais específico para a cidade de Belém se refere aos dados levantados entre 1961 e 1990 pela Estação Meteorológica de Belém (INMET, 2016), cujas médias são sistematizadas no Quadro 42, onde se destacam as médias das precipitações esperadas para cada mês. Esses resultados definem a normal de chuvas para a Mesorregião Metropolitana de Belém, uma vez, que representam a média durante o intervalo de 30 anos (1961-1990). Desta forma, estes dados serão utilizados para comparar com os eventos climáticos ocorridos em Belém e registrados nesta mesma estação meteorológica.

De acordo com o climograma que mostra as médias pluviométricas mensais na região de Belém (Figura 88), não há relação direta entre a sazonalidade térmica e a quantidade de chuvas, pois os meses mais chuvosos registraram as menores temperaturas.

Quadro 42 – Normais climáticas da Estação Meteorológica de Belém/PA (1961-1990).

Estação Meteorológica de Belém/PA (1961-1990)									
Mês	T média	T média das máximas	T média das mínimas	T máxima absoluta	T mínima absoluta	Precipitação total	Precipitação máxima em 24h	Dias chuva	Umidade relativa do ar (%)
	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(mm)	(mm)		
Janeiro	25,6	30,9	22,1	35,9	19,4	385,50	118,2	24	89,7
Fevereiro	25,4	30,5	22,2	34,8	18,8	412,50	117,4	24	91
Março	25,5	30,4	22,4	37,3	19,8	447,10	136,9	26	91
Abril	25,6	30,8	22,6	35	19,2	353,40	112,8	24	91
Mai	25,8	31,3	22,6	34	19,8	305,50	103,5	23	88
Junho	26	31,7	22,1	35	19,8	155,30	85,4	16	86
Julho	25,7	31,7	21,7	35,3	14	155,50	111	15	85
Agosto	26	32,1	21,7	35,5	18,5	126,40	80,4	12	84
Setembro	26	32,1	21,7	34	18,8	144,80	67,4	15	84
Outubro	26,4	32,2	21,6	35	18,9	114,60	65,4	12	83
Novembro	26,5	32,3	21,9	35	18,6	118,20	66,4	13	83
Dezembro	26,2	31,9	22	37	19	203,00	121,4	17	86
Média Anual	25,89	31,49	22,05	37,30	14,00	2921,80	136,90	221,00	86,81

Fonte: Modificado de INMET (2016).

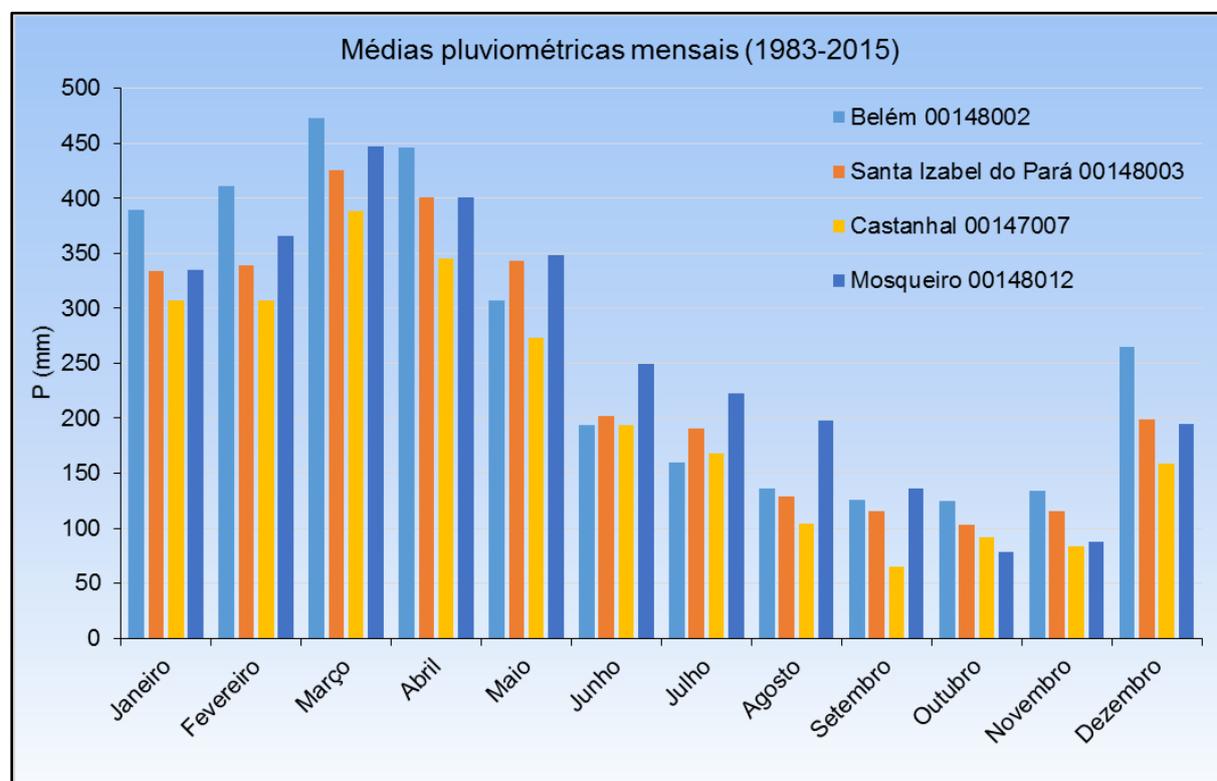


Figura 88 – Climograma para a região considerando o período homogêneo (adaptado de ANA, 2005).

6.1.1 Precipitação

A precipitação é uma das variáveis meteorológicas mais relevantes para os estudos climáticos e por consequência, para os estudos hidrogeológicos. Sua importância se deve às consequências que pode ocasionar tanto para os setores produtivos da sociedade, quanto para o setor ambiental, quando não ocorridas ou em excesso.

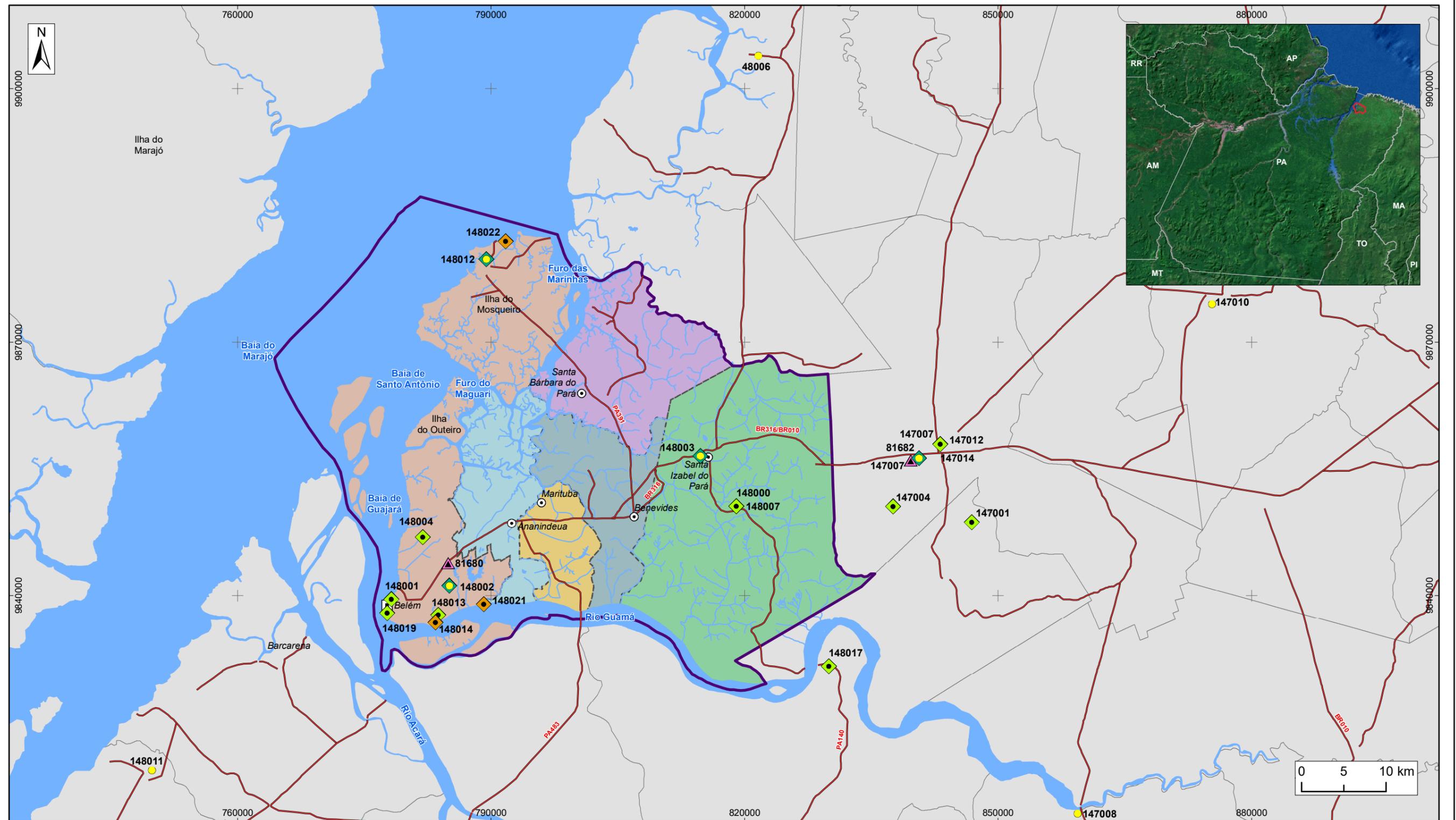
A caracterização pluviométrica neste estudo foi realizada a partir da seleção de oito estações pluviométricas que possuem um intervalo de dados coincidente de 34 anos consecutivos de 1983 a 2016. O Quadro 43 apresenta as estatísticas obtidas junto às estações pluviométricas selecionadas, cujas localizações estão apresentadas na Figura 89.

Quadro 43 – Precipitação média total e nos períodos seco e chuvoso (1983-2016).

Estação	Nome da Estação	Município	UF	Precipitação Média (mm)		
				Total	Período seco	Período chuvoso
00048006	VIGIA	VIGIA	PA	2739	688	2051
00147007	CASTANHAL	CASTANHAL	PA	2534	696	1838
00147008	SÃO DOMINGOS DO CAPIM	SÃO DOMINGOS DO CAPIM	PA	2216	561	1665
00147010	IGARAPÉ-AÇU	IGARAPÉ-AÇU	PA	2403	659	1747
00148002	BELÉM	BELÉM	PA	3157	869	2292
00148003	SANTA ISABEL DO PARÁ	SANTA ISABEL DO PARÁ	PA	2891	856	2038
00148011	VILA DO CONDE	BARCARENA	PA	2143	555	1587
00148012	MOSQUEIRO	BELÉM	PA	3027	955	2072
Precipitação Média (mm)				2639	730	1911

Analisando as estações localizadas dentro da Região de Belém, o maior valor registrado no pluviômetro de Belém foi no ano de 1989, com totais acumulados de 3.718 mm, e o menor índice no ano de 1958, com 2.185 mm acumulados. No pluviômetro de Santa Izabel do Pará o maior índice foi no ano de 1985 (4.045 mm), enquanto os menores foram registrados no ano de 2006, com 1.882 mm acumulados. Já, na estação de Castanhal, área limítrofe com a região de Belém, a precipitação máxima encontrada foi de 4.709 mm, no ano de 1994, e a mínima no ano de 2013, com 1.085 mm acumulados. Por fim, na estação de Mosqueiro registraram-se os máximos e mínimos de 3.887 mm e 1.247 mm, nos anos de 1989 e 2000, respectivamente.

A Figura 90 apresenta a interpolação da precipitação total média verificada nas estações pluviométricas selecionadas. Com base nos dados mensais, evidencia-se a diferença entre a ocorrência de chuvas no litoral (Belém, Santa Izabel do Pará e Mosqueiro) e no interior (Castanhal), sendo que a estação de Castanhal registrou dados inferiores às outras três em quase todos os meses históricos.



LEGENDA

- | | | |
|--|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"> ▣ Capital Estadual ⊙ Sede Municipal — Rodovia ~ Hidrografia ☪ Massa d'água ⊕ Área de Estudo - - - Limite municipal | <p>Município</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ Ananindeua ■ Belém ■ Benevides ■ Marituba ■ Santa Bárbara do Pará ■ Santa Izabel do Pará | <p>Estação Pluviométrica</p> <p>Hidroweb</p> <ul style="list-style-type: none"> ◆ Possui mais de 30 anos de dados ◆ Possui menos de 30 anos de dados ◆ Não possui dados ▲ Estação Automática ● Estações utilizadas no mapa de isoietas |
|--|---|---|

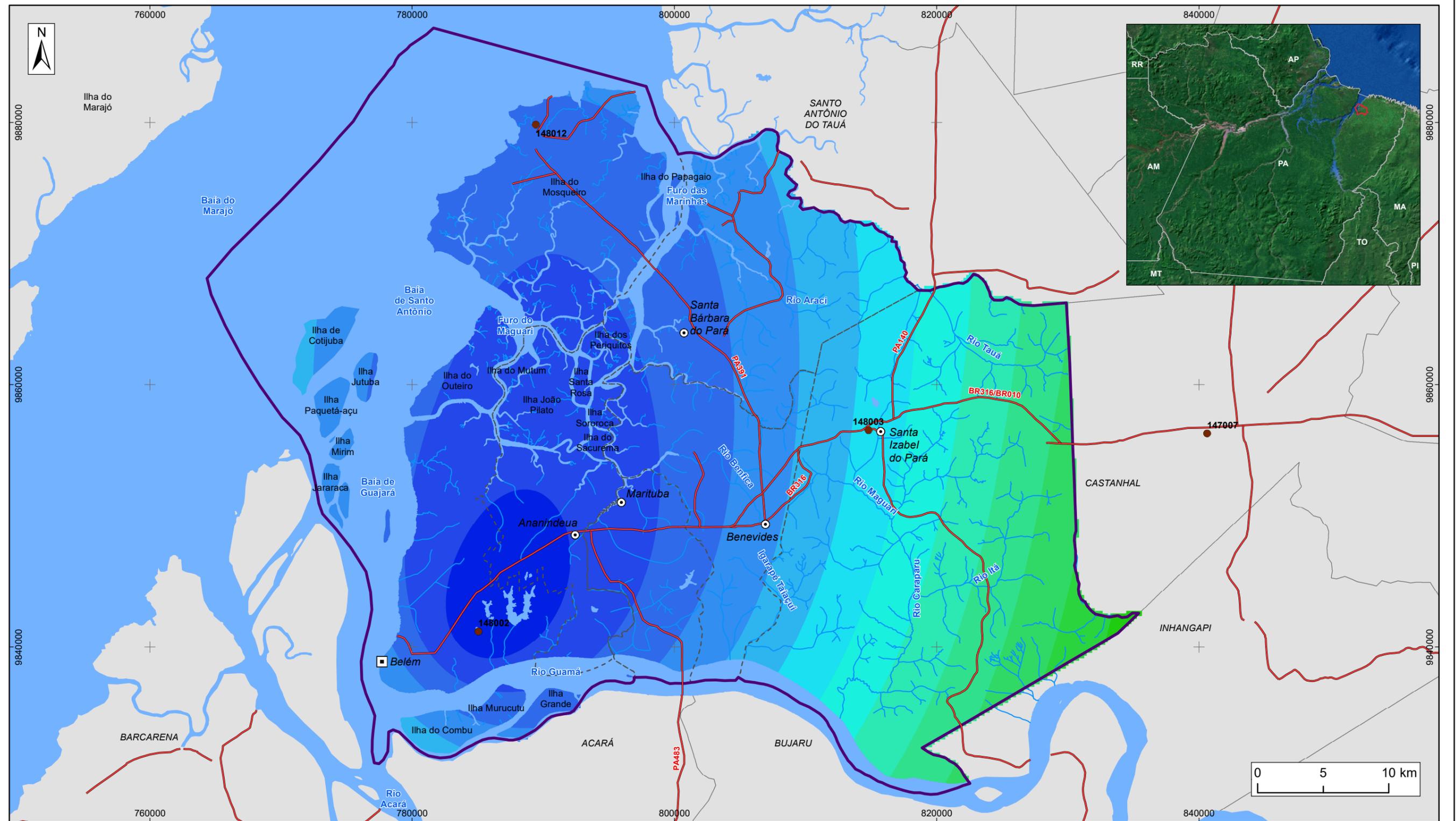
Figura 89 - Mapa de localização das estações pluviométricas analisadas



ESTUDOS HIDROGEOLÓGICOS PARA A GESTÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DA REGIÃO DE BELÉM/PA

Fonte: Rodovia: SEMAS/PA. Limites políticos: IBGE
 Hidrografia: CPRM
 Estações Pluviométricas: Hidroweb-ANA, INMET

Sistema de Coordenadas:	UTM
Datum Horizontal:	SIRGAS 2000
Unidade:	Metros
Fiscalização:	ANA
Data:	Junho/2018
Arquivo:	Figura_89_Estacoes_Pluiometricas_A3
Escala:	1:450.000



LEGENDA

<ul style="list-style-type: none"> ▣ Capital Estadual ⊙ Sede Municipal ● Estação pluviométrica ~ Hidrografia — Rodovia Massa d'água Área de Estudo --- Limite municipal 	<p>Precipitação média total anual (mm)</p> <ul style="list-style-type: none"> 2.571,7 - 2.600 2.600,1 - 2.650 2.650,1 - 2.700 2.700,1 - 2.750 2.750,1 - 2.800 2.800,1 - 2.850 	<ul style="list-style-type: none"> 2.850,1 - 2.900 2.900,1 - 2.950 2.950,1 - 3.000 3.000,1 - 3.050 3.050,1 - 3.100 3.100,1 - 3.150
---	--	--

Figura 90 – Mapa de isoietas ou linhas de igual precipitação (mm) na Região de Belém



ESTUDOS HIDROGEOLÓGICOS PARA A GESTÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DA REGIÃO DE BELÉM/PA

Fonte: Limites políticos: IBGE. Hidrografia: CPRM. Ilhas: adaptado de SEMAS/PA. Precipitação média anual: ANA/Profil

Sistema de Coordenadas:	UTM
Datum Horizontal:	SIRGAS 2000
Unidade:	Metros
Fiscalização:	ANA
Data:	Junho/2018
Arquivo:	Figura_90_Precipitacao_media_A3
Escala:	1:290.000

6.1.2 Temperatura

As temperaturas médias, máximas e mínimas na Região de Belém, representada por dados da estação de Belém, foram 24,6°C, 31,8°C e 22,9°C, respectivamente (Quadro 44) (EMBRAPA, 2002), apresentando pouca variabilidade térmica ao longo do ano. Na Figura 91 verifica-se que a distribuição mensal das temperaturas máximas e mínimas do ar e a ocorrência de pequena flutuação térmica durante o ano.

Quadro 44 – Temperatura histórica média e extrema na Região de Belém (1967 – 1996).

Mês	Temperatura do ar (°C)				
	Máxima	Mínima	Máx. Absoluta	Mín. Absoluta	Média
Janeiro	31,1	22,9	34,3	20,0	26,0
Fevereiro	30,7	23,0	34,7	20,2	25,8
Março	30,7	23,1	36,0	20,5	26,0
Abril	31,2	23,3	34,0	20,7	26,2
Maio	31,8	23,3	34,6	21,0	26,4
Junho	32,0	22,9	33,9	19,9	26,4
Julho	32,0	22,5	34,0	20,0	26,2
Agosto	32,4	22,6	35,2	20,5	26,5
Setembro	32,5	22,6	35,2	19,4	26,6
Outubro	32,6	22,7	35,0	20,0	26,8
Novembro	32,4	22,9	35,7	20,0	27,0
Dezembro	32,2	23,0	36,6	20,4	26,7
Ano	31,8	22,9	36,6	19,4	26,4

Fonte: EMBRAPA (2002).

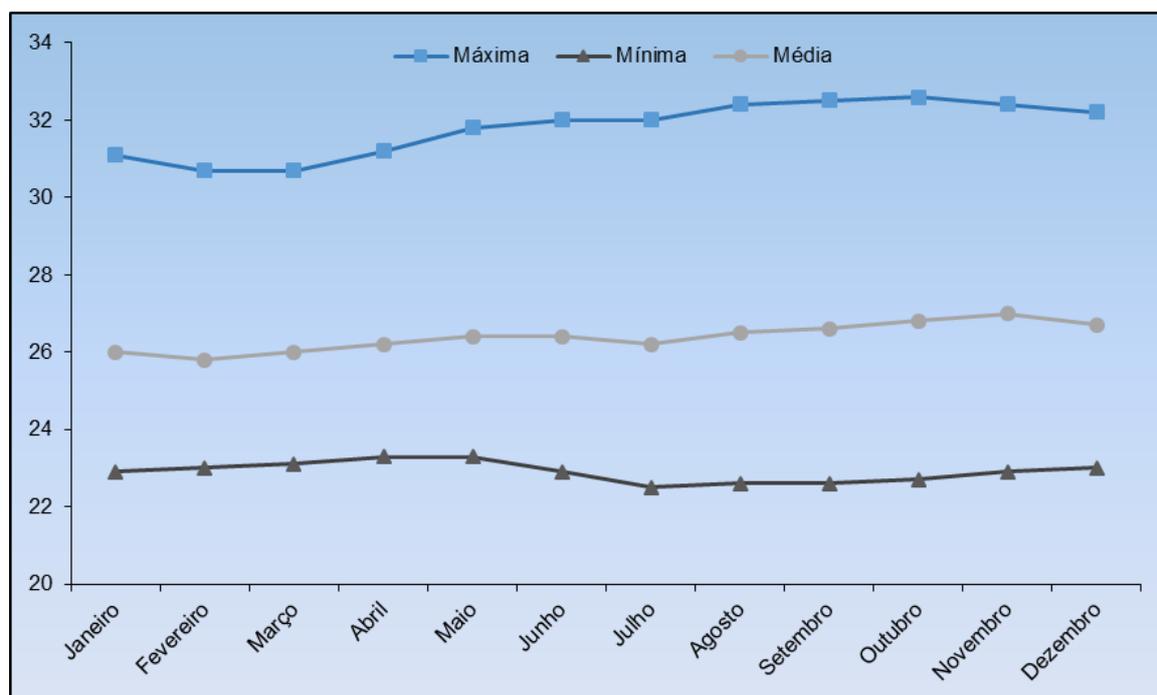


Figura 91 – Distribuição mensal das temperaturas máximas, mínimas e médias.

As temperaturas elevadas podem ser explicadas pela localização geográfica, nas proximidades da linha do equador e pela baixa altitude local. É observada, ainda, uma variação térmica pequena ao longo do ano, e que está intimamente ligada com o regime das chuvas na região, sendo que na época chuvosa é que ocorrem as menores temperaturas e o inverso acontece no período de estiagem.

6.1.3 Umidade Relativa do Ar e Índice Global de Radiação

Na Região de Belém, segundo a EMBRAPA (2002), a umidade relativa do ar (UR) apresentou uma média anual de 84% e observou-se uma estreita relação com a distribuição das chuvas e da temperatura no decorrer dos dias. Na Figura 92 observa-se a distribuição mensal da UR (INMET, 1961 – 1990), na estação meteorológica de Belém, relacionada com a ocorrência das chuvas (1973 – 2016), sendo que coincidem os valores máximos de precipitação com os valores máximos de UR.

O índice global de radiação solar é a quantidade de energia solar que chega a superfície terrestre. É a maior fonte de energia para o planeta, sendo fator determinante do tempo e do clima e, ainda, de diversos processos físicos, como o aquecimento e a evaporação, e também de processos biofísicos, como a transpiração das plantas e processos biológicos (EMBRAPA, 2011).

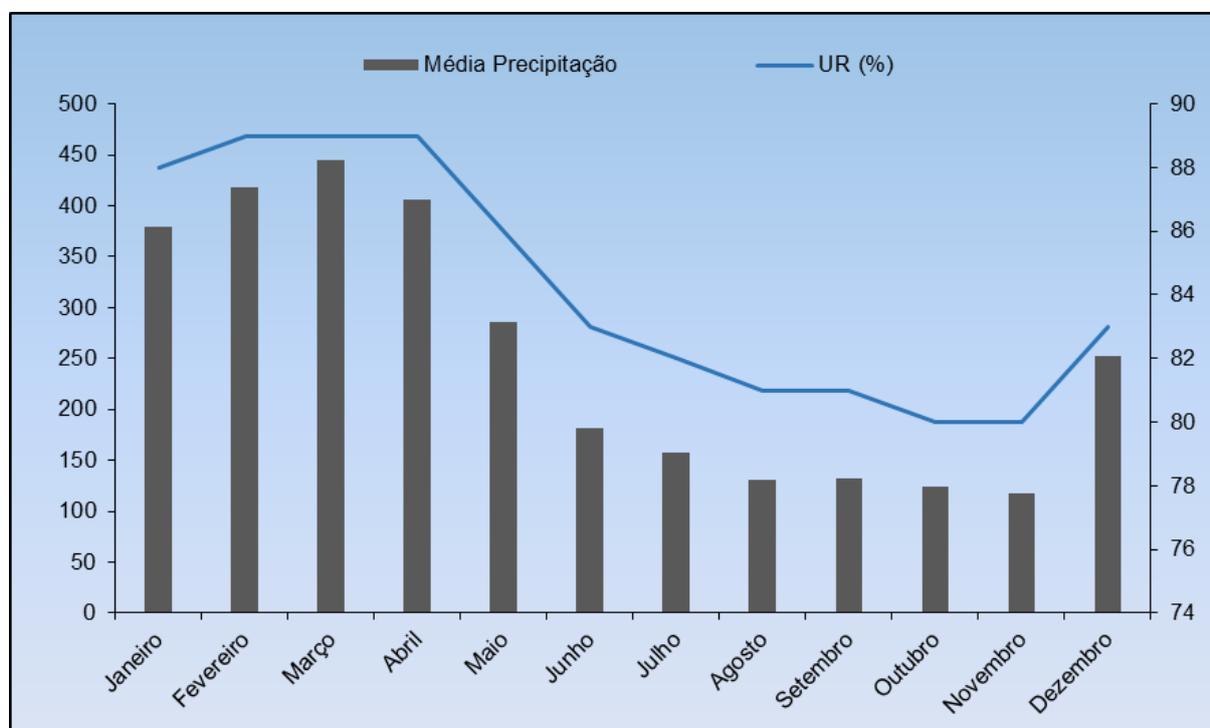


Figura 92 - Distribuição mensal da umidade relativa do ar.

Na Região de Belém, segundo EMBRAPA (2002), a condição de baixa latitude faz com que a altura do sol seja sempre elevada às 12 horas, com a menor altura acima de 60°, determinando, desta forma, um elevado potencial de radiação solar incidente nos meses de maior altitude solar. Porém, a considerável concentração de nuvens na época chuvosa reduz o potencial de brilho solar e, conseqüentemente, a radiação solar.

Na Figura 93 verifica-se a distribuição mensal da porcentagem de insolação ou razão de insolação (n/N ; onde n é a insolação ou brilho solar ocorrido e N é o máximo possível de horas brilho solar e a radiação solar global estimada em W/m^2), onde se pode verificar que os valores mais elevados de radiação solar global estiveram em torno de $500 W/m^2$, ocorrendo nos meses de junho, agosto e de outubro à dezembro, e a menor intensidade (valores abaixo de $460 W/m^2$ por dia) ocorrendo entre janeiro e abril (meses chuvosos), além de julho e setembro.

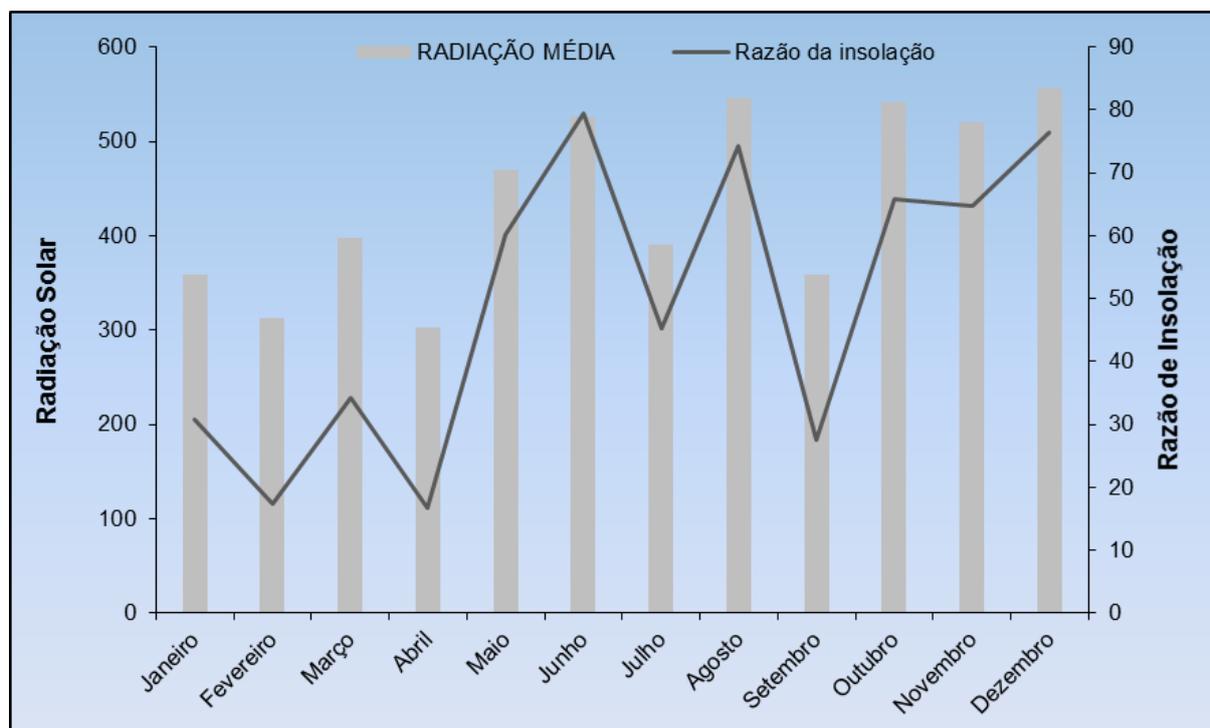


Figura 93 - Distribuição mensal da razão de insolação em porcentagem e da intensidade de radiação solar na Região de Belém.

A relação da altura solar, com a radiação global, brilho solar e foto período em Belém pode ser observada no Quadro 45.

Quadro 45 – Altura do sol, radiação solar, insolação e foto período na Região de Belém.

Mês	Altura do sol (graus)	Radiação Média	Insolação	Duração Foto período (horas)	Razão da Insolação
Janeiro	70	358,52	3,7	12,05	30,71
Fevereiro	78	312,89	2,1	12,02	17,47
Março	87	398,15	4,1	12	34,17
Abril	79	302,03	2	11,97	16,71
Mai	70	469,44	7,2	11,95	60,25
Junho	66	525,87	9,5	11,94	79,56
Julho	67	390,46	5,4	11,94	45,23
Agosto	75	546,62	8,9	11,97	74,35
Setembro	85	358,32	3,3	11,99	27,52
Outubro	82	542,55	7,9	12,02	65,72
Novembro	72	520,5	7,8	12,04	64,78
Dezembro	68	556,08	9,2	12,05	76,35

6.1.4 Evapotranspiração Real

A evapotranspiração real representa as saídas de água de um sistema através da transpiração das plantas e da evaporação do solo, sendo um dos parâmetros mais difíceis de medir em um balanço hídrico, devido à falta de dados. A estimativa de evapotranspiração real em ambientes naturais, abrangendo grandes áreas, é feita por métodos indiretos, estimando-se primeiramente a evapotranspiração potencial, à qual são aplicados coeficientes adequados para se obter o grau de evapotranspiração real (ETR).

Para este trabalho foi utilizada metodologia de Thornthwaite & Mather (1955), utilizando o *software* desenvolvido a partir de planilhas do Microsoft Excel® por Rolim & Sentelhas (1999), na qual se obtém os valores normais de evaporação real e da evapotranspiração potencial, além dos valores de excedente e deficiência hídrica. O resultado pode ser observado no Quadro 46.

Quadro 46 – Balanço hídrico climatológico, segundo Thornthwaite & Mather (1955).

Decêndios	N (dias)	T (°C)	P (mm)	N (horas)	ETP	P-ETP (mm)	NEG-AC	ARM (%)	ALT (mm)	ETR (mm)	DEF (mm)	EXC (mm)
Jan	31	26,0	309,7	12,1	143,95	165,8	0,0	100,00	75,25	143,9	0,0	90,5
Fev	28	25,8	337,3	12,0	123,06	214,2	0,0	100,00	0,00	123,1	0,0	214,2
Mar	31	26,0	423,9	12,0	134,38	289,5	0,0	100,00	0,00	134,4	0,0	289,5
Abr	30	26,2	372,1	12,0	126,45	245,6	0,0	100,00	0,00	126,5	0,0	245,6
Mai	31	26,4	293,4	12,0	127,31	166,1	0,0	100,00	0,00	127,3	0,0	166,1
Jun	30	26,4	191,6	11,9	118,32	73,3	0,0	100,00	0,00	118,3	0,0	73,3
Jul	31	26,2	157,9	11,9	118,10	39,8	0,0	100,00	0,00	118,1	0,0	39,8
Ago	31	26,5	112,4	12,0	127,00	-14,6	-14,6	86,43	-13,57	126,0	1,0	0,0
Set	30	26,6	83,9	12,0	131,38	-47,5	-62,1	53,76	-32,66	116,6	14,8	0,0
Out	31	26,8	93,1	12,0	147,54	-54,5	-116,5	31,18	-22,59	115,6	31,9	0,0
Nov	30	27,0	80,3	12,0	154,38	-74,1	-190,6	14,86	-16,31	96,6	57,8	0,0
Dez	31	26,7	168,0	12,1	158,07	9,9	-139,6	24,75	9,89	158,1	0,0	0,0
TOTAIS	-	316,6	2.623,5	144,0	1.609,94	1.013,5	-	911	0,00	1.504,5	105,5	1.119,0
MÉDIAS	-	26,4	218,6	12,0	134,16	84,5	-	75,9	-	125,4	8,8	93,2

T = Temperatura; P = Precipitação; N = número de horas de sol; ETP = Evapotranspiração Potencial de Thornthwaite & Mather (1955); ALT = Alteração do conteúdo de umidade; ETR = Evapotranspiração Real; DEF = Deficiência Hídrica; EXC = Excesso hídrico.

6.1.5 Evapotranspiração Potencial

A transferência de água de uma superfície qualquer para a atmosfera, por meio dos processos de evaporação e transpiração, denomina-se evapotranspiração, sendo a evaporação o processo de perda de água, diretamente, das superfícies para a atmosfera e a transpiração a perda de água dos organismos vivos para a atmosfera. A evapotranspiração potencial é a quantidade de água que seria utilizada por uma extensa superfície vegetada com grama, em crescimento ativo, cobrindo totalmente a superfície do solo (EMBRAPA, 2011). É uma variável tão importante quanto à chuva, pois enquanto uma representa a quantidade de água que entra no sistema solo-planta, a outra representa o quanto é perdido deste sistema para atmosfera e o resultado desta diferença é o balanço hídrico.

Na Região de Belém a evapotranspiração mostra pouca variação ao longo dos meses, (entre 118,10 e 158,07 mm), tal como acontece com as temperaturas mensais (Figura 94).

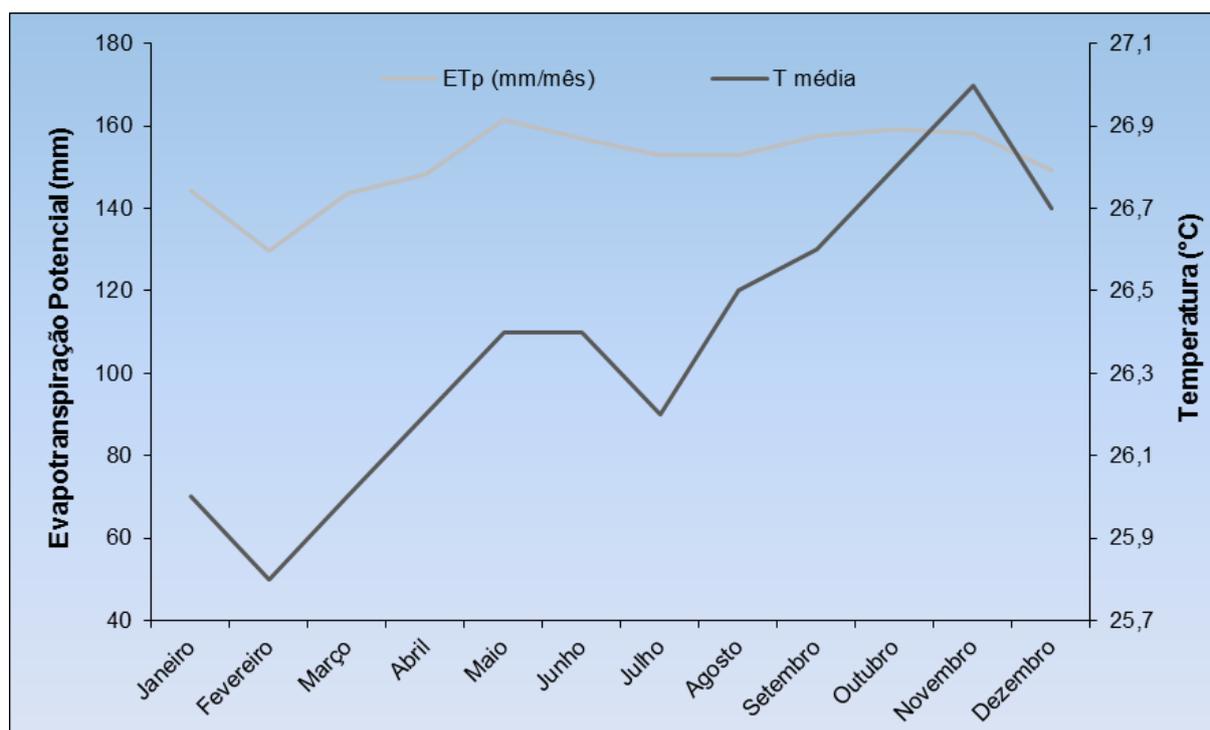


Figura 94 - Média histórica da evapotranspiração potencial em Belém.

6.1.6 Balanço Hídrico Climatológico

O balanço hídrico é a contabilização da água do solo, sendo que a variação de armazenamento de água no volume considerado, ao longo do tempo, representa o balanço do que entrou e do que saiu de água em relação ao volume de controle.

Existem duas maneiras de se conhecer o armazenamento de água no solo disponível em cada época do ano: a) medindo direta ou, indiretamente, a umidade do solo; b) estimando esse valor por meio de modelos que relacionam as propriedades físico-hídricas com os componentes de entrada e saída de água do solo. Esses modelos são conhecidos como balanços de água no solo ou simplesmente balanços hídricos.

Neste trabalho foi utilizado o modelo de Thornthwaite & Mather (1955) (Quadro 46) para a determinação do balanço hídrico climatológico, o qual é uma medida secundária, sem necessidade de medidas diretas. Neste modelo são aplicados os valores de precipitação total e a estimativa da evapotranspiração potencial de cada período, o que gera valores de evapotranspiração real, deficiência ou excedente hídrico, bem como o total de água retida no solo. Com os dados climáticos levantados neste estudo podemos verificar graficamente a ocorrência de excessos e déficits hídricos ao longo do ano na Região de Belém. Na Figura 95 se observam excessos hídricos nos meses iniciais do ano, enquanto que nos meses finais, nota-se *déficit* hídrico, onde os valores de retirada de água do solo ficam abaixo dos níveis de reposição (Figura 96). Na Figura 97 podemos observar o comportamento da evapotranspiração real, onde se destaca a evolução de seus valores conforme o regime de chuvas diminui, evidenciando o agravamento do déficit hídrico no período seco do ano.



Figura 95 - Extrato do balanço hídrico mensal.

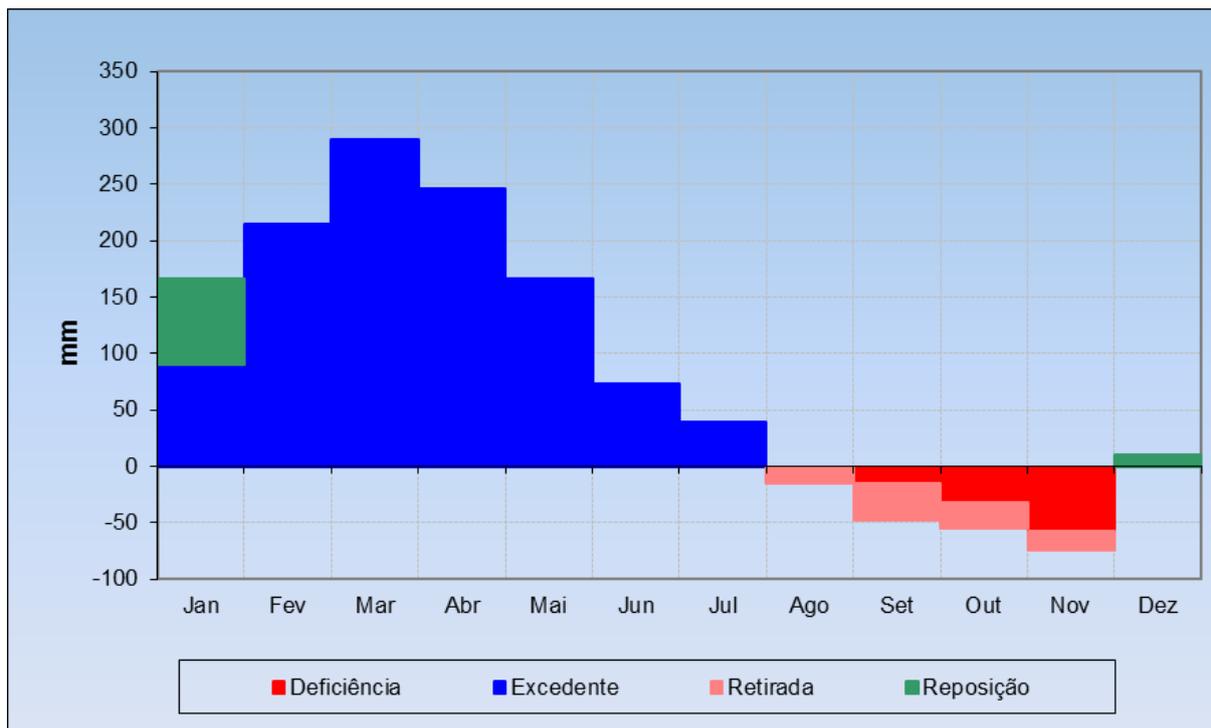


Figura 96 - Índices de deficiência, excedente, retirada e reposição hídrica ao longo do ano.

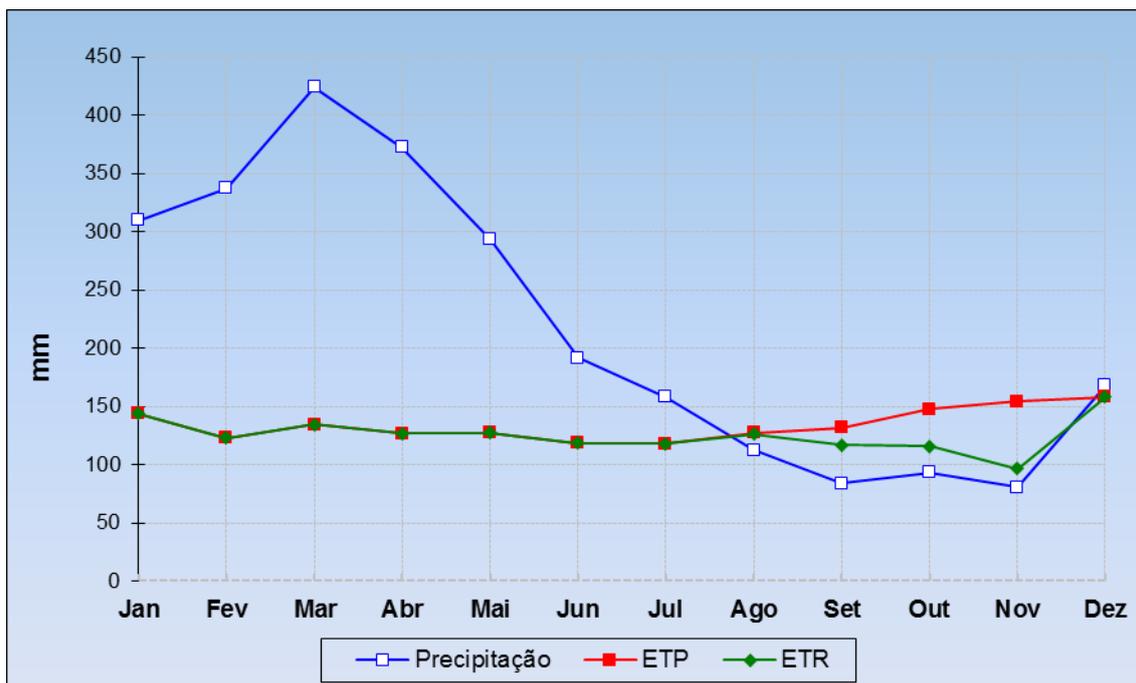


Figura 97 - Balanço hídrico normal mensal, com destaque à evapotranspiração potencial e real.

Segundo o mesmo padrão observado, os índices de excesso hídrico são evidentes nos meses de janeiro a julho, enquanto nos meses entre agosto e novembro destaca-se a falta de água no solo, com início da recuperação em dezembro. Em relação à

capacidade de armazenamento e armazenamento mensal, notamos que o solo fica com apenas 14% de água, em relação à sua capacidade total, no mês de novembro (Figura 98).

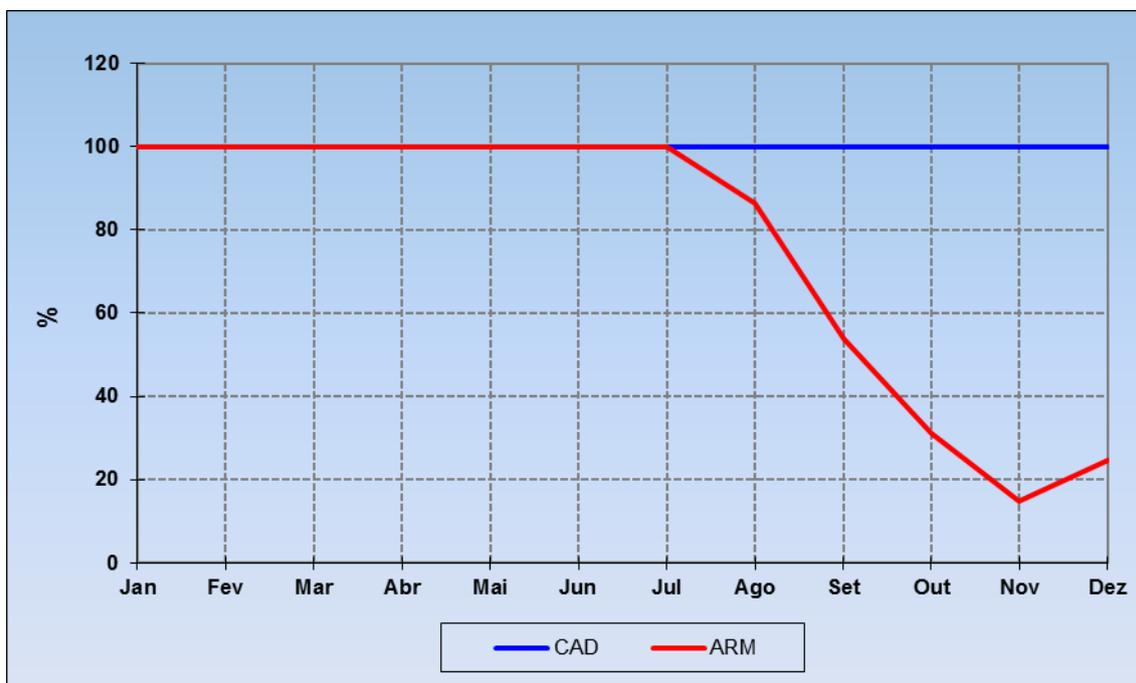


Figura 98 - Capacidade de armazenamento (CAD) e armazenamento mensal (ARM).

6.2 HIDROGRAFIA

A Região de Belém está localizada na Região Hidrográfica do Tocantins-Araguaia, correspondendo a parte da Unidade de Planejamento Hídrico 17 – Acará-Guamá, segundo o Plano Estratégico de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica dos Rios Tocantins e Araguaia – PERH-TA (ANA, 2009).

Os cursos d'água mais importantes para a região são os rios Maguari, Aurá, Guamá, Murubira e Pratiqara, diversos igarapés que deságuam nas drenagens principais e, também, as baías do Marajó, Guajará, Santo Antônio e Sol (MERCÊS, 1997 *apud* CATETE, 2010).

O rio Guamá margeia a cidade de Belém pelo flanco sul, margem direita, desaguando na Baía de Guajará e na margem esquerda predomina a rica parte insular da região, constituindo um conjunto de aproximadamente 39 ilhas.

A Baía de Guajará, por sua vez, é um sistema fluvial influenciado por maré, e esse conjunto fluvial têm águas turvas, devido à grande quantidade de material argiloso em suspensão. Segundo Gregório *et al.* (2006), a Baía de Guajará está situada a nordeste da Baía de Marajó. É um sistema fluvial que sofre a influência de mesomares semidiurnas.

Na parte sul da Baía, os depósitos lamosos resultam da quebra de energia de correntes e decréscimo da competência dos rios Guamá e Acará. Na zona norte da Baía, contudo, existem sedimentos arenosos devido a maior influência das correntes de maré oriundas da Baía de Marajó (GREGÓRIO, 2008).

Ainda segundo Gregório (2008), a margem esquerda do rio Guamá é marcada por processos erosivos e a margem direita apresenta extensas planícies de maré lamosa e considerável taxa de sedimentação. São constantes, segundo o autor, as dragagens para manter navegáveis os canais de acesso ao Porto de Belém e ao terminal Petroquímico Miramar. O rio Guamá é um importante manancial do ponto de vista do transporte aquaviário na região e do ponto de vista do abastecimento público. A COSANPA instalou em seu leito uma adutora que leva as suas águas para os reservatórios naturais dos lagos Água Preta e Bolonha (BAHIA, 2003).

De acordo com Oliveira & Frédou (2011), a Baía de Marajó localiza-se a sul da Ilha de Marajó e recebe toda a descarga do Rio Tocantins, além de alguns afluentes e parte da descarga do rio Amazonas, através do Estreito de Breves

A água doce invade a baía durante o período de maior vazão do Rio Tocantins (meses de fevereiro a abril). Seu limite sul se situa nas proximidades de Belém onde o rio Guamá se encontra com o rio Pará. Além do valor comercial como rota de comércio marítimo e logística portuária, a Baía de Marajó possui grande relevância para o desenvolvimento da atividade pesqueira.

Por ser uma região de pequenas dimensões, próxima à costa e bastante plana, é caracterizada por diversos cursos d'água que nascem e desaguam rapidamente na baía ou no rio Guamá, não chegando a constituir bacias hidrográficas de maiores dimensões. Por esse motivo, esses cursos d'água são caracterizados por possuírem pequenas vazões. Além disso, também devido às características planas da região, o nível d'água das marés e do regime hidrológico do Rio Tocantins influenciam muito a hidrologia da região, que acaba sendo definida mais pelas variações de nível da baía do que efetivamente pela precipitação ou regimes hídricos dos rios.

Na região de estudo estão localizadas 19 pequenas bacias hidrográficas (Figura 99). A área total das bacias hidrográficas é de 1.695,15 km², não sendo equivalente à área da região de estudo, visto que a delimitação das bacias hidrográficas é realizada em função da topografia do terreno e não em função do limite político dos municípios.

Na Região de Belém existem 11 estações de monitoramento fluviométrico. No entanto, nenhuma delas possui uma série longa de dados de medição de cota e vazão disponíveis. Das 11 estações presentes, três possuem dados históricos de medição de cota, e dessas três, uma possui também dados de medição de vazão. Os dados históricos estão disponíveis para um período curto de tempo, no entanto, de apenas sete anos, conforme apresentado no Quadro 47, A estação 31850000 também possui medições de vazão, para o mesmo período das cotas.

Quadro 47 - Disponibilidade temporal das medições de cota das estações fluviométricas da Região de Belém

Estação	1964	1965	1966	1967	1968	1969	1970	1971	1972
31800000									
31810000									
31850000									
	0% de dados disponíveis								
	entre 0 e 100% dos dados disponíveis								
	100% dos dados disponíveis								

O Quadro 48 apresentada a lista das 11 estações presentes na Região de Belém, cujas localizações estão apresentadas no mapa da Figura 100 que, por sua vez, diferencia as estações com e sem dados.

Quadro 48 – Estações fluviométricas da Região de Belém e entornos (ANA-Hidroweb).

Código	Nome	Sub-bacia	Rio	Município	Responsável	Operadora	Latitude	Longitude	Área de Drenagem (km ²)
31641000	INHANGAPI	RIOS MERUU, ACARÁ, GUAMÁ, OUTROS (31)	RIO CAFITEUA	INHANGAPI	SEMAS-PA	SEMAS-PA	-1:31:40	-48:3:40	-
31642000	SANTA IZABEL DO PARÁ	RIOS MERUU, ACARÁ, GUAMÁ, OUTROS (31)	RIO GUAMA	SANTA IZABEL DO PARÁ	SEMAS-PA	SEMAS-PA	-1:29:46	-48:11:26	-
31645000	CAPTAÇÃO D'ÁGUA DA COSANPA	RIOS MERUU, ACARÁ, GUAMÁ, OUTROS (31)	RIO GUAMA	BELÉM	ANA	CPRM	-1:27:18	-48:24:6	49.400
31645001	BELÉM 1	RIOS MERUU, ACARÁ, GUAMÁ, OUTROS (31)	RIO GUAMA	BELÉM	SEMAS-PA	SEMAS-PA	-1:27:18	-48:24:5	-
31646000	BELÉM 2	RIOS MERUU, ACARÁ, GUAMÁ, OUTROS (31)	FURO DO MAGUARI	BELÉM	SEMAS-PA	SEMAS-PA	-1:16:46	-48:26:33	-
31647000	BELÉM 3	RIOS MERUU, ACARÁ, GUAMÁ, OUTROS (31)	FURO DAS MARINHAS	BELÉM	SEMAS-PA	SEMAS-PA	-1:15:33	-48:25:46	-
31775000	BARCARENA 2	RIOS MERUU, ACARÁ, GUAMÁ, OUTROS (31)	RIO ACARA	BARCARENA	SEMAS-PA	SEMAS-PA	-1:33:30	-48:30:19	-
31800000	BOA VISTA	RIOS MERUU, ACARÁ, GUAMÁ, OUTROS (31)	RIO APEU	CASTANHAL	ANA	ANA	-1:21:1	-47:58:56	122
31810000	MACAPAZINHO	RIOS MERUU, ACARÁ, GUAMÁ, OUTROS (31)	RIO APEU	CASTANHAL	ANA	ANA	-1:23:14	-47:59:10	219
31850000	PORTO DE MINAS	RIOS MERUU, ACARÁ, GUAMÁ, OUTROS (31)	RIO CARAPUCU	SANTA IZABEL DO PARÁ	ANA	ANA	-1:21:11	-48:9:12	65,3
32100000	BENEVIDES	RIOS GURUPI, TURIAÇU E OUTROS (32)	RIO BENFICA	BENEVIDES	SEMAS-PA	SEMAS-PA	-1:18:44	-48:18:22	-

Os gráficos contendo as medições das cotas realizadas nas estações 31800000, 31810000 e 31850000 e de vazão realizada na estação 31850000 estão apresentados na Figura 101.

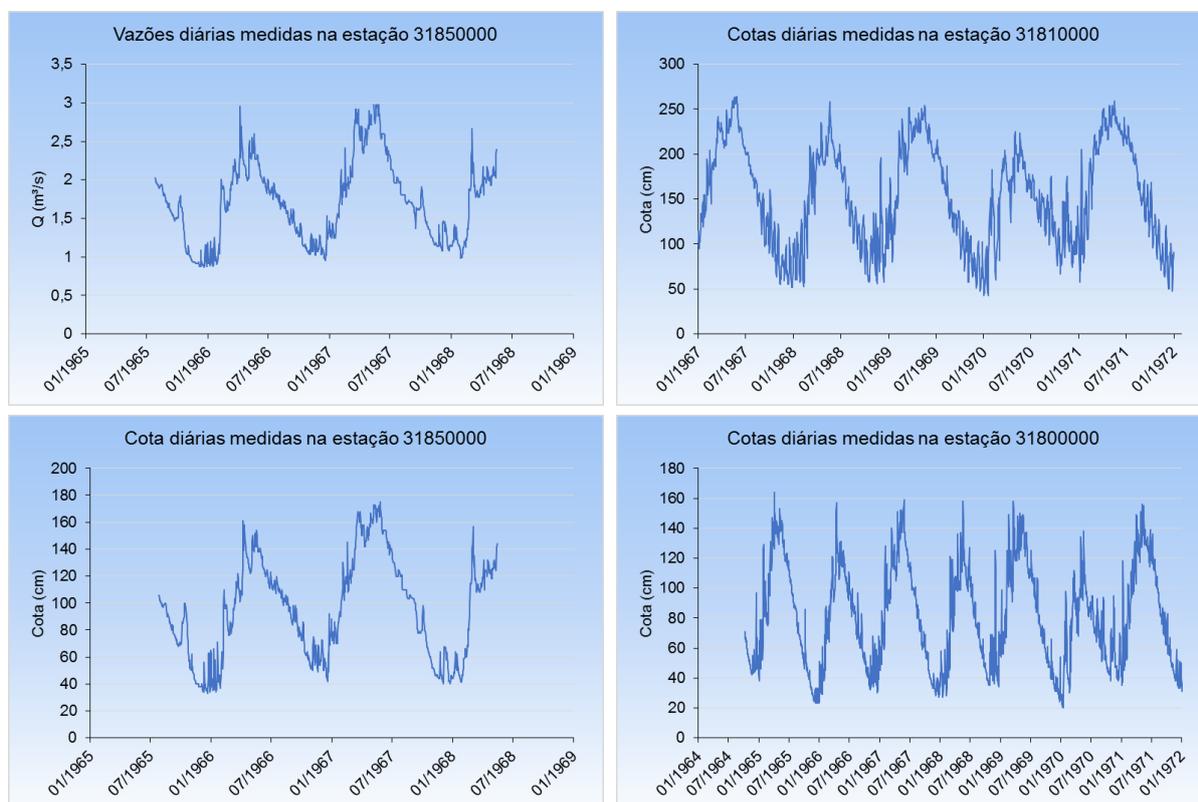


Figura 101 – Monitoramento fluviométrico.

Devido à carência de dados de monitoramento fluviométrico, o cálculo das vazões médias e vazões com 95% de permanência do tempo foram realizadas utilizando as vazões específicas definidas no PERH-TA (ANA, 2009), que correspondem a 17,28 L/s.km² e 5,59 L/s.km², respectivamente. No Quadro 49 estão apresentadas as vazões calculadas a partir dessas vazões específicas para as 19 bacias hidrográficas da Região de Belém.

As vazões totais apresentadas na última linha são apenas indicativas da disponibilidade hídrica total da região, visto que as bacias são isoladas, contribuindo diretamente para rios de fora da Região de Belém, ou para a baía. Não há um ponto de acúmulo das bacias hidrográficas onde, efetivamente, se observe as vazões totais médias de 29,29 m³/s ou com 95% de permanência, de 9,47 m³/s.

Quadro 49 – Vazões médias e com 95% de permanência no tempo.

Bacia Hidrográfica	Área (km ²)	Q ₉₅ (m ³ /s)	Q _{méd} (m ³ /s)
Bacia do Igarapé Aurá	20,10	0,11	0,35
Bacia do Rio Maracaquera	68,05	0,38	1,18
Bacia do Rio Caraparu	426,39	2,38	7,37
Bacia sem identificação	67,41	0,38	1,16
Bacia do Rio Tauá	407,42	2,28	7,04
Bacia do Rio Paricatuba	126,59	0,71	2,19
Bacia do Rio Arací	91,36	0,51	1,58
Bacia do Rio Taiacuí	78,60	0,44	1,36
Bacia do Rio Benfica	149,49	0,84	2,58
Bacia sem identificação	24,86	0,14	0,43
Bacia do Igarapé Pau Grande	64,29	0,36	1,11
Bacia do Igarapé Uriboquinha	7,78	0,04	0,13
Bacia do Igarapé Bolonha - Água Preta	35,93	0,20	0,62
Bacia do Rio Maguarí	25,18	0,14	0,44
Bacia do Rio Mata - Fome	18,12	0,10	0,31
Bacia do Igarapé de Valdecães	22,20	0,12	0,38
Bacia do Igarapé Una - São Francisco	33,46	0,19	0,58
Bacia do Igarapé Tucunduba	12,92	0,07	0,22
Bacia do Igarapé Urbanos	15,02	0,08	0,26
Total	1.695,15	9,47	29,29

O maior ponto com acúmulo de vazões se dá na foz da Bacia do Rio Caraparu, em Santa Izabel do Pará, maior bacia definida na Região de Belém, com 426,39 km². A Q₉₅ nessa bacia é de 2,39 m³/s e a vazão média de 7,37 m³/s.

Apesar das vazões dos rios dentro da Região de Belém serem de pequenas dimensões, o limite sul da área é delimitado pelo Rio Guamá, de grandes dimensões. A estação 31645000 (captação d'água da COSANPA) informa uma área de drenagem de 49.400 km² a montante dela. Utilizando as vazões específicas da UHP-17, foram obtidas vazões médias Q_{med} = 853,63 m³/s e Q₉₅ = 276,15 m³/s.

6.3 GEOMORFOLOGIA

Os terrenos sedimentares recentes de ocorrência na Região de Belém apresentam, em geral, geometrias tabulares, que configuram superfícies planas, no que diz respeito à representação de relevo. As paisagens resultantes apresentam-se monótonas no que diz respeito ao desenho produzido por modelados de dissecação. Contudo, chama-se especial atenção ao recorte peculiar da hidrografia da região, favorecido pelo baixo gradiente topográfico experimentado por essas geometrias planas, e que serão abordados juntamente com as outras características geomorfológicas.

Os estudos geológico-geomorfológicos desenvolvidos por CODEM (1975), indicam que na região de Belém ocorrem as seguintes unidades: terrenos sedimentares do Quaternário-Pleistoceno; terrenos Quaternários Holocenos; zonas rebaixadas e terraços fluviais inundáveis e planícies flúviomarinhas:

- **Terrenos sedimentares do Quaternário-Pleistoceno**: unidade de maior expressão no Município de Belém e correspondem a pediplanos aplainados. São feições que se sustentam por níveis concrecionários que podem corresponder à base dos sedimentos Pós-Barreiras.
- **Terrenos Quaternários Holocenos**: correspondem às áreas de baixadas e estão bem representados nos bairros Jurunas, Guamá e Batista Campos.
- **Zonas rebaixadas e terraços fluviais inundáveis**: correspondem aos depósitos que se sobrepõem aos terrenos quaternários mais antigos. Está relacionada às menores cotas topográficas e geralmente coberta por material argiloso.
- **Planícies flúviomarinhas**: estão relacionadas às áreas de manguezais, praias, rios e igarapés onde se depositam sedimentos arenoargilosos.

De acordo com Cortez *et al.* (2000), as principais unidades morfoestruturais resultante dos processos geomorfológicos das paisagens encontradas na região metropolitana de Belém são constituídas pelo Planalto Rebaixado da Amazônia e pela Planície Amazônica. O Planalto Rebaixado da Amazônia apresenta um relevo com extensas superfícies planas, suavemente onduladas e dissecadas, tendo se desenvolvido em rochas do Grupo Barreiras e do Pós-Barreiras. Os sistemas de colinas, no Planalto Rebaixado da Amazônia, funcionam como interflúvios, destacando-se como principal o divisor entre as drenagens da bacia do Rio Guamá e das bacias dos Furos Maguari e das Marinhas. A Planície Amazônica situa-se acompanhando as margens do rio Guamá, do Furo Maguari, do Furo das

Marinhas e dos baixos cursos de seus afluentes. É caracterizada por uma área plana, formada por depósitos aluviais Quaternários, com áreas alagadas e inundáveis periodicamente pelas chuvas e pelas marés.

De acordo com João *et al.* (2013), essas vastas terras baixas encontram-se usualmente acima das cotas das cheias fluviais. Em termos descritivos, segundo os mesmos autores, encontram-se na área estudada duas unidades geomorfológicas: Ilha de Marajó e Golfão Marajoara, e Tabuleiros da Zona Bragantina.

A unidade Geomorfológica Ilha de Marajó e Golfão Marajoara ocorre de maneira subordinada na porção oeste da Ilha do Mosqueiro, englobando também outras porções da região insular da Baía do Guajará. IBGE (1995) a subdivide em duas unidades geomorfológicas: Planícies Flúviomarinhas e Tabuleiros do Baixo Rio Amazonas. A Ilha de Marajó se destaca do continente por uma complexa rede interligada de canais (furos e paranás), como o Furo de Breves no Rio Pará, que conecta o ambiente deltaicoestuarino da foz do Rio Amazonas e a Baía de Guajará na desembocadura do Rio Tocantins.

Essa unidade consiste, portanto, de vastas planícies flúvio-lacustres e flúvio-marinhas constituídas por sedimentos inconsolidados de idade holocênica. Abrange a área estudada em suas porções insulares e nas terras banhadas pela Baía de Guajará. Tratam-se de terrenos argilosos e ricos em matéria orgânica, com predomínio de Gleissolos e Neossolos Fúlvicos eutróficos ou distróficos e Plintossolos Háplicos distróficos. Subordinadamente, ocorrem Latossolos Amarelos distróficos, Neossolos Quartzarênicos, Gleissolos Sálícos e Solos de Manguê (EMBRAPA, 2001).

Já os Tabuleiros da Zona Bragantina é uma unidade que ocupa a maior porção da área estudada. De acordo com João *et al.* (2013), limita-se, a sul e sudeste, pela Superfície do Rio Gurupi, pelos Baixos Platôs da Bacia do Parnaíba e pela Depressão do Baixo Tocantins-Araguaia. A leste, os tabuleiros estendem-se para o Estado do Maranhão, enquanto a oeste, o seu limite dá-se pelas planícies fluviais que margeiam o Rio Tocantins e a Baía de Guajará. Por fim, a norte, a unidade está limitada com a planície costeira paraense, por vezes de forma abrupta, através de falésias e paleofalésias (Figura 102). Esse domínio é exclusivamente representado por extensos tabuleiros de baixa amplitude de relevo (invariavelmente inferiores a 30 m). Nas áreas mais próximas ao litoral esses tabuleiros estão embasados em rochas sedimentares pouco litificadas, de idade Terciária ou Tércio-quaternária do Grupo Barreiras e dos denominados Sedimentos Pós-Barreiras, frequentemente recobertas por coberturas detritolateríticas.



Figura 102 – Falésias observadas em porções costeiras da Região de Belém.

Sobre esses terrenos desenvolve-se, originalmente, a Floresta Ombrófila Densa de Terras Baixas (IBGE, 2004). João *et al.* (2013) identifica que a região de Belém é composta por sedimentos pouco consolidados e, portanto, com alta friabilidade, sendo vulneráveis à formação de depressões e ravinamentos, com taludes instáveis. Os solos, extremamente argilosos, compactados e impermeabilizados, apresentam tendência à erosão laminar. O terreno tem uma geometria que permite o registro de superfícies extremamente horizontalizadas, numa tendência geral a, moderadamente, fraturadas. Onde há encostas o relevo encontra seus principais acidentes. Ainda, os horizontes calcários, geralmente sotopostos às unidades geológicas aflorantes, podem ser espessos, e, por apresentar suscetibilidade a processos de dissolução química, podem gerar dolinas e sumidouros de drenagem, que se manifestam na forma de colapsos do terreno e subsidências.

Outra característica importante do relevo, e que foi observada durante a fase de campo deste trabalho é a ocorrência local de horizontes lateríticos atuando como agentes de sustentação do relevo.

6.4 SOLOS

Para a caracterização e classificação taxonômica dos solos da cidade de Belém foram consideradas as características diferenciais para a distinção da classe do solo e de unidades de mapeamento, seguindo a classificação do mapa de solos do Brasil (EMBRAPA, 2011) e as recomendações de EMBRAPA (2013). A Figura 103 ilustra os tipos de solo

existentes na área estudada. Nessa região ocorrem solos bem drenados e de baixa fertilidade natural, espessos e lixiviados (Mata de Terra Firme), predominando Latossolos Amarelos distróficos. Subordinadamente se observam Plintossolos Háplicos distróficos, Plintossolos Pétricos, Argissolos Vermelho-Amarelos e Neossolos Quartzarênicos. Nos amplos fundos de vales dos rios principais, predominam, nos baixos cursos, Gleissolos Háplicos distróficos e eutróficos e, nos médios cursos, Neossolos Flúvicos eutróficos (EMBRAPA, 2001).

A região de Belém em seu interior, bem como quase toda a região de entorno, é composta por solos classificados como Latossolo Distrófico com características de Plintossolo Pétrico Concrecionário. Já, na parte litorânea da cidade, bem como toda a região metropolitana, predominam solos classificados como Gleissolo Háplico (EMBRAPA, 2011).

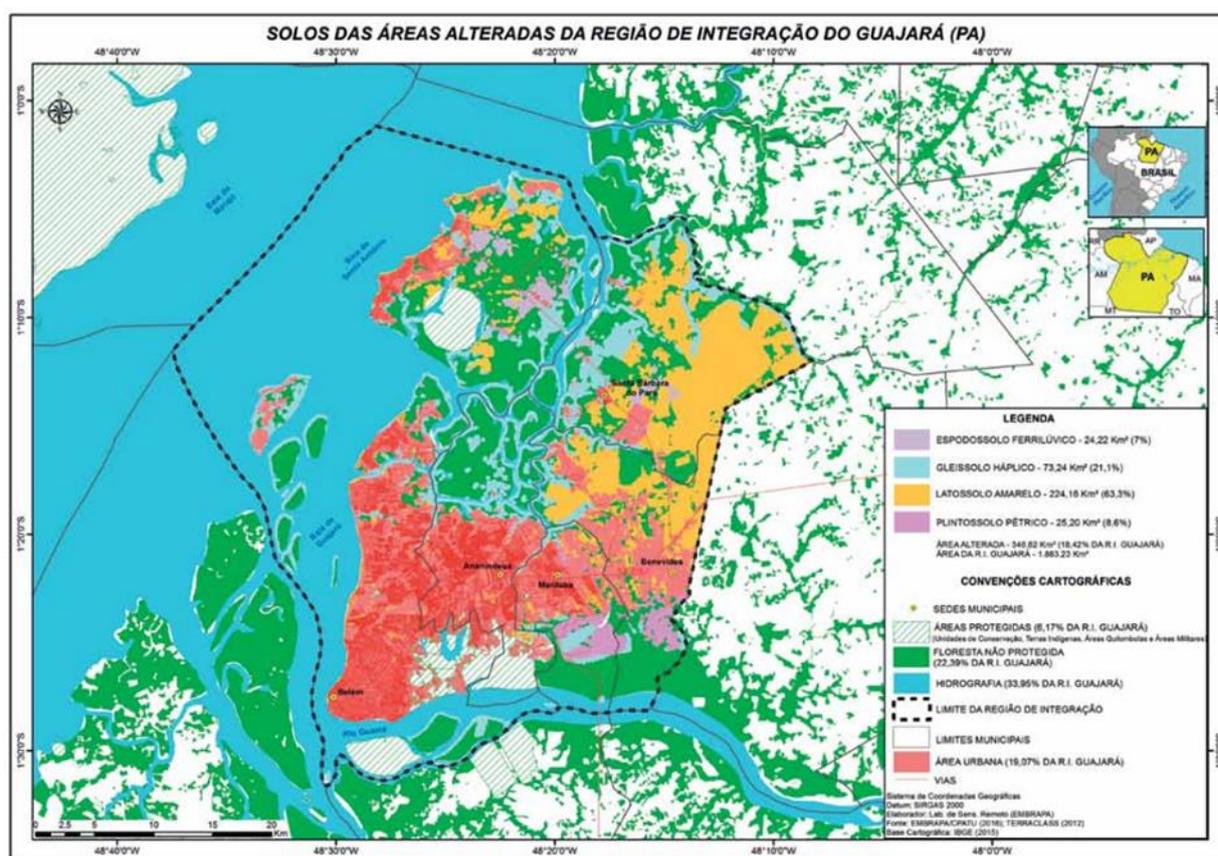


Figura 103 – Tipos de solos que ocorrem na área estudada.

Segundo EMBRAPA (2013), o Latossolo é o tipo de solo predominante no Brasil, caracteristicamente bem drenados, profundos, porosos e com boa permeabilidade. São, geralmente, acidificados e de baixa fertilidade natural. No caso da região de Belém, onde há a presença de Latossolo Amarelo, destacam-se características de solos amadurecidos, com pH variando de ácido a muito ácido. Os teores de argila apresentam ampla variação, o

que lhe confere uma textura classificada entre média e muito pesada. Ainda, é um tipo de solo favorável à mecanização agrícola, sendo, contudo, passível de compactação. O enraizamento em profundidade é limitado, em resposta à sua classificação como distrófico e também pela ocorrência de elevada coesão de partículas, tornando-o muito duro. Essas características, portanto, indicam a presença, ainda, de Plintossolo Concrecionário nos solos estudados (Figura 104).

Na região litorânea, onde predomina o Gleissolo Háplico, o solo carrega uma característica de autofertilização, provocado pelo processo de gleização. No relevo plano e sob alagamento, desencadeia-se uma série de reações de oxirredução, através das quais o pH do solo atinge 5.5. Neste cenário, o alumínio precipita, sai da solução, liberando oxidrilas, com a consequente elevação do pH do solo. A textura é argilosa e a estrutura, com o solo seco/úmido é forte e com consistência dura e firme, enquanto que a consistência com o solo molhado se mostra plástica e pegajosa (EMBRAPA, 2006).



Figura 104 - Crosta laterítica que aflora no Município de Benevides.

Esse tipo de solo possui grau de limitação por deficiência de fertilidade forte, explicada pelo nível de saturação de bases muito baixo. O grau de limitação por deficiência de água é nulo, já que o excesso de água é condição necessária na formação deste solo, e a sua presença está associada a locais com presença de lençol freático próximo à superfície. Tem forte grau de limitação por excesso de água, já que é solo mal drenado, hidromórfico, e nulo grau de limitação por susceptibilidade à erosão (CAPECHE, 2008).

6.5 GEOLOGIA

6.5.1 SÍNTESE DO ARCABOUÇO GEOLÓGICO

Os depósitos cenozoicos do Pará são reunidos nas formações Pirabas (Neoligoceno/Eomioceno), Barreiras (Meso a Neomioceno) e coberturas sedimentares inconsolidadas designadas Pós-Barreiras, acumuladas no Pliopleistoceno. Esses depósitos ocorrem em diferentes contextos estruturais, como na sub-bacia de Cameté, na porção leste do Sistema de Grabens do Marajó, e plataformas Bragantina e do Pará (ROSSETTI, 2006a). O arcabouço estrutural da Bacia do Marajó e região (Figura 105) foi esboçado por Costa *et al.* (2002) a partir de evidências apoiadas por métodos gravimétricos, magnéticos e sísmicos, e revelou a presença de bacias rifte subjacentes a espessa sucessão terciária.

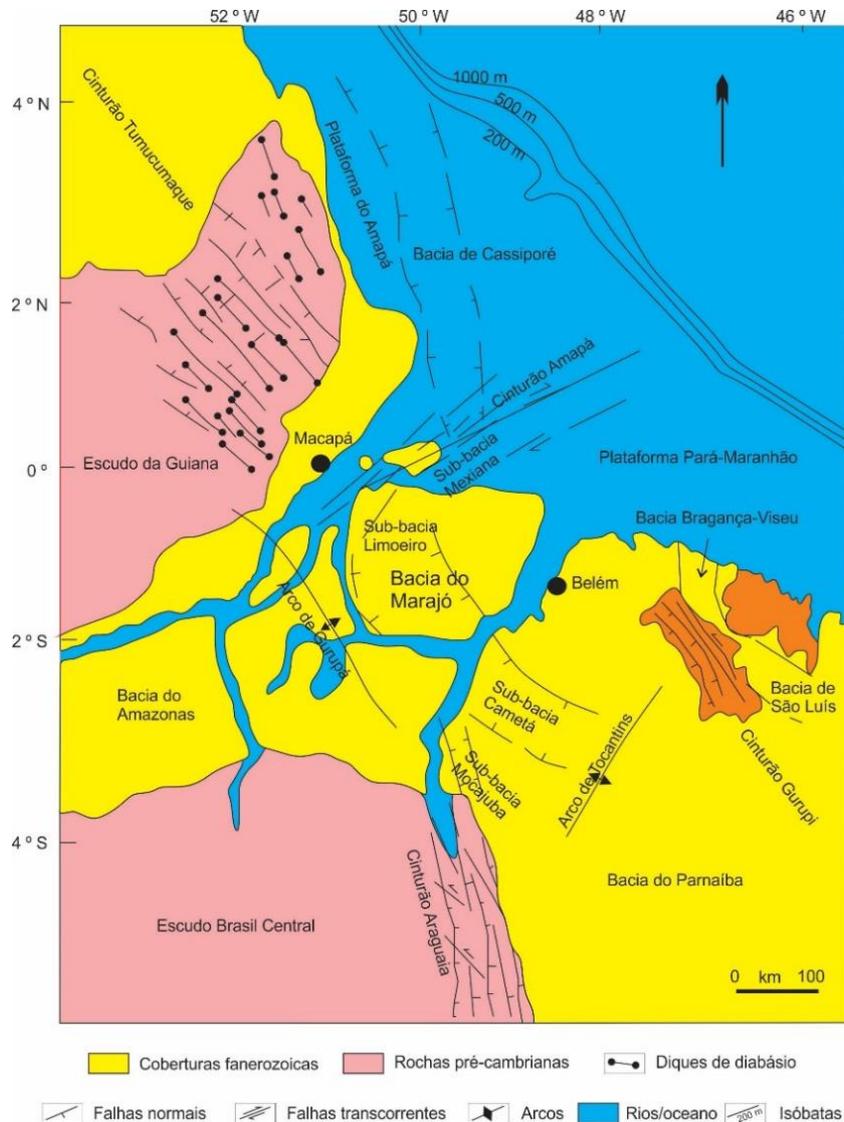


Figura 105 – Arcabouço tectônico da porção norte do Brasil (COSTA *et al.* 2002).

Considerando o arcabouço proposto por Costa *et al.* (2002), esquematizado na Figura 106 a sucessão sedimentar sobrejacente às rochas do embasamento, presente na porção da Plataforma ou Zona Bragantina na Região de Belém (PA), deve ser composta pelas formações Itapecuru (porção inferior), Pirabas (porção média) e Barreiras (porção superior). Coberturas quaternárias delgadas derivadas da alteração da Formação Barreiras, designadas de unidade Pós-Barreiras, e sedimentos aluvionares completam o quadro litoestratigráfico.

IDADE	UNIDADE LITOSTRATIGRÁFICA	ESTRATIGRAFIA			
		BAÇIA DE SÃO LUÍS-GRAJAÚ	ZONA BRAGANTINA		
		MODIFICADO DE ROSSETTI (2000)	ROSSETTI (2001)	ROSSETTI & GÓES (2001)	ESTE TRABALHO
PLIOCENO/ QUATERNÁRIO	(paleossolo laterítico)	Sem estudo	C	Unid. 4 SB4	Unid. 3 Unid. 2 Unid. 1
	(paleossolo laterítico)	SB3	SB3	SB3	
MIOCENO	MÉDIO	Fm Barreiras (média/superior)	Unid. 3	B	Unid. 2 B
	INFERIOR	Fm Barreiras (inferior)	SB2 Unid. 2 RS	SB2 A	SB2 Unid. 1 A
OLIGOCENO SUPERIOR	Fm Pirabas	Unid. 1		Sem dado	
	(paleossolo laterítico/bauxítico)	Sb1	SB1		
CRETÁCEO	Grupo Itapecuru				

Figura 106 – Coluna estratigráfica da Zona Bragantina em diversas regiões da costa norte do Brasil (modificado de ROSSETTI *et al.*, 2013).

Dessas unidades apenas a formação Barreiras e o Pós Barreiras afloram de forma escassa na região, não sendo conhecido assim as relações de contato entre Barreiras e Pirabas, tampouco entre o Pirabas e o Itapecuru.

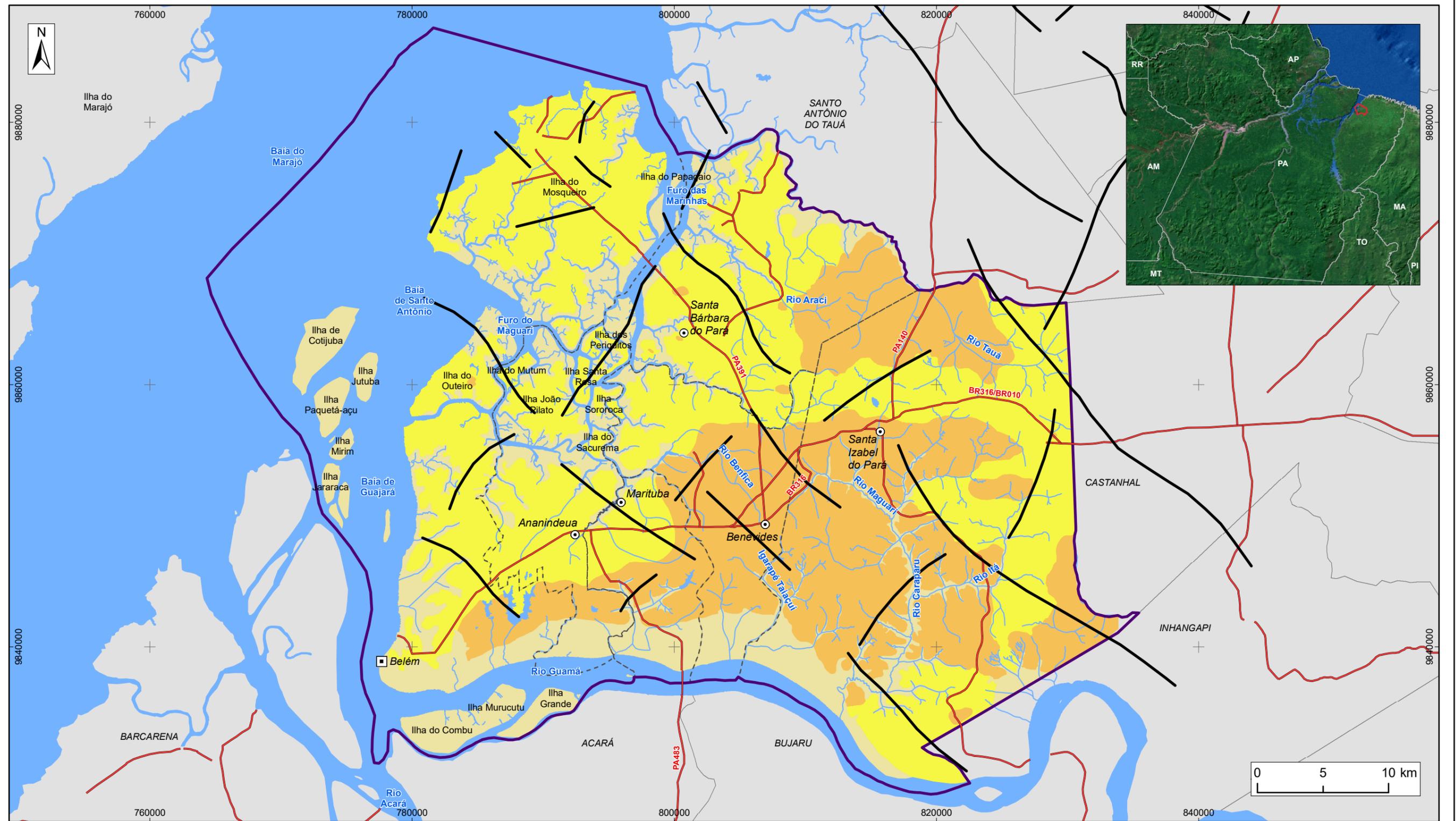
A Formação Itapecuru é definida como um conjunto de litologias arenosas, de coloração cinza esverdeado a vermelho, intercaladas por folhelhos cinzaesverdeados (CAMPBELL, 1949). É provável que esta unidade se assente diretamente sobre rochas do embasamento neoproterozoico. Todavia, sua ocorrência e espessuras ainda são

controversas na Plataforma Bragantina, devido à escassez de informações, não havendo consenso entre os pesquisadores.

A Formação Pirabas compreende uma sucessão carbonática contendo intercalações secundárias de folhelhos negros a esverdeados e arenitos amarelados (PETRI, 1957; FERREIRA, 1966). Segundo Góes (1990), subdivisões litofaciológicas propostas para a Formação Pirabas não apresentam posicionamento estratigráfico único, nem são restritas geograficamente, considerações que apontam para processo de recorrência de fácies na sedimentação da unidade.

A Formação Barreiras compreende a unidade litoestratigráfica superposta à Formação Pirabas, caracterizada por depósitos siliciclásticos de cores variegadas (SÁ, 1969). Distribui-se nas porções sudoeste, sudeste e norte da Região de Belém e mostra-se associada a crostas lateríticas ferruginosas (Figura 107).

Apesar da ampla distribuição geográfica, o detalhamento dos depósitos da Formação Barreiras é, ainda, inadequado à formulação de modelos paleoambientais e, principalmente, à sua correlação em escala continental (ROSSETTI, 2006a).



LEGENDA

- ▣ Capital Estadual
- ⊙ Sede Municipal
- ~ Hidrografia
- Rodovia
- Estrutura geológica
- ☪ Massa d'água
- ⊕ Área de Estudo
- - - Limite municipal
- Unidades Geológicas**
- Qafm - Depósitos Argilosos Flúvio-marinhos
- N34pb - Sedimentos Pós-Barreiras, Depósitos Aluviais, Eólicos e Lateríticos
- N12b - Barreiras, Sedimentos Argilosos, Arenosos e Conglomeráticos

Figura 107 – Mapa geológico da Região de Belém



ESTUDOS HIDROGEOLÓGICOS PARA A GESTÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DA REGIÃO DE BELÉM/PA

Fonte: Rodovias: SEMAS/PA
 Limites políticos: IBGE
 Hidrografia/Geologia: CPRM, 2010

Sistema de Coordenadas:	UTM
Datum Horizontal:	SIRGAS 2000
Unidade:	Metros
Fiscalização:	ANA
Data:	Junho/2018
Arquivo:	Figura_107_Mapa_Geologico_A3
Escala:	1:290.000

Os sedimentos Pós-Barreiras correspondem a depósitos de latossolos amarelados e arenosos, finos a médios, em geral maciços, sobrepostos à Formação Barreiras (ROSSETTI *et al.* 2013). Afloram nas porções nordeste, centro e noroeste da área e incluem depósitos pleistocênicos de paleocanais fluviais, eólicos e praias; e depósitos holocênicos representados por aluviões, colúvios e elúvios.

A deposição da sucessão cretácea-terciária na Bacia do Marajó foi controlada, segundo Costa *et al.* (1993) por tectônica e variações climáticas. Segundo os autores, falhas normais NW-SE, inclinadas para NE, e falhas transcorrentes NE-SW, funcionaram como zonas de transferência associadas ao último episódio de manifestação extensional na margem equatorial brasileira, propiciaram o condicionamento estrutural. Variações eustáticas, provocadas por mudanças climáticas, geraram flutuações do nível relativo do mar e afetaram o padrão de sedimentação (ROSSETTI, 2001).

6.5.2 ASPECTOS ESTRUTURAIS

Neste item são abordados os aspectos estruturais relacionados com as informações obtidas a partir da elaboração das seções geológicas e geofísicas, com a interpretação de mapas estruturais e mapas com profundidade da base da Formação Barreiras, base do Pirabas Superior e topo do embasamento cristalino, definidos a partir do estudo geofísico realizado neste trabalho.

A partir da reinterpretação dos dados gravimétricos foi elaborado o Mapa Bouger gerado a partir dos dados gravimétricos da CPRM (Figura 108) que mostra a geometria da superfície do embasamento na área estudada.

Quase toda a área dos municípios de Santa Bárbara do Pará e Benevides e parte do Município de Santa Izabel do Pará se posicionam em um alto do embasamento com relação a área dos municípios de Belém e Ananindeua. Desde Icoaraci até o norte da Ilha de Mosqueiro ocorre um grande baixo do embasamento. Este bloco afundado é controlado a leste por falhas regionais orientadas N30°E. Uma falha deste sistema passa junto ao canal que separa a Ilha de Mosqueiro do continente. A sul, este bloco é limitado por uma falha regional N60°W que passa na Ilha de Outeiro. Estas duas zonas de falha foram também identificadas no levantamento gravimétrico.

As seções geológicas e geofísicas, os mapas da base das formações Barreiras e Pirabas e o mapa geológico permitem verificar que a área estudada está compartimentada

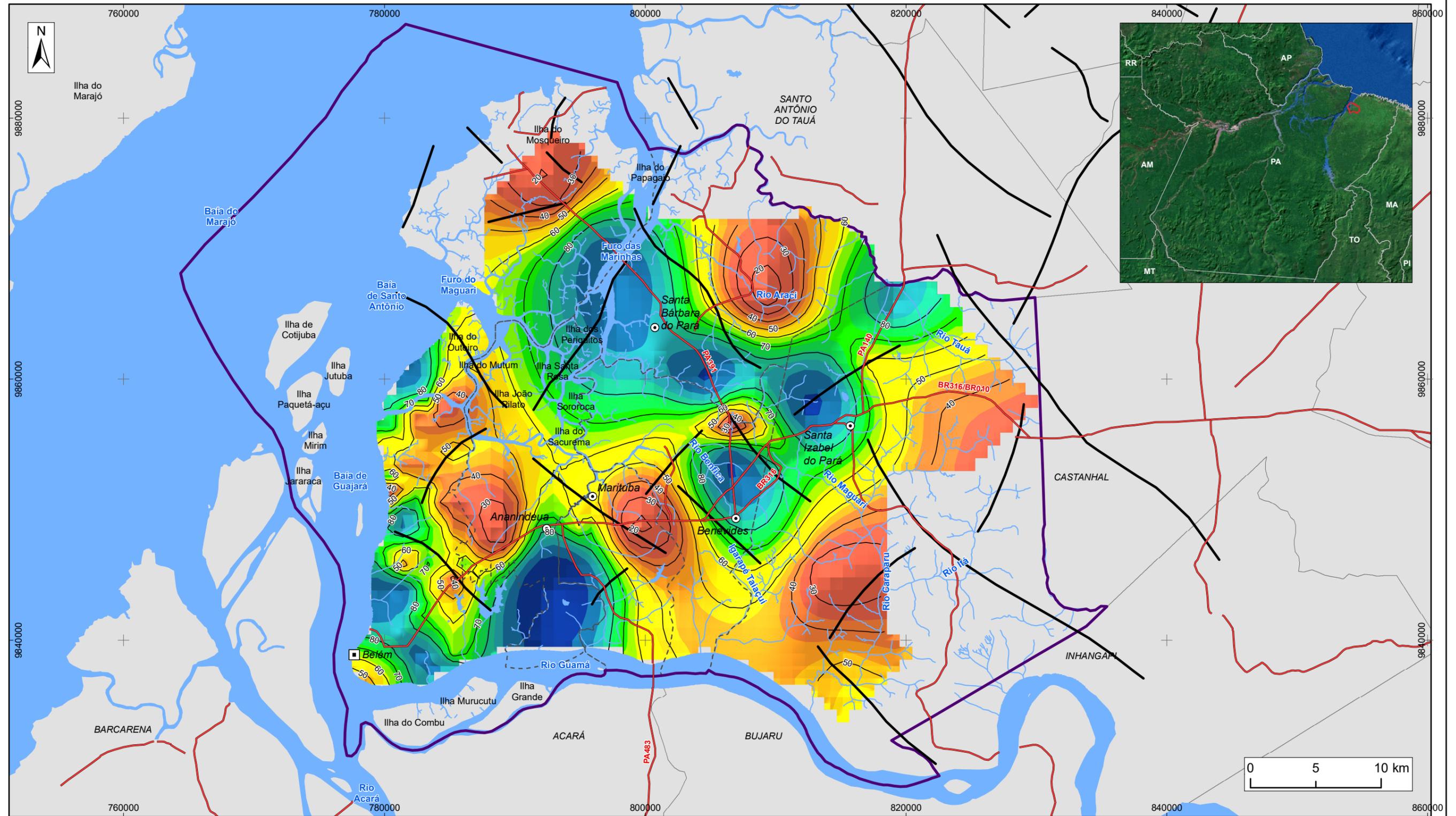
em diversos blocos controlados pelas grandes estruturas nordeste e noroeste que seccionam o substrato rochoso na porção onde está inserida a área estudada.

O mapa da Figura 108 mostra que, de acordo com a geofísica, as maiores espessuras da Formação Barreiras são verificadas em um grande bloco que inicia na Ilha de Mosqueiro e se estende para sudeste, englobando significativa porção dos municípios de Santa Bárbara do Pará e Benevides. A geometria deste bloco sugere que ele esteja controlado por duas falhas N45°-60°W e duas N30°E. No Município de Santa Izabel do Pará ocorrem dois blocos de menores dimensões que também estão aparentemente controlados por duas falhas N45°-60°W e outras duas N30°E.

Além desses blocos, a referida figura mostra que a sul do Município de Ananindeua ocorre outro bloco que se estende em sentido sul (Rio Guamá), já fora da área estudada. A Ilha de Combu, também se posiciona sobre um bloco baixo que inicia aproximadamente em Icoaraci e se estende em sentido oeste. Nestes dois blocos, parece que o condicionamento estrutural ocorre através de falhas N30°W e falhas orientadas N-S. No caso da Formação Pirabas, os blocos com as maiores espessuras são os mesmos, com pequenas variações.

A interpretação do mapa geológico, dos mapas geofísicos e das seções geológicas e geofísicas elaboradas neste trabalho (Figura 109) permitiu a identificação dos principais blocos geológicos, compartimentados por falhas existentes no âmbito da área estudada. O mapa estrutural e a seção geológica Mosqueiro – Santa Izabel do Pará mostram que a metade noroeste da Ilha de Mosqueiro, constitui um bloco alto com relação à metade sudeste onde ocorre o canal que separa esta ilha do continente. Este bloco alto é limitado por uma falha N70°E, definida no estudo geofísico e, ao longo do canal, ocorre a falha N30°E que limita dois blocos, estruturalmente, distintos.

À medida que se aproxima do Município de Santa Bárbara do Pará os contatos entre as unidades geológicas ocorrem em cotas, gradativamente, mais elevadas. Cabe ressaltar que a seção geofísica A-B (Figura 110) demonstra que nesta porção da área estudada ocorre um alto do embasamento. Do ponto de vista estrutural, o fato de os blocos mostrarem um escalonamento, com elevação à medida que se dirigem para sudeste, pode indicar a influência deste alto estrutural ou então de esses blocos estarem condicionados por falhas com orientação nordeste.



LEGENDA

▣ Capital Estadual	▭ Limite municipal	■ 62
⊙ Sede Municipal	Profundidade da base - Barreiras (m)	■ 58
~ Hidrografia	■ 104	■ 52
— Rodovia	■ 92	■ 48
— Lineamento	■ 85	■ 44
— Isolinha (m)	■ 79	■ 36
☁ Massa d'água	■ 73	■ 25
⊕ Área de Estudo	■ 67	

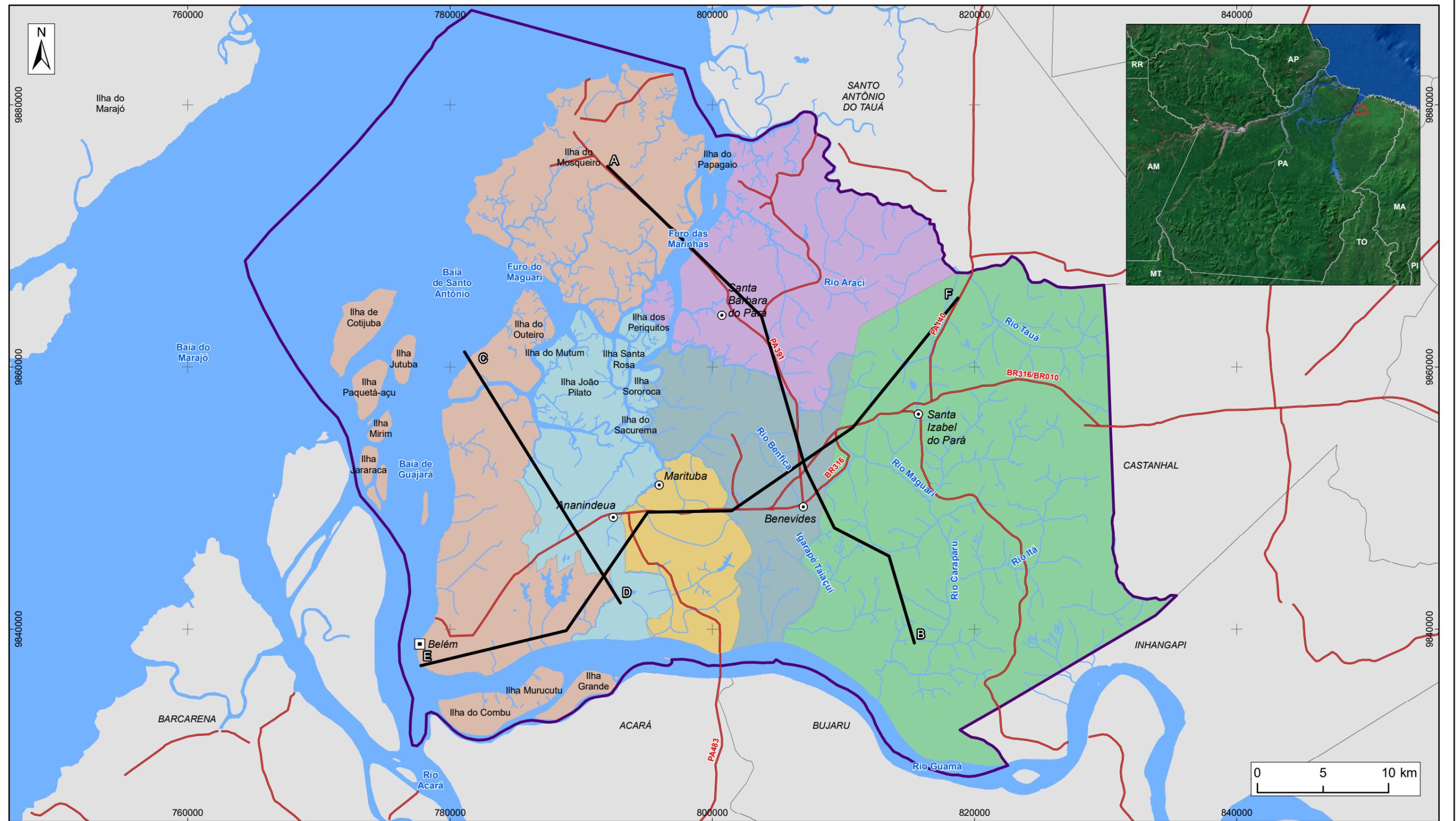
Figura 108 – Mapa de profundidade da unidade Barreiras, com estruturação interpretada



ESTUDOS HIDROGEOLÓGICOS PARA A GESTÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DA REGIÃO DE BELÉM/PA

Fonte: Rodovias: SEMA/PA. Limites políticos: IBGE. Hidrografia: CPRM
Profundidade: Elaborado a partir dos dados das SEVs

Sistema de Coordenadas:	UTM
Datum Horizontal:	SIRGAS 2000
Unidade:	Metros
Fiscalização:	ANA
Data:	Junho/2018
Arquivo:	
Figura_108_Mapa_profundidade_Barreiras_estruturação_interpretada_A3	
Escala:	1:290.000



LEGENDA

- | | |
|---------------------|-------------------------|
| ▣ Capital Estadual | Município |
| ⊙ Sede Municipal | ■ Ananindeua |
| ~ Hidrografia | ■ Belém |
| — Rodovia | ■ Benevides |
| — Seções Geofísicas | ■ Marituba |
| ☁ Massa d'água | ■ Santa Bárbara do Pará |
| ⊕ Área de Estudo | ■ Santa Izabel do Pará |

Figura 109 - Localização das seções geofísicas AB, CD e EF



ESTUDOS HIDROGEOLÓGICOS PARA A GESTÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DA REGIÃO DE BELÉM/PA

Fonte: Rodovia: SEMAS/PA. Limites políticos: IBGE
 Hidrografia: CPRM. Ilhas: adaptado de SEMAS/PA
 Seções geofísicas: ANA/Profil

Sistema de Coordenadas:	UTM
Datum Horizontal:	SIRGAS 2000
Unidade:	Metros
Fiscalização:	ANA
Data:	Junho/2018
Arquivo:	Figura_109_Mapa_Localizacao_Secoas_Geofisicas_A3
Escala:	1:290.000

A correlação das informações geológicas e geofísicas permitiu verificar que entre a ilha de Mosqueiro e o Município de Santa Izabel do Pará existem dois blocos baixos principais. Um deles inicia na metade sudeste da Ilha de Mosqueiro, em sentido à cidade de Santa Bárbara do Pará, além do limite de sua área urbana para sudeste, com a parte mais afundada situada junto ao canal, controlado por uma falha regional N30°E. O outro bloco baixo se situa entre os municípios de Benevides e Santa Izabel do Pará, com a parte mais profunda situada onde se construiu o poço 1500004625.

A interpretação da seção geológica C-D (Belém – Santa Izabel) (Figura 111), orientada SW-NE, permitiu que se identificassem os blocos condicionados por falhas pertencentes ao sistema N45°-60°W. A geometria das formações Barreiras e Pirabas mostra que existem dois blocos baixos. Um deles, situados entre os municípios de Ananindeua e Marituba, e outro entre os municípios de Benevides e Santa Izabel do Pará. Do ponto de vista hidrogeológico, estes dois blocos baixos constituem áreas, potencialmente, favoráveis à exploração de água dos aquíferos Barreiras e Pirabas.

A interpretação da seção geológica E-F (Belém – Benevides) (Figura 112) mostra que em Icoaraci, na margem da Baía de Guajará, ocorre um bloco alto e que, à medida que se dirige para sudeste, ocorre afundamento gradativo, controlado por falhas regionais N30°E, com blocos afundados posicionados para sudeste. A leitura do mapa geológico sugere que o bloco alto está separado do bloco baixo pela mesma falha regional N30°E que passa no canal e separa a Ilha de Mosqueiro do continente.

Levando-se em consideração a geometria das formações Barreiras e Pirabas, pode-se admitir que a presença de blocos soerguidos e rebaixados, observados em diferentes setores da área estudada, se relacionam à presença de falhas e reativações neotectônicas ocorridas nessa área desde o Oligoceno. Pelo fato de haver altos estruturais do embasamento, identificados pela gravimetria, mapas de profundidades da base do Barreiras, do Pirabas Superior e do Pirabas Inferior, provavelmente, o paleorelevo do embasamento também exerce controle na disposição das camadas das referidas formações e, conseqüentemente, na identificação de áreas aquíferas.

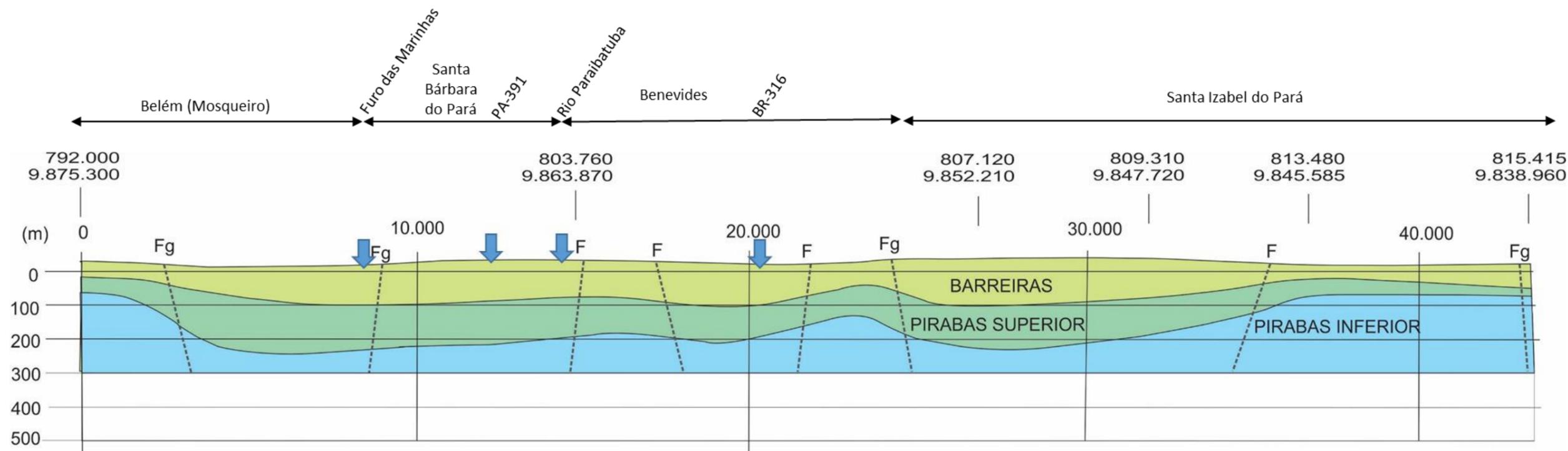


Figura 110 - Seção geofísica A-B.

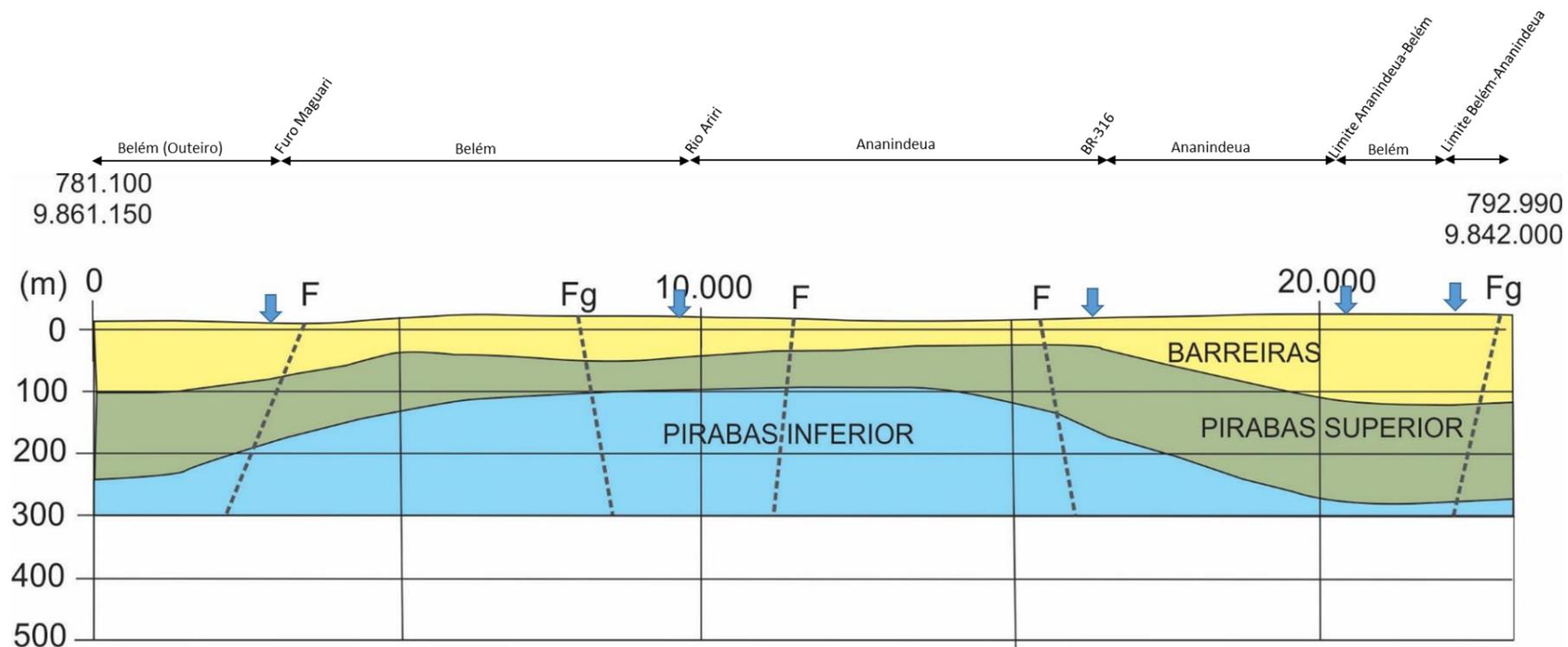


Figura 111 - Seção geofísica C-D.

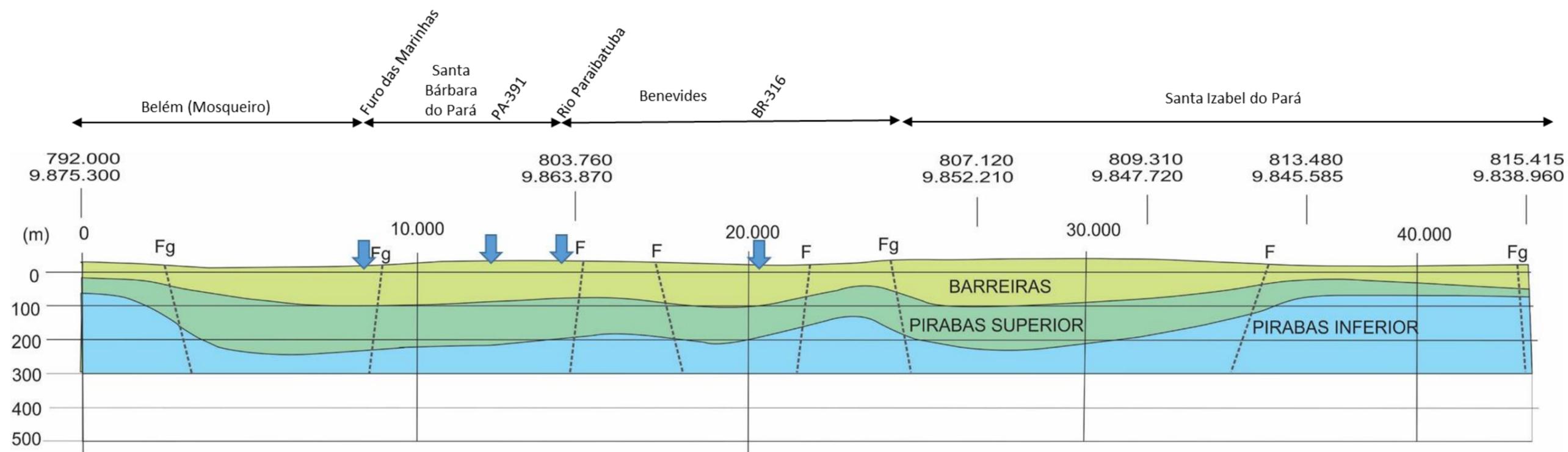


Figura 112 - Seção geofísica E-F.

6.5.3 ESTRATIGRAFIA

6.5.3.1 Formação Pirabas

A Formação Pirabas aflora descontinuamente nos estados do Pará, Maranhão e Piauí, sendo uma das unidades litoestratigráficas que melhor documenta o Cenozoico marinho brasileiro (MAURY, 1925).

Seu rico e variado conteúdo fossilífero sugere presença de três fácies ecológicas denominadas Castelo, Capanema e Baunilha Grande, associadas, respectivamente a ambientes de mar aberto, laguna e mangue (FERREIRA, 1966; 1980; 1982; FERREIRA & CASSAB, 1985; FERREIRA & FRANCISCO, 1988).

No Estado do Pará, essas rochas afloram principalmente, na região litorânea do Nordeste do estado, nos municípios de Salinópolis, Capanema e São João de Pirabas, de onde derivou a sua denominação. É constituída, em geral, por rochas carbonáticas depositadas durante o Mioceno Inferior (MAURY, 1925; PETRI, 1957; FERREIRA, 1966; FERREIRA, 1982; FERNANDES, 1984).

Távora *et al.* (2005) fizeram uma síntese de 197 artigos, monografias, dissertações, teses e resumos simples ou expandidos divulgados em congressos, simpósios e encontros, publicados até o ano de 2002. Essa organização em ordem cronológica permite ao leitor acompanhar o progresso das pesquisas geológicas e paleontológicas realizados na Formação Pirabas.

A proposta inicial de subdivisão dos sedimentos Pirabas foi realizada por Petri (1957) que, baseando-se, exclusivamente, em foraminíferos, estabeleceu as biofácies Castelo, Canecos e Baunilha Grande, abrangendo, respectivamente, afloramentos do atual litoral paraense, Zona Bragantina e Furo de Baunilha Grande (GÓES, 1990).

De um modo geral, os trabalhos posteriores adotaram, com pequenas modificações, essas denominações, muitas vezes utilizando-as com conotação litoestratigráfica. Desta forma, Ferreira (1977), apresentou o posicionamento, contendo da base para o topo, as seguintes fácies: Castelo, Baunilha Grande e Capanema (antiga Canecos). Entretanto, trabalhos posteriores empregam outros empilhamentos estratigráficos (*e.g.*, URDININEA, 1978; TRUCKENBRODT, 1981; FERREIRA, 1980; 1982; FRANCISCO & FERREIRA, 1988).

Posteriormente, com base em análises faciológicas, Góes (1990) verificou que as subdivisões litofaciológicas estabelecidas para a Formação Pirabas não apresentam um posicionamento estratigráfico único, nem são restritas geograficamente. Os perfis realizados em Atalaia, Aecuru e Capanema, indicaram a ocorrência das diferentes fácies, descritas como Castelo, Baunilha Grande e Capanema em todos os pontos indistintamente, sob a forma de intercalações.

A autora descreve fácies constituídas por biocalciruditos, biocalcarenitos estratificados, biocalcarenitos não estratificados, margas, e, subordinadamente, biohermitos, folhelhos (negros e verdes) e calcilitos. Os ambientes de deposição variaram entre ilhas de barreira, laguna (incluindo mangues) e plataforma carbonática submetida à ação de ondas de tempestade (GÓES, 1990), sob condições de forte controle tectônico, com o desenvolvimento de vales incisos, que se encaixam ao longo de zonas de falhas (ROSSETTI & GÓES, 2004).

Távora & Silva Júnior (2002), através de estudos petrográficos, diagenéticos e geoquímicos dos carcinólitos da ecofácies Baunilha Grande, identificaram sete fases eodiagenéticas, possivelmente, simultâneas: substituição da matéria orgânica por calcita, piritização da matéria orgânica, fosfatização da matéria orgânica, compactação mecânica, formação de franja de CaCO_3 , dissolução local de CaCO_3 já precipitado nos poros e substituição de calcita por sílica.

A Formação Pirabas mostra uma variação no conteúdo mineralógico constituído, basicamente, por calcita, dolomita, quartzo, esmectita, gipsita, pirita e traços de hematita, muscovita, albita, anortita, microclínio, caulinita e anatásio. O conteúdo mineralógico varia ao longo das zonas da plataforma, assim como o conteúdo fossilífero. A quantidade de calcita está, diretamente, relacionada a períodos de expansão da plataforma interna/intermediária com maior disponibilidade de CaCO_3 no ambiente. Por outro lado, as proporções de dolomita, quartzo, gipsita e pirita estão diretamente associadas a períodos de maior taxa de evaporação e influxos continentais na plataforma interna.

Com relação ao contato entre a Formação Barreiras e a Formação Pirabas dentro da Região de Belém é um assunto também controverso entre os pesquisadores, tendo em vista que este não é aflorante. Assim, as interpretações a partir dos perfis de poços é dificultada devido às diferentes formas de descrição do perfil litológicos dos poços. Todavia, observou-se que alguns poços situados na porção costeira, nas ilhas de Mosqueiro e Outeiro (SIAGAS – 1500004658, Mosqueiro) (Figura 113) e o (SIAGAS – 1500005519, Outeiro), exibem uma camada de argila arenosa cinza esverdeada que pode ser considerada como o

contato entre essas unidades naquele local, situado a aproximadamente 100 metros de profundidade (Figura 114).

Ainda assim, é sabido que nem sempre esse contato é claro entre essas formações e que essa camada não é uma camada-guia em toda a área. O contato pode se dá em diversas profundidades, como poderá ser visto no Volume 2 deste relato Final, quando se apresenta as interpretações de perfilagens geofísica de poços.

PERFIL LITOLÓGICO

Identificação SIAGAS: 1500004658

Localização: COSANPA - Mosqueiro

Coordenadas UTM: 9875559N 784535E

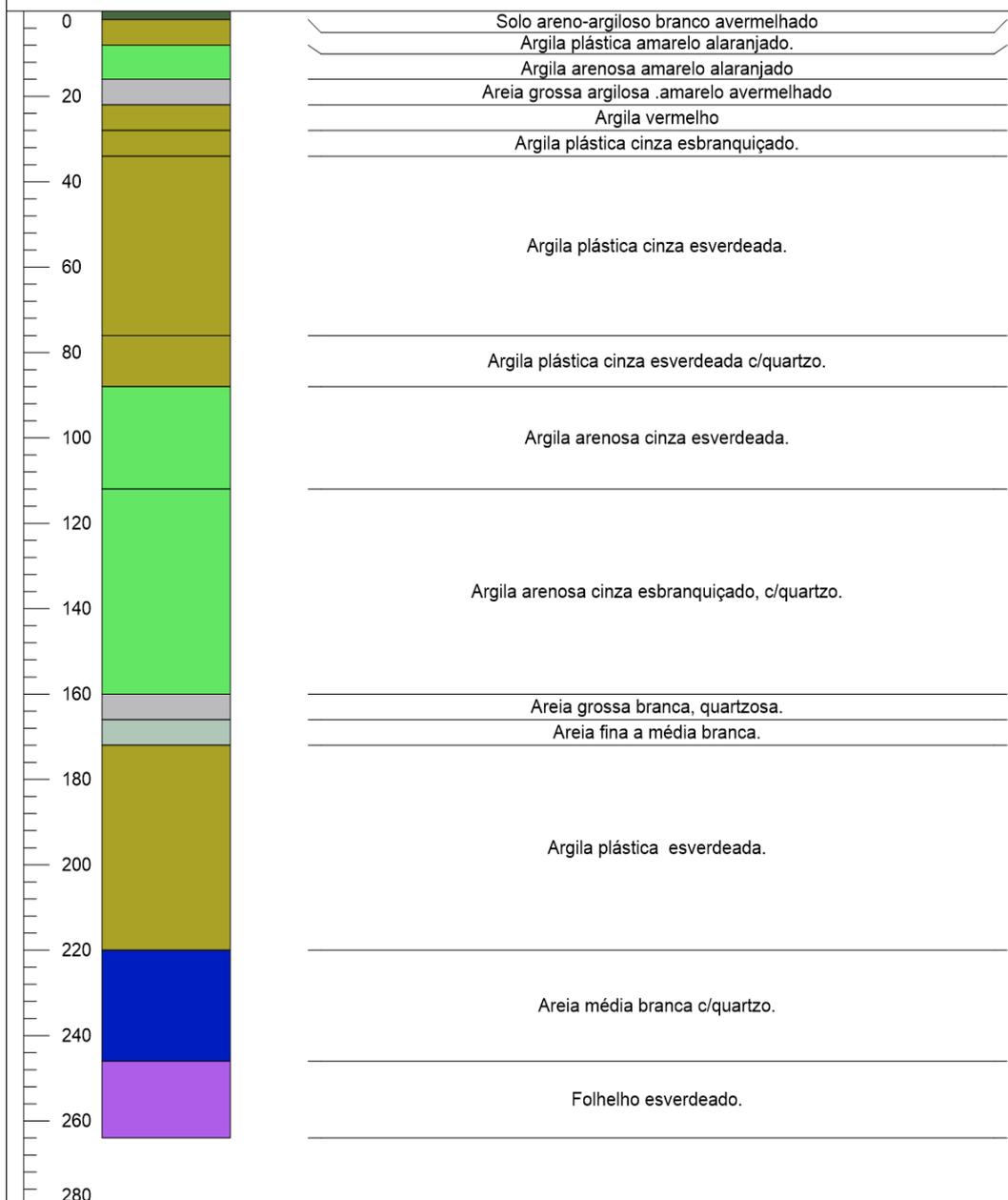


Figura 113 – Perfil litológico do poço 1500004658 em Mosqueiro.

PERFIL LITOLÓGICO

Identificação SIAGAS: 1500005519

Localização: COSANPA - Conjunto Cordeiro de Farias - Outeiro

Coordenadas UTM: 9850606N 782129E

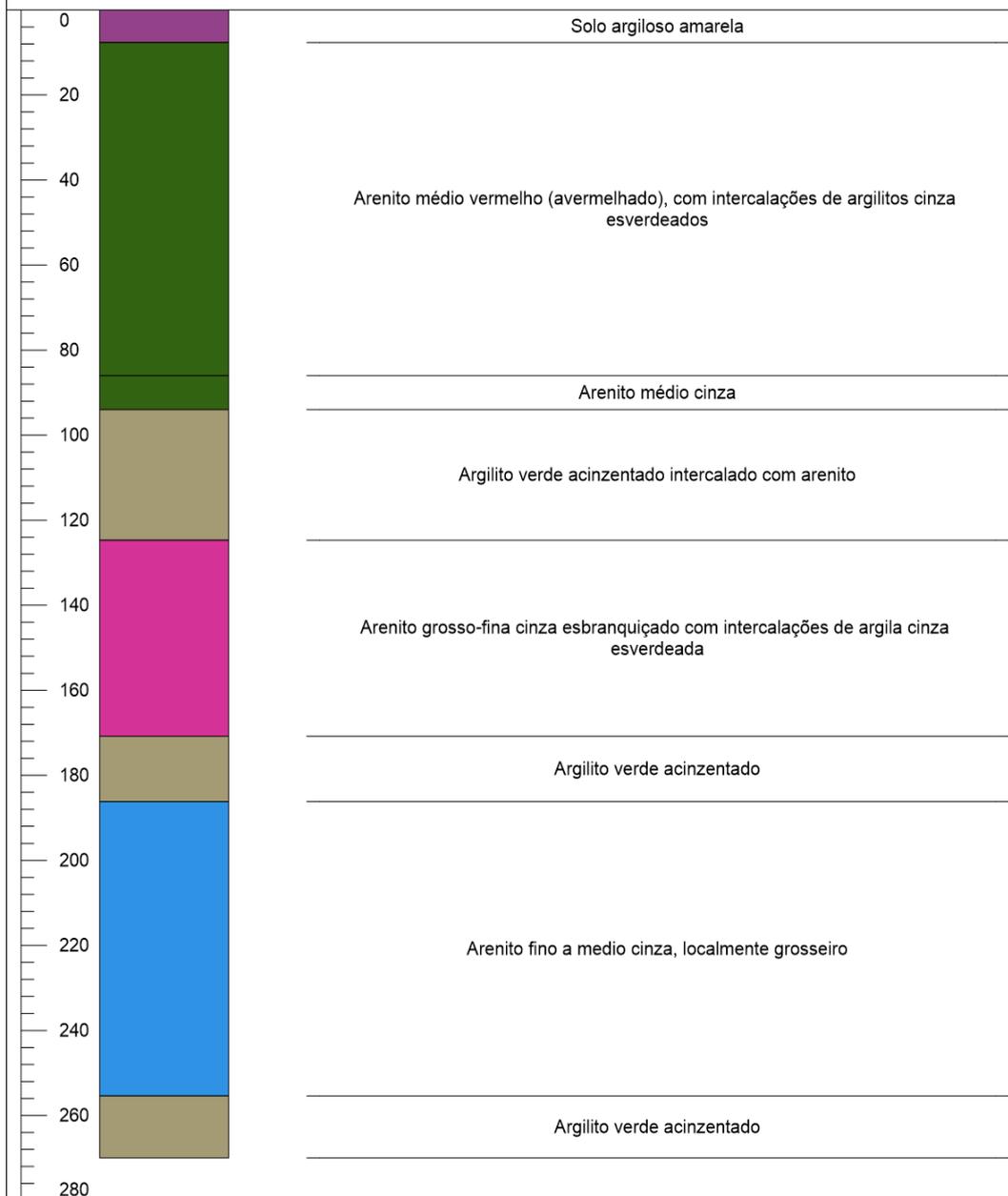


Figura 114 - Perfil litológico do poço 1500005519 em Outeiro.

6.5.3.2 Formação Barreiras

As primeiras referências sobre os depósitos Miocênicos na região norte do Brasil são bastante remotas (PENNA, 1876; CARVALHO, 1926; KATZER, 1933). No entanto, a carência de estudos sedimentológicos e estratigráficos detalhados durante muitos anos, confundiram a relação entre as unidades litoestratigráficas Pirabas e Barreiras.

A Formação Barreiras é constituída por sedimentos siliciclásticos e ocorre em uma estreita faixa desde a costa do Rio de Janeiro até o Amapá. As fácies siliciclásticas consistem em arenitos quartzosos, depósitos heterolíticos, argilitos e, menos comumente, conglomerados de colorações negra, verde oliva, cinza ou, ainda, variegada (*i.e.*; violácea, amarelada a avermelhada) (ROSSETTI, 2006a).

Na Região de Belém esses sedimentos foram depositados em ambiente estuarino e subambientes de planície de maré (COSTA *et al.*, 1993; GÓES & TRUCKEMBRODT, 1980; ROSSETTI *et al.*, 1989).

Com idade atribuída ao Plioceno/Pleistoceno, por meio de correlações com depósitos homônimos que ocorrem no nordeste brasileiro (MUSSA, 1958; AMADOR, 1982 *apud* ROSSETTI, 2006a), somente a partir de estudos palinológicos foi possível constatar que a deposição desta, foi precedente, em grande parte ocorrida no Mioceno Médio (ARAI *et al.*, 1988; ARAI, 1997; LEITE *et al.*, 1997 *apud* ROSSETTI, 2006a). Esses dados, juntamente, com interpretações faciológicas, permitiram inferir, ainda, a influência marinha na deposição dos litotipos da Formação Barreiras (ROSSETTI *et al.*, 1989; 1990), levando ao modelo de interdigitação desta com a Formação Pirabas (ARAI *et al.*, 1988; GÓES, 1990), reforçando sugestões anteriores já apresentadas na literatura (*e. g.*, ARANTES *et al.*, 1972).

Na Ilha do Mosqueiro, situada na porção noroeste do Município de Belém, a Formação Barreiras foi descrita em detalhe a partir de falésias nas praias do Paraíso, Grande e Baía do Sol (BORGES & ANGÉLICA, 1986; IGREJA *et al.*, 1990; COSTA *et al.*, 1991). A Figura 115 ilustra o perfil laterítico imaturo em Mosqueiro.

Na base dos perfis os autores reconheceram uma camada argilo-arenosa de coloração cinza esbranquiçada a cinza escura, com tons avermelhados, arroxeados e amarelados gerados pelo intemperismo. Tem laminação plano-paralela, *flaser*, *wavy*, estrutura maciça, camada rica em restos de plantas fossilizadas, gretas de contração e estrutura diapírica. Logo acima da base ocorre uma rocha lateritizada representada por argilito

goethizado, com espessura entre 20 a 50 cm, localmente descontínuo, enquanto na Praia da Baía do Sol, entremeia uma camada argilo-arenosa.

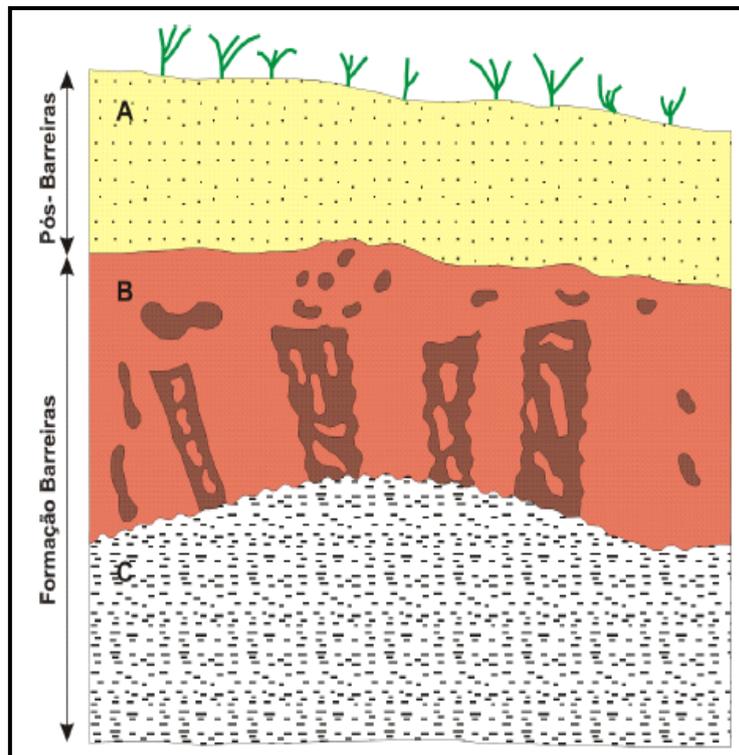


Figura 115 - Perfil geológico representativo das três camadas que constituem as falésias da Ilha de Mosqueiro e adjacências. A = camada arenosa; B = camada arenoargilosa a arenoconglomerática; C = camada argiloarenosa (modificado de IGREJA *et al.*, 1990).

Sobreposto ao argilito goethizado, em contato gradual e discordante, encontra-se um arenito, caracterizado por areia granulosa, conglomerado basal, intraformacional e a base de seixos de quartzo, contendo na matriz material silticoargiloso. Nessa camada ocorre estratificação cruzada de pequeno a médio porte, estrutura de escavação, espinha de peixe e preenchimento. Encontra-se fortemente lateritizada, onde se destacam estruturas colunares e blocos métricos de concreções ferruginosas (PALHETA, 2008).

Atuam como intervalos aquíferos as camadas de arenitos médios ou grossos de origem fluvial, que intercalam esta sequência pelítica. O perfil litológico do poço 1500005306, do cadastro SIAGAS, localizado na Vila de Americano no Município de Santa Izabel do Pará, mostra que existem vários horizontes de arenitos intercalados nesta sequência pelítica que atuam como intervalos aquíferos (Figura 116).

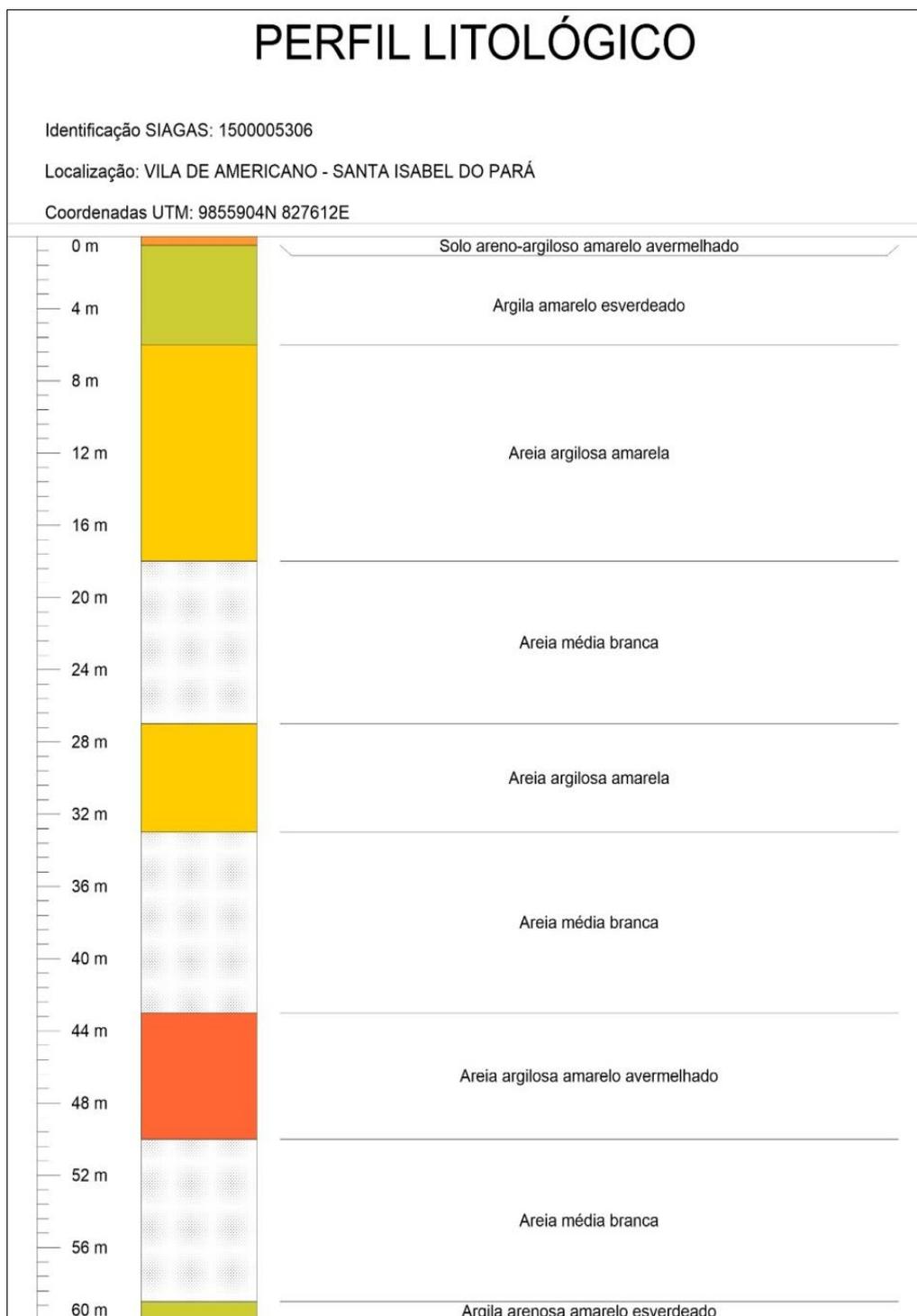


Figura 116 - Perfil litológico da Formação Barreiras no Município de Santa Isabel do Pará.

Para Rossetti (2006b), as análises de superfícies de discontinuidades mapeáveis em escala regional, combinadas com as características faciológicas e seus padrões estratiais sugerem um ambiente deposicional relacionado a sistemas de vales estuarinos incisivos, com deposição descontínua devido à influência de episódios múltiplos de variação do nível do mar de alta frequência superpostos a uma tendência geral transgressiva

a mar alto. Ainda segundo a autora: “[...] A natureza estuarina é destacada com base na abundância de depósitos formados por processos de maré, na variedade de ambientes deposicionais típicos de sistemas estuarinos incluindo-se abundantes canalizações, no relacionamento com estratos atribuídos à plataforma rasa e plataforma restrita, e na associação icnológica com representantes típicos de ambientes litorâneos estressantes e com influência de água salobra”.

6.5.3.3 Unidade Pós-Barreiras

Inicialmente, definidos por Silva & Loewenstein (1968), os sedimentos Pós Barreiras correspondem a depósitos de latossolos amarelados e arenosos finos a médios e, em geral, maciços, sobrepostos à Formação Barreiras (ROSSETTI *et al.*, 2013), com espessura variando entre 5 a 30 metros, cujos estudos mais destacados foram desenvolvidos na região nordeste do Pará e no Maranhão, em função da existência de inúmeras falésias costeiras, minas a céu aberto, barrancos de rios e cortes de estradas (TATUMI *et al.*, 2008).

Estudos sedimentológicos e estratigráficos detalhados definiram os sedimentos Pós Barreiras como depósitos sedimentares, reconhecendo a importância de processos eólicos e gravitacionais (*i.e.*, fluxo de detritos), além da possível influência de processos marinhos em reentrâncias costeiras, bem como depósitos de cordão litorâneo, planície de maré, canal e mangue na deposição dessa unidade (TATUMI *et al.*, 2008)

Estudos geofísicos (*e. g.*, ROSSETTI *et al.*, 1989; ROSSETTI, 2004), com GPR ou georadar, identificaram três unidades estratigráficas na Praia do Atalaia, Município de Salinópolis, região nordeste do Pará. A Unidade 1, inferior, consiste em um intervalo com 6 metros de espessura média dominado por reflexões pobremente definidas e de baixa amplitude, e que intergradam com reflexões de média escala do tipo tangencial oblíquo, sendo identificadas estruturas tipo *hummocky*. A Unidade 2, intermediária, possui cerca de 9 metros de espessura e inclui, principalmente, reflexões oblíquas de larga escala, cujas configurações variam de paralela, tangencial, sigmoidal a sigmoidal-complexa. A Unidade 3, superior, corresponde a um intervalo entre 3,5 e 9 metros de espessura, sendo dominada por reflexões *hummocky*, seguidas por reflexões de média escala dos tipos oblíquo, paralelo a subparalelo, e em corte-e-preenchimento.

Aplicando a técnica de datação por luminescência opticamente estimulada (LOE) na região nordeste do Pará, Tatumi *et al.* (2008), verificaram que a deposição desses

estratos ocorreu no final do Pleistoceno tardio ao Holoceno, tendo sido registrado idades entre 430.000 (\pm 60.000) e 3.400 (\pm 400) anos AP.

Estudos de Rossetti *et al.* (2013), aplicando a mesma técnica de datação dos sedimentos expostos no litoral maranhense verificaram idades que indicam deposição do Neo-Pleistoceno ao Neo-Holoceno

Do ponto de vista estratigráfico, Costa & Horbe (1995) em seu trabalho consideram como Sedimentos Pós Barreiras os depósitos arenosos que ocorrem na parte superior das falésias e admitem que sejam originados a partir do desmantelamento *in situ* dos sedimentos da Formação Barreiras. Da mesma forma, Sá (1969) admite que praticamente toda a superfície da ilha de Mosqueiro é constituída por latossolos derivados dos lateritos. Ressalta, no entanto, que as porções de areias quartzosas brancas que surgem em meio a estes latossolos, são originadas por processos de lixiviação *in loco* destes latossolos.

Palheta (2008), em estudo na Ilha de Mosqueiro, também considera como Sedimentos Pós Barreiras somente a camada superior arenosa, que aparece sotoposta às crostas lateríticas ou saprólitos mosqueados da Formação Barreiras. A leitura dos blocos estruturais elaborados a partir de perfis litológicos por aquele autor permite verificar que os sedimentos considerados como Pós Barreiras possuem espessura que variam de 0,50 a 6,00 metros. Igreja *et al.* (1990) apresentaram um perfil geológico representativo das três camadas que constituem as falésias da Ilha de Mosqueiro e adjacências. Nesse perfil os autores consideraram como Sedimentos Pós Barreiras somente a camada arenosa superior.

Considerando-se os estudos de Palheta (2008), Igreja *et al.* (1990) e Tatumi *et al.* (2007), pode-se admitir que a camada arenosa superior corresponde aos Sedimentos Pós-Barreiras e o siltito caulínico e os arenitos ferruginosos correspondem ao Sedimentos Barreiras.

Por outro lado, Palheta (2008), com base em Oliveira (2002) e Matta (2002), no que tange às características hidrogeológicas da Região Metropolitana de Belém, assume uma espessura de aproximadamente 30 metros para o Sistema Aquífero Pós Barreiras.

Para Oliveira (2002) “[...] O primeiro domínio hidrogeológico é do tipo poroso, constituído pelos sedimentos da Cobertura Detrítico Laterítica que, por sua vez, está encimada por alúvios e colúvios. Esses sedimentos alúvio-coluvionares correspondem à unidade aquífera superior, formada por níveis argilo-arenosos, inconsolidados, existentes no

intervalo 0 a 35 m". Ou seja, admite uma espessura de 35 metros para os Sedimentos Pós Barreiras.

Nas ilhas de Mosqueiro e Outeiro, todos os trabalhos consultados indicam como sedimentos Pós Barreiras somente a camada arenosa superior que capeia os lateritos e sedimentos argilosos, argilo-arenosos e arenosos que afloram nas falésias das referidas ilhas. Dentro desta ótica a espessura máxima seria de aproximadamente 6 metros.

Se considerarmos que o contato entre os referidos sedimentos seja definido pelo nível estratigráfico correspondente a uma crosta laterítica com arenito ferruginoso que ocorre na base das falésias (durante a maré baixa) na Praia do Amor, ilha de Outeiro, mostrado na Figura 117, na Praia do Marahu, Ilha do Mosqueiro, mostrada na Figura 118 e na Figura 119, e na Praia do Paraíso, também na Ilha do Mosqueiro, mostrada na Figura 120, e a espessura dos Sedimentos Pós Barreiras aumentaria para 12 metros.

A leitura das seções geológicas realizadas a partir de perfis litológicos de poços, realizadas nas referidas praias demonstra que a espessura máxima dos sedimentos Pós Barreiras seria de 11 metros (Praia do Amor) e de 15 metros (Praia do Paraíso). As referidas seções mostram que estratigraficamente abaixo da crosta laterítica e sedimentos argilosos e ou argilo-arenosos, neste trabalho denominados de siltitos claros variegados (vide seções), ocorre uma espessa camada arenosa que marca o início da Formação Barreiras.



Figura 117 - Perfil observado na Praia do Amor, Ilha de Outeiro.



Figura 118 – Praia do Marahu, Ilha do Mosqueiro. Arenito ferruginoso que constitui um pequeno patamar na base da falésia.



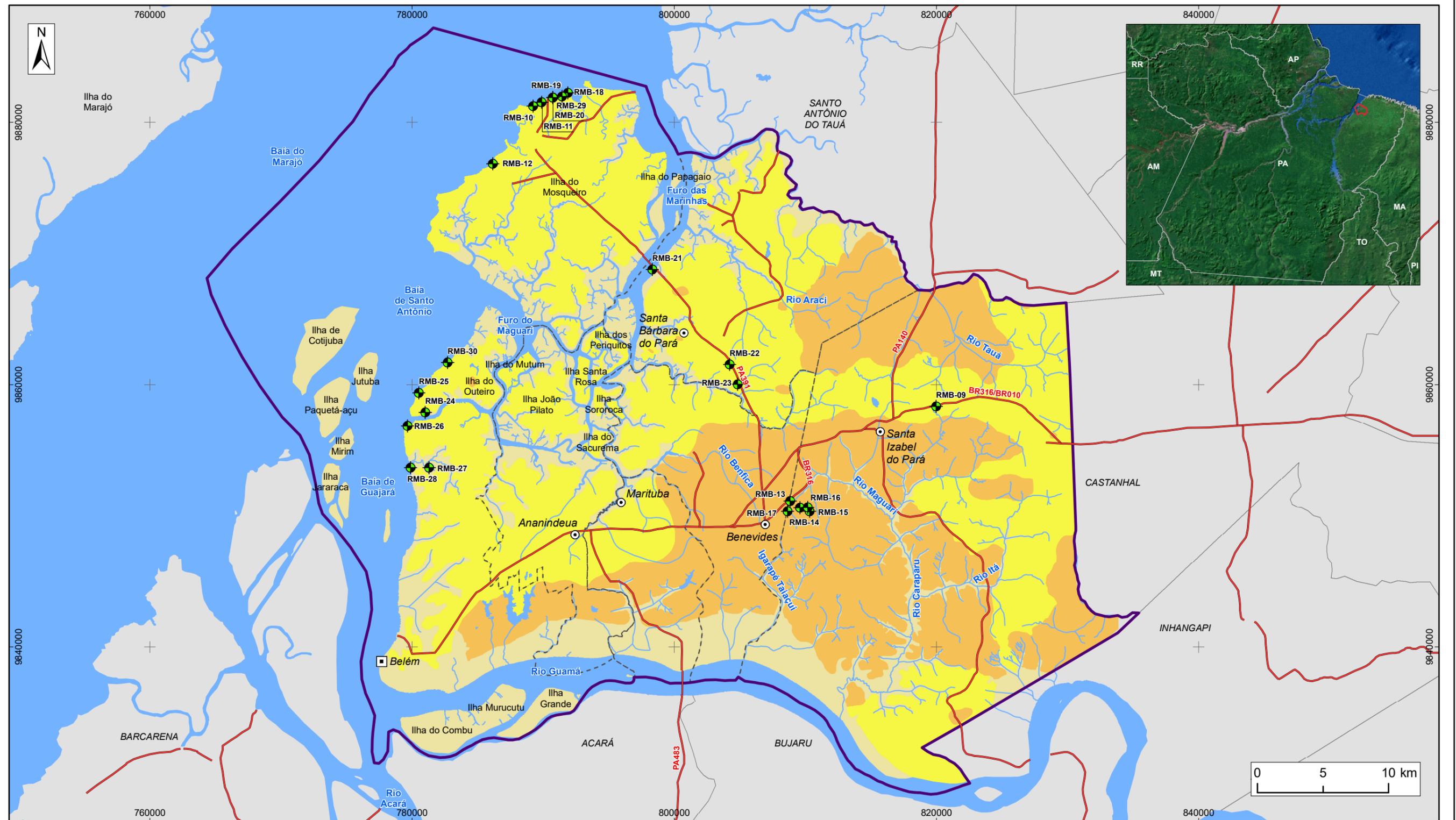
Figura 119 – Afloramento em forma de falésia na Praia do Marahu, Ilha de Mosqueiro. Pacote de siltito argiloso, com aspecto mosqueado.



Figura 120 – Praia do Paraíso, Ilha do Mosqueiro. Siltito caulínico cinza esbranquiçado com aspecto mosqueado (manchas avermelhadas) intercalado com o arenito conglomerático.

Pelo exposto, conclui-se que em nenhum local das referidas ilhas a espessura dos Sedimentos Pós-Barreiras, que constituem o Sistema Aquífero Pós Barreiras atingiria 30 metros, conforme admite Palheta (2008) ou 35 metros, conforme propõe Oliveira (2002).

Dessa forma, para definição da espessura dos Sedimentos Pós Barreiras e o contato entre os Sedimentos Pós Barreiras e os sedimentos Barreiras utilizou-se dados de campo, considerações tecidas nos trabalhos de vários autores, como Oliveira (2002), Matta (2002), Palheta (2008), Igreja *et al.* (1990), Tatumi *et al.* (2007), Rossetti *et al.* (1989), Rossetti *et al.* (2013), dentre outros, e, principalmente a utilização de perfilagens geofísica de poços. Tais discussões estão disponíveis no Volume II deste Relatório Final. Nas interpretações das perfilagens geofísicas não foi possível identificar um padrão diferente das propriedades elétricas entre as rochas do Barreiras e Pós Barreiras, de forma que não foi possível estabelecer um contato entre essas formações; sendo assim no modelo hidrogeológico agrupadas num mesmo sistema aquífero. Os trabalhos de campo executados no atual projeto, bem como a leitura de várias publicações sobre pesquisas realizadas na área, permitiram um maior conhecimento a respeito das unidades geológicas presentes na área estudada, principalmente, no que se refere aos ambientes de sedimentação, relações estratigráficas. Analisou-se afloramentos na região de Belém (Outeiro e Mosqueiro) e na região de Castanhal, próximo à área de estudo (Figura 121).



LEGENDA

- ▣ Capital Estadual
- ⊙ Sede Municipal
- Afloramentos visitados
- ~ Hidrografia
- Rodovia
- ☁ Massa d'água
- ⊕ Área de Estudo
- - - Limite municipal
- Unidades Geológicas**
- Qafm - Depósitos Argilosos Flúvio-marinhos
- N34pb - Sedimentos Pós-Barreiras, Depósitos Aluviais, Eólicos e Lateríticos
- N12b - Barreiras, Sedimentos Argilosos, Arenosos e Conglomeráticos

Figura 121 – Afloramentos visitados ao longo do projeto



ESTUDOS HIDROGEOLÓGICOS PARA A GESTÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DA REGIÃO DE BELÉM/PA

Fonte: Rodovias: SEMAS/PA
 Limites políticos: IBGE. Hidrografia/Geologia: CPRM, 2010.
 Afloramentos visitados: ANA/PROFILL, 2017

Sistema de Coordenadas:	UTM
Datum Horizontal:	SIRGAS 2000
Unidade:	Metros
Fiscalização:	ANA
Data:	Junho/2018
Arquivo:	Figura_121_Afloramentos_Visitados_Campo_A3
Escala:	1:290.000

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANA – AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. Hidroweb: Sistema de Informações Hidrológicas. 2005. Disponível em: hidroweb.ana.gov.br/. Acesso em: maio de 2017.

ANA – AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. Plano estratégico de recursos hídricos da bacia hidrográfica dos rios Tocantins e Araguaia. Relatório Síntese/Agência Nacional de Águas – Brasília, DF: ANA; SPR, 2009.

ANA - AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. Atlas Esgoto: Despoluição de Bacias Hidrográficas. 2017.

AQUIM, P. M.; GUTTERRES, M.; TESSARO, I. Análise dos efluentes gerados nos processos de ribeira e curtimento da indústria do couro. In: XV CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA QUÍMICA. Anais... Curitiba. 2004.

ARAI, M. Dinoflagelados (Dinophyceae) miocênicos do Grupo Barreiras do nordeste do Estado do Pará (Brasil). Revista Universidade de Guarulhos, v. 2, 98-106. 1997.

ARAI, M., UESUGUI, N. ROSSETTI, D. F.; GÓES, A. M. 1988. Considerações sobre a idade do Grupo Barreiras no Nordeste do Estado do Pará. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 35, Belém, 1988. Anais... Belém: SBG, P. 738–752.

ARANTES, J. L. G.; DAMASCENO, B. C.; KREBS, A. S. J. Projeto Argila. Belém: DNPM/CPRM, 1972. 40 p. (Relatório técnico).

ARAÚJO, M.L.; SOUSA, S.N.; LOBATO, V.C. Análise da disposição do lixo na cidade de Belém PA: O caso do lixão do Aurá. Revista Programa de Pós-Graduação em Geografia Instituto de Geociências Universidade Federal do Rio Grande do Sul, n 1, v. 4. 2010.

ARAÚJO, P. P. Variações sazonais dos componentes nitrogenados, em aquífero livre na zona urbana de Santa Isabel do Pará, nordeste do Estado do Pará. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Pará - Centro de Geociências - Curso de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica. Belém, 2001. 125 f.

BAHIA, V. E. Estudo hidrogeológico da área localizada entre o depósito de lixo metropolitano de Belém (Aurá) e o Lago Água Preta. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Pará - Centro de Geociências - Curso de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica. Belém, 2003. 117 p.

BARROS, M. A. S. D.; ARROYO, P. A.; SOUSA-AGUIAR, E. F.; SEGARRA, V. O processamento de peles. In: BARROS, M. A. S. D.; ARROYO, P. A.; SOUSA-AGUIAR, E. F.; GARCIA, P. A. (Ed.). Problemas ambientais com soluções catalíticas: I o cromo no processamento de peles. Madrid: Ciencia y Tecnologia para el Desarrollo, 2001. p. 37- 63.

BASTOS, T. X.; PACHECO, N. A; NECHET, D; ABREU, T. D. Aspectos climáticos de Belém nos últimos cem anos. Embrapa Amazônia Oriental, 2002. 29p.

BATISTA, M.M.; ALOVISI, A.M.T. Alterações de atributos químicos do solo e rendimento da cana soca pela utilização de lodo de curtume. Anuário da Produção de Iniciação Científica Discente, v. 13, n. 17, p. 387-396, 2010.

BELÉM. Plano Municipal de Saneamento Básico de Abastecimento de Água e Esgotamento Sanitário de Belém – Pará. Volume I – Concepção Técnica e Proposições. Belém – PA: 2014.

BORGES, M. S.; ANGELICA, R. S. Levantamento Geológico da Ilha de Mosqueiro – Estado do Pará. Projeto Fosfatos na Amazônia. Biblioteca do Centro de Geociências da UFPA, 34 p. 1986. Belém (PA).

CABRAL, N. M. T. Teores de Nitrato (NO₃⁻) e Amônio (NH₄⁺) nas águas do Aquífero Barreiras nos Bairros do Reduto, Nazaré e Umarizal – Belém/PA. Química Nova, v. 30. N. 8, pp. 1804-1808, 2007.

CÂMARA, G. 2006. Representação Computacional de Dados Geográficos. In: Tutorial sobre Bancos de Dados Geográficos: GeoBrasil 2006.

CAMPBELL, D. F. Revised report on the reconnaissance geology of the Maranhão Basin. CNP, Rio de Janeiro, 1949. (Relat. Int.)

CAPECHE, C. L. Noções sobre tipos de estruturas do solo e sua importância para o manejo conservacionista. Comunicado técnico 51. EMBRAPA, 2008. p. 1-6.

CARDOSO, A. C.D.; NETO, R. .S. V. A evolução urbana de Belém: trajetória de ambiguidades e conflitos socioambientais. Cad. Metrop., São Paulo, v. 15, n. 29, pp. 55-75, jan/jun 2013.

CARVALHO, P.F. Reconhecimentos geológicos entre a costa atlântica e Pirabas e a estação experimental na estrada de ferro de Bragança. Boletim do Serviço Geológico e Mineralógico, v. 15, p. 115-124, 1926.

CASTRO, E. Cidades Amazônicas na Confluência das Águas. In: UHLY, S.; SOUZA, E. L. (Org.). A Questão da Água na Grande Belém. Belém: UFPA, 2004. p. 11-37.

CATETE, C. P. Investigações ambiental e forense com os métodos geofísicos radar de penetração do solo, polarização induzida e eletrorresistividade no Cemitério do Tapanã, Belém/Pará. Dissertação (Mestrado em Geofísica) – Programa de Pós-Graduação em Geofísica, Universidade Federal do Pará, Belém, 2010.

CODEM – COMPANHIA DE DESENVOLVIMENTO DA ÁREA METROPOLITANA DE BELÉM. Plano de desenvolvimento da Grande Belém: metodologia; estudos básicos, Prognósticos, desenvolvimento e sistemas. Belém, v.1. Tomo 1 e 2. 1975.

CORTEZ, C.M.B.; TAGLIARINI, E.M.; TANCREDI, A.C.F.N.S. Utilização de águas minerais dos aquíferos do Grupo Barreiras na região de Belém (PA). In: Joint World Congress on Groundwater, 1. Fortaleza (CE) – CD-ROOM, 2000.

COSANPA- COMPANHIA DE SANEAMENTO DO ESTADO DO PARÁ. Plano Diretor do Sistema de Esgotamento Sanitário da Região Metropolitana de Belém. Relatório Técnico I- Análise dos sistemas existentes de esgoto, água e drenagem urbana da RMB, 2007.

COSANPA – COMPANHIA DE SANEAMENTO DO PARÁ. Dados obtidos por meio do Ofício nº 10/2018/SIP-ANA. Documento no 00000.005338/2018-95. 2018.

COSTA, F. R. Influência da neotectônica sobre os arranjos geométricos dos aquíferos na Região Metropolitana de Belém – Estado do Pará. Dissertação (Mestrado em Geologia) – Universidade Federal do Pará, Centro de Geociências, Curso de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica, Belém, 2004.

COSTA, J. B. S.; BORGES, M. S.; BEMERGUY, R. L.; FERNANDES, J. M. G.; COSTA Jr., P. S.; COSTA, M. L. A evolução cenozoica da região de Salinópolis, nordeste do Estado do Pará. Geociências, v. 12, n. 2, p. 373-396. 1993.

COSTA, J. B. S.; HASUI, Y.; BEMERGUY, R. L.; VILLEGAS, J. M. C. Tectonics and paleogeography of the Marajó Basin, northern Brazil. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, v. 74, p. 519-531, 2002.

COSTA, J. B. S.; IGREJA, H. L. S.; BORGES, M. S.; HASUI, Y. O quadro tectônico regional do Mesozoico na região Norte do Brasil. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DA AMAZÔNIA, 3, Belém, 1991. *Anais*. Belém: SBG, p. 166-178. 1991.

COSTA, M. L. & HORBE, A. M. C. 1995. Pedras de ferro de interface areia-argila no perfil laterítico da ilha de Mosqueiro (região Norte do Brasil). *Caderno de Geociências - IBGE*, 14:61-68. 1995.

CPRM – SERVIÇO GEOLÓGICO BRASILEIRO. Projeto estudos hidrogeológicos da Região Metropolitana de Belém e Adjacências. 2002.

DLUGOSZ, F. L.; ROSOT, N. C.; ROSOT, M. A. D.; OLIVEIRA, Y. M. M. Índice para a Avaliação de Segmentação de Imagens. *Floresta*, v. 39, n. 1, 2009. p. 131-143.

EMBRAPA – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Mapa de Solos do Brasil. Rio de Janeiro: IBGE, 2001 - Escala 1:5.000.000.

EMBRAPA – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Aspectos Climáticos de Belém nos Últimos Cem Anos. 1ª Edição, Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2002.

EMBRAPA – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 2 ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006.

EMBRAPA – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Atlas Climático da Região Sul do Brasil: Estados do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul. Pelotas: Embrapa Clima Temperado; Colombo: Embrapa florestas, 1 atlas. 336 p., 2011.

EMBRAPA – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 3ª Edição. Rio de Janeiro: Embrapa Solos. 353 p. 2013.

FEIO, V. F., GIRARD, L., MENDONÇA, N. Problemática da geração de efluentes oriundos do processamento de açaí na região metropolitana de Belém-PA. Revista Monografias Ambientais – REMOA, v.14, n. 3, mai-ago. 2014, p.3335-3340.

FERNANDES, J. M. G. Paleoecologia da Formação Pirabas. Estado do Pará. In: Congresso Brasileiro De Geologia. 35. Belém. Anais. Rio de Janeiro, SBG. v.1, p. 330 - 340. 1984.

FERREIRA, C. S. Características lito-paleontológicas na Formação Pirabas, Estado do Pará. In: CONFERÊNCIA GEOLÓGICA DAS GUIANAS, 1966, Belém. Anais... Belém, 1966, v.6, p. 101-111, 1966.

FERREIRA, C. S. Fácies da Formação Pirabas: novos conceitos de ampliações. Anais da Academia Brasileira de Ciências, 49 (2): 353p. 1977.

FERREIRA, C. S. Correlação da Formação Pirabas (Mioceno Inferior), N e NE do Brasil, com as formações Chipola e Tampa da península da Flórida, USA. In: CONGRESSO LATINOAMERICANO DE PALEONTOLOGIA, 1. Buenos Aires. Atas... Buenos Aires: Asociacion Paleontologica Argentina. p. 49-55. 1980.

FERREIRA, C. S. Notas estratigráficas sobre o cenozoico do Estado do Pará. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DA AMAZÔNIA, 1. Belém, Anais. Belém: SBG, 1982. v. 1, p. 84-88. 1999. CD-ROM. 1982.

FERREIRA, C. S.; CASSAB, R. C. T. Implicações Faciológicas da Família Pectinidae (Mollusca-Bivalvia) da Formação Pirabas, Oligo-Mioceno do Norte e Nordeste do Brasil. Brasília, MME-DNPM, Série Geologia 27, Seção Paleont. e Estrat. 2, p.205-209. 1985.

FERREIRA, C. S.; FRANCISCO, B. H. R. As Relações da Formação Pirabas (Oligoceno- Mioceno), com as Formações Continentais Terciárias no NE do Pará. In: SBG – CONGRESSO BRASILEIRO GEOLOGIA, 35, Anais... Belém, 2:761-764. 1988.

FETTER, C. W. Applied Hydrogeology. 2. ed. Prentice-Hall Inc. Upper Saddle River, New Jersey. 598 p. 2001.

FIGUEIREDO, C. T.; MOTA, M. A. S. Análise da precipitação na Região Metropolitana de Belém (PA) ao longo de um ano (agosto/2008 a julho/2009). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 16, 2010, Belém-PA. Anais do XVI Congresso Brasileiro de Meteorologia, Belém-PA:, HANGAR, 2010.

FOSTER, M. D.; CREASE, R. I. Nitrate pollution of chalk groundwater in east Yorkshire: a hydrogeological appraisal. Nitrate pollution in Europe. New York: Water Information Center, Port Whashington, 1972. p. 269-271.

FOSTER, S. S. D.; HIRATA, R. C. A. Groundwater pollution risk assessment: a methodology using available data. WHO-PAHO/HPE-CEPIS Technical Manual, Lima, Peru. 81pp, 1988.

FOSTER, S. S. D.; HIRATA, R. Determinação do Risco de Contaminação das Águas Subterrâneas: um Método Baseado em Dados Existentes. São Paulo: Instituto Geológico, n. 10, 1993. v. 1. 92 p.

FOSTER, S. S. D.; HIRATA, R. C. A.; GOMES, D. C.; D'ELIA, M.; PARIS, M. Proteção da qualidade da água subterrânea: um guia para empresas de abastecimento de água, órgãos municipais e agências ambientais. Banco Mundial/Servmar. São Paulo, 2006.

FOSTER, S. S. D.; VENTURA, M.; HIRATA, R. Contaminacion de las aguas subterraneas: un enfoque ejecutivo de la situación en América Latina y el Caribe en relación com el suministro de agua potable. Lima: OMS/OPS-HPE/CEPIS, 1987. 42 p.

FOSTER, S.S.D.; HIRATA, R.; GOMES, D.; D'ELIA, M.; PARIS, M. Underground Water Quality Protection: a Guide for Water Utilities, Municipal Authorities and Environment Agencies. Washington DC, USA: World Bank Publication, 2002.

FOSTER, S.; HIRATA, R.; ANDREO, B. The aquifer pollution vulnerability concept: aid or impediment in promoting groundwater protection? *Hydrogeology Journal*, v. 21, n. 7, p. 1389-1392, 2013.

FRANCISCO, C. N. Sistema de Informações Geográficas. Estudo Dirigido em SIG. In: UFF, SIGCidades: Mapeamento de Áreas Protegidas. Conceitos de Geoprocessamento. 2. ed. Niterói: UFF, 2014. p. 1-21.

FRANCISCO, B. H., FERREIRA, C. S. As relações da Formação Pirabas (Oligoceno-Mioceno) com as Formações continentais terciárias no nordeste do Pará. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 35, Belém, 1988. Anais... Belém: SBG, v. 2 p. 761 – 764. 1988.

FREITAS, M. A. V. Manual de boas práticas portuárias do Porto de Belém. Rio de Janeiro: COPPE - UFRJ, 2014.

FURTADO, A. Lixão do Aurá: Fim do segundo maior lixão do país. 2014. Disponível em: <http://adrielsonfurtado.blogspot.com.br/2014/03/lixao-do-aura-fim-do-segundo-maior.html> Acesso em: 19 abr. 2017.

GASPAR, M. T. P.; DE SOUZA, E. L. Avaliação preliminar dos fatores que controlam a qualidade das águas da bacia hidrográfica do igarapé Mata Fome/Belém (PA). *Águas Subterrâneas*. 2000.

GAUJOUS, D. La pollution des mileux aquatiques: aide-mémoire. Condé-sur-Noireau: TECDOC, 1993. 212 p.

GODECKE, M.V.; RODRIGUES, M.A.S.; NAIME, R.H. Resíduos de curtume: estudo das tendências de pesquisa. *Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental*, v. 7, n. 7, p. 1357- 1378, 2012.

GÓES, A. M. Modelo deposicional preliminar para Formação Pirabas nordeste do Pará. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi*, v 2, p. 3-15. 1990.

GÓES, A. M.; TRUCKENBRODT, W. Caracterização faciológica e interpretação ambiental dos sedimentos Barreiras da região Bragantina, nordeste do Pará. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 31. Camboriú, Anais... Camboriú: Sociedade Brasileira de Geologia, v.2, p. 766-771. 1980.

GOMES, M. A. F. Uso agrícola das áreas de afloramento do Aquífero Guarani no Brasil: implicações para a água subterrânea e propostas de gestão com enfoque agroambiental. Brasília: EMBRAPA, 2008. 417 p

GREGÓRIO, A. M. S. Contribuição à gestão ambiental da Baía de Guajará (Belém – Pará – Amazônia) através de estudo batimétrico e sedimentológicos. Dissertação de Mestrado. Instituto de Geociências (UFRGS). Porto Alegre. 2008. 127p.

GREGÓRIO, A. M. S.; MENDES, A. C.; SILVA, C. A.; SOUZA, D. C.; SANTOS, C. A.; MARTINS, S. E. M.; MOTA, M. C. S. Depósitos Lamosos da Baía de Guajará (Pará, Amazônia, Brasil). In: SEMANA ACADÊMICA DOS ALUNOS DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOCIÊNCIAS, 1, 2006, Porto Alegre. Resumos. Porto Alegre: UFRGS, 2006. p. 63-66.

GROBA, F.; HAHN, J. Variation of groundwater chemistry by anthropogenic factors in northwest Germany. INTERNATIONAL GEOLOGY CONGRESS, 24., Montreal. Proceedings... Montreal: IGC, sec. 11, (Hydrogeology), 1972. p. 270-281.

GUIA INDUSTRIAL DO PARÁ. Federação Das Indústrias Do Estado Do Pará (FIEPA). 2013. Disponível em: <http://sedeme.com.br/investpara/wp-content/uploads/2016/Kit%20do%20Investidor/Guia-Industrial-2013.pdf>. Acesso em 8 de fevereiro de 2017.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Censo Demográfico de 1970. Rio de Janeiro: IBGE, 1970.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Mapa geomorfológico do Brasil. Rio de Janeiro: IBGE, 1 mapa, color. Escala 1:5.000.000. 1995.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Mapa de vegetação do Brasil. Rio de Janeiro: IBGE, 1 mapa, color. Escala 1:5.000.000. 2004.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA Censo Demográfico 2010. Agregado por Setores censitários dos resultados do universo. Rio de Janeiro: IBGE, 2010.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Censo 2013. Rio de Janeiro. IBGE, 2013.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Malhas Digitais. 2015a. Disponível em: <http://mapas.ibge.gov.br/bases-e-referenciais/bases-cartograficas/malhas-digitais>. Acesso em 08 fev. 2017.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Pesquisa Pecuária Municipal - PPM: efetivo de rebanhos. Série Histórica 2015b. Disponível em: <http://sidra.ibge.gov.br/bda/pesquisas/ppm/>. Acesso em 6 fev. 2017.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Evolução da divisão territorial do Brasil 1872 – 1991: malha digital do ano 1970. 2016.

IDEFLOR-BIO - INSTITUTO DE DESENVOLVIMENTO FLORESTAL E DA BIODIVERSIDADE DO ESTADO DO PARÁ. Unidades de Conservação, 2017. Disponível em: <http://ideflorbio.pa.gov.br/unidades-de-conservacao/>. Acesso em: 7 fev. 2017.

IGREJA, H. L. S.; BORGES, M. S.; ALVES, R. L.; COSTA JÚNIOR, P. S. C.; COSTA, J. B. S. Estudos neotectônicos nas ilhas do Outeiro e Mosqueiro, NE do Estado do

Pará. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 36. Natal. Anais... Natal: Sociedade Brasileira de Geologia, 1990, v.5, p. 2110-2123. 1990.

INMET – INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. Estação Meteorológica de Observação de Superfície Automática. 2017. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=estacoes/estacoesAutomaticas>. Acesso em 15 de março de 2017.

INMET – INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. Normais Climatológicas do Brasil 1961 – 1990. Disponível em <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=clima/normaisClimatologicas>. Acesso em 19 Dez. 2016.

IPEA – INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA. Caracterização e Quadros de Análise Comparativa da Governança Metropolitana no Brasil: arranjos institucionais de gestão metropolitana (Componente 1) – Região Metropolitana de Belém. Rio de Janeiro, 2015.

IRITANI, M. A.; EZAKI, S. As águas subterrâneas do Estado de São Paulo. São Paulo: Secretaria de Estado do Meio Ambiente, 2009. 2. ed. 104 p.

JOÃO, X. S. J.; TEIXEIRA, S. G.; FONSECA, D. D. F. Geodiversidade do Estado do Pará. Belém: CPRM, 2013. 256 p.: il. 30 cm + 1 DVD-ROM. Programa Geologia do Brasil. Levantamento da Geodiversidade. 2013.

KATZER, F. Geologia do Estado do Pará (Brasil). Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi, v. 9, p. 1-269, 1933.

MATOS, F. O., MOURA, Q. L., CONDE, G.B, MORALES, G. P., BRASIL, E. C. Impactos Ambientais Decorrentes do Aterro Sanitário da Região Metropolitana de Belém-PA: Aplicação de Ferramentas de Melhoria Ambiental. Caminhos de Geografia - revista on line <http://www.ig.ufu.br/revista/caminhos.html>. 2011.

MATTA, M. A. S. Fundamentos Hidrogeológicos para a Gestão Integrada dos Recursos Hídricos da Região de Belém/Ananindeua – Pará, Brasil. Belém, Universidade Federal do Pará. Centro de Geociências. 292f. (Tese de Doutorado). 2002.

MAURY, C. J. Fósseis Terciários do Brasil com descrição de novas formas Cretáceas: 1-665. Serviço Geológico e Mineralógico do Brasil (Monografia 4), Rio de Janeiro. 1925.

MEIRA, R. C. D. S. Avaliação comparativa entre a estimativa do impacto gerado por efluentes domésticos de assentamentos espontâneos e de ocupação formal na bacia do Tucunduba em Belém-Pará. Dissertação (Mestrado) Universidade Federal do Pará. 2008.

MENDES, R. L. R. Geofísica aplicada ao mapeamento de aquíferos da Região Metropolitana de Belém. CPGF/UFGA. 72 p. (Dissertação de Mestrado). 2000.

MORAES, S. L., TEIXEIRA, C. L., MAXIMIANO, A. M S. Guia de elaboração de planos de intervenção para o gerenciamento de áreas contaminadas. -- 1.ed. rev.. -- São Paulo: IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo: BNDES, 2014.

MORALES, G. P. Avaliação ambiental dos recursos hídricos, solo e sedimentos na área de abrangência do depósito de resíduos sólidos do Aurá–Belém. 2002. 240p. Diss. Tese (Doutorado em Geoquímica e Petrologia) -Centro de Geociências, Universidade Federal do Pará. Belém, 2002.

MUSSA, D. Dicotiledôneo fóssil da Formação Barreiras, Estado do Sergipe, Brasil. Departamento Nacional da Produção Mineral, Divisão de Geologia e Mineralogia, v. 181, p. 1-23, 1958.

NASCIMENTO, M. H. O. Identificação de ambientes de sedimentação na área metropolitana de Belém a partir de perfis de poços. 2003, 40f. Dissertação (Mestrado em Geofísica) - Curso de Pós-Graduação em Geofísica, Centro de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 2003.

NUNES, L. P. M.; LUIZ, J. G. Caracterização geométrica da área de curume localizada no distrito de Icoaraci, Belém-Pará. Revista Brasileira de Geofísica. 24(4): 467-481. 2006.

OLIVEIRA, J. G. F.; SILVA, R. C. S. Geologia e recursos minerais da Folha Belém - SA.22-X-D-III, Estado do Pará, escala 1:100.000. Programa Geologia do Brasil (PGB), Integração, Atualização e Difusão de Dados da Geologia do Brasil. Projeto Cartografia da Amazônia. CPRM: Belém. 2011.

OLIVEIRA, J. R. Projeto estudos hidrogeológicos da região metropolitana de Belém e adjacências. Belém: CPRM, 2002.

OLIVEIRA, M. D. ; FRÉDOU, L. F. Caracterização e dinâmica espaço-temporal da atividade pesqueira na Baía de Marajó – Estuário Amazônico. Arquivos de Ciências do Mar. Fortaleza, v. 44, n. 3, p. 40-53, 2011.

PACHECO, A. Os Cemitérios como Risco Potencial para as Águas de Abastecimento. SPAM: 25-37. 1986.

PALHETA, E. S. M. Estudo da compartimentação e arcabouço neotectônico da Ilha de Mosqueiro - Pará empregado no conhecimento hídrico subterrâneo. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Pará. 2008. 269 f.

PARÁ. Fundação Amazônia de Amparo a Estudos e Pesquisas do Pará. Boletim Agropecuário do Estado do Pará, nº 1, julho 2015. 38 f.: il.

PARÁ. Resumo Executivo do Plano de Manejo do Parque Estadual do Utinga / Secretaria de Estado de Meio Ambiente. Belém: SEMA; Belém: Imazon, 2013. 30 p.; il.; 21,5 x 28 cm.

PEEL, M. C.; FINLAYSON, B. L.; Mc MAHON, T. A. Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification, Hydrology and Earth System. Sciences, 11, 1633-1644. 2007.

PENNA, D.S. Breve notícia sobre os sambaquis do Pará. Arch. Museu Nacional, v. 1, p. 85-99, 1876.

PEREIRA, J. A. R. Alternativas para a coleta e tratamento das águas residuárias da Região Metropolitana de Belém. In: SEMINÁRIO BRASIL- 197 ALEMANHA DE SANEAMENTO BÁSICO, Belém. Anais... Belém: UFPA. Casas de Estudos Germânicos, 1994.

PEREIRA, J.A.R.; MENDES, F.C. Sistema de Esgotamento Sanitário. In: PEREIRA, J.A.R. (Org.). Saneamento Ambiental em Áreas Urbanas: Esgotamento Sanitário na Região Metropolitana de Belém. Belém: NUMA/UFPA, Ed. UFPA, 2003. p. 37 - 52.

PETRI, S. Foraminíferos miocênicos da Formação Pirabas. Boletim Faculdade de Filosofia Ciências e Letras (Geologia), 216: 1-79. 1957.

PINHEIRO, F. G. R. Avaliação do Potencial Poluidor de curtumes do Distrito Industrial de Icoaraci e influência sobre os recursos hídricos locais. 2005. 140f. Dissertação (Mestrado em Geologia) -Centro de Geociências. Universidade Federal do Pará, Belém, 2005.

RESENDE, A. V. Agricultura e Qualidade da água: Contaminação por nitrato. Planaltina: Embrapa Cerrados. 29 p. ISSN 1517-511, n. 57. 2002.

RIBEIRO, M. L. Contaminação de águas subterrâneas por pesticidas: avaliação preliminar. Química Nova, 2007.

ROLIM, G. S.; SENTELHAS, P. C. Balanço Hídrico Normal por Thornthwaite & Mather (1955). Piracicaba. ESALQ. 1999.

ROSSETTI, D. F. Late Cenozoic sedimentary evolution in northeastern Pará, Brazil, within the context of sea level changes. Journal of South American Earth Sciences, 14: 77-89. 2001.

ROSSETTI, D. F. Paleosurfaces from northeastern Amazonia as a key for reconstructing paleolandscapes and understanding weathering products. Sedimentary Geology, v. 169, n. 3-4, p. 151-174, 2004.

ROSSETTI, D. F. Evolução sedimentar miocênica nos estados do Pará e Maranhão. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. INPE. 16 p. 2006a.

ROSSETTI, D. F. The role of tectonics on the preservation of estuarine valleys in areas with low accommodation rates: examples from Upper Cretaceous and Miocene Successions in Northern Brazil. In: R. W. Dalrymple, D. A. Leckie, R. W. Tillman (editores), Incised Valley in Time and Space, Society of Economic Paleontologists and Mineralogists Special Publication n. 85, p.199-218. 2006b.

ROSSETTI, D. F.; BEZERRA, F. H. R.; DOMINGUEZ, J. M. L. Late Oligocene-Miocene transgressions along the equatorial and eastern margins of Brazil. Earth-Science Reviews, v. 123, p. 87-112. 2013.

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

ROSSETTI, D. F.; GÓES, A. M.; TRUCKENBRODT, W. A influência marinha nos Sedimentos Barreiras. Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi (Série Ciências da Terra), v. 2, p. 17-29, 1990.

ROSSETTI, D. F.; TRUCKENBRODT, W.; GÓES, A. M. Estudo paleoambiental e estratigráfico dos sedimentos Barreiras e Pós-Barreiras na região bragantina, nordeste do Pará. Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi (Série Ciências da Terra), v. 1, p. 25-74, 1989.

SÁ, J. H. S. Contribuição à Geologia dos sedimentos terciários e quaternários da região bragantina, Estado do Pará. Boletim Geológico (UFRJ), 3: 21-36. 1969.

SELBACH, P. A.; TEDESCO, M. J.; GIANELLO, C.; CAVALLET, L. E. Descarte e biodegradação de lodos de curtume no solo. Revista do Couro, v.4, p.51-62, 1991.

SILVA, H. R. Mapa Hidrogeológico do Brasil – Folha Belém SA.22. Brasília: CPRM, 2010. Escala 1:1.000.000.

SILVA, M. A. S. Investigação geofísica da contaminação por derivados de hidrocarbonetos nas redondezas do Posto Cristal (Belém-PA) / Dissertação de Mestrado, orientadora: Lúcia Maria da Costa e Silva. 89fl. UFPA. 2013.

SILVA, M. L. Degradação Ambiental causada por Cemitérios. I CONGRESSO DE ENGENHARIA CIVIL. UFJF. Anais... Minas Gerais. 1994.

SILVA, O. F.; LOWENSTEIN, P. Contribuição à Geologia da Folha São Luiz (SA.23), no Estado do Pará - novas localidades e razão magnésio-cálcio do calcário Pirabas. Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi, 13: 1-17. 1968.

SOARES, J. Importância do traçado da rede coletora de esgoto sanitário no custo de construção. Belém, 2003. 152 p. Dissertação (Mestrado) Universidade Federal do Pará. 2003.

SOUZA, E. L.; ANJOS, G. C. Contaminação das Águas Subterrâneas: Uma Visão Parcial da Situação de Belém e dos Problemas Decorrentes. In: UHLY, S.; SOUZA, E. L. (Org.). A Questão da Água na Grande Belém. Belém: UFPA, 2004. p. 149-180.

SPALDING, R. G.; GORMLY, J. R.; CURTIS, B. H.; EXNER, M. E. Nonpoint nitrate contamination of groundwater in Merrick Country, Nebrascka. *Ground Water*, (16): 86-95, 1978.

TATUMI, S. H.; da SILVA, L. P.; PIRES, E. L.; ROSSETTI, D. F.; GOÉS, A. M. Datação de Sedimentos Pós-Barreiras no Norte do Brasil por Luminescência Opticamente Estimulada (LOE). In: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ESTUDOS QUATERNÁRIOS XVI. Anais... Bertioga, São Paulo. 2007. 3p.

TATUMI, S. H; da 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*, v. 38, n. 3, p:514-524, 2008.

TÁVORA, V. A.; PIRES, M. H. A.; FONSECA, V. M. M. Bibliografia da Formação Pirabas (Eomioceno), norte e nordeste do Brasil (1876 – 2002). *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi*, v.1, p. 137-188. 2005.

TÁVORA, V. A.; SILVA JÚNIOR, O. G. Petrografia e geoquímica dos carcinólitos da ecofácies Baunilha Grande da Formação Pirabas (Eomioceno), Estado do Pará. *Revista Brasileira de Paleontologia*, Rio de Janeiro, 3: p 5-16. 2002.

THORTHWAITE, C.W.; MATTER, J.R. The water balance. *Publications in Climatology*, New Jersey, Drexel Institute of Thecnology, 104 p. 1955.

TRUCKENBRODT, W. Contribuição à mineralogia e à geoquímica da Formação Pirabas (Mioceno Inferior), Estado do Pará. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi*, v. 25, p. 1-6. 1981.

TUCCI, C. E. M. Impactos da variabilidade climática e uso do solo sobre os recursos hídricos. Brasília: Agência Nacional de Águas. 2002

URDININEA, J. S. A. Aspectos geoquímicos e ambientais dos calcários da Formação Pirabas - Estado do Pará. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 1978.

WATRIN, O. S., VENTURIERI, A.; VALENTE, M. A. Levantamento da vegetação e do uso da terra em áreas de remanescentes de quilombos na bacia do rio trombetas. PA. Belém: Embrapa-CPATU. 1998. 31 p. (Embrapa-CPATU. Documentos 126).

WILHELM, S. R.; SCHIFF, S.L.; CHERRY, J.A. Biogeochemical evolution of domestic waste water in septic systems: Conceptual Model. *Ground Water*,32 (6): 906- 916. 1994.

ZEE – ZONEAMENTO ECOLÓGICO ECONÔMICO. Zoneamento Ecológico-Econômico das Zonas Leste e Calha Norte do Estado do Pará. Belém, PA: Núcleo de Gerenciamento do Programa Pará Rural, 2010. 309p.:il.; 22x30 cm. v.1. Diagnóstico do Meio Socioeconômico.

ANEXOS

Disponíveis em meio digital

ANEXO I – TABELA DE FONTES PONTUAIS CADASTRADAS RELACIONADAS AOS GRANDES GERADORES DE RESÍDUOS SÓLIDOS NO MUNICÍPIO DE BELÉM

ANEXO II – TABELA DE FONTES PONTUAIS DIVERSAS CADASTRADAS

ANEXO III – TABELA DE FONTES PONTUAIS CADASTRADAS RELACIONADAS ÀS ATIVIDADES INDUSTRIAIS

ANEXO IV – DADOS DE CAMPO DAS SEVs

ANEXO V – SEVs REPROCESSADAS

ANEXO VI – SEÇÕES GEOFÍSICAS



AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS

Setor Policial, área 5, Quadra 3,
Blocos "B", "L", "M", "N", "O" e T.
PABX: (61) 2109-5400 | 21095252
www.ana.gov.br



Av. Iguazu, 451, 6º andar, Petrópolis.
Porto Alegre - RS. CEP: 90470-430
Fone | Fax: (51) 3211-3944
www.profill.com.br

